

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768



Núm. 57

 **CONAHCYT**
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Enero 2024

SEP



Enero 2024

Núm. 57

POLIBOTÁNICA



PÁG.

CONTENIDO

- 1 Características taxonómicas de las especies de *Colubrina* (Rhamnaceae) en México, basadas en la arquitectura y superficies epidérmicas
Taxonomic characteristics of Colubrina species (Rhamnaceae) in Mexico, based on architecture and epidermal surfaces
Fernández-Nava, R. | M.L. Arreguín-Sánchez | C.Y. Jorge Cruz
- 23 Flora arvense en regiones cafetaleras de la zona centro de Veracruz, México
Weed flora in coffee-growing regions of central Veracruz, Mexico
García-Mayoral, L.E. | R.I. Granados-Argüello | R. López-Morgado | L.A. Gálvez-Marroquín | F. Barbosa-Moreno
- 45 Estructura y diversidad en tres ecosistemas forestales del noreste de México
Structure and diversity in three forest ecosystems of northeast Mexico
Ramos-Hernández, C.G. | J.M. López-Hernández | I. Cantú-Silva | M.V. Gómez-Meza | H. González-Rodríguez
- 63 Estructura horizontal y diversidad de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en México
Horizontal structure and diversity of Pseudotsuga menziesii (mirb) franco forests in Mexico
Molina-Marchan, E. | R. Narváez-Flores | A.S. Mojica-Guerrero
- 81 Efecto de la altitud, orientación y pendiente del terreno sobre la distribución de macrohongos en un bosque tropical caducifolio de la costa de Oaxaca, México
Effect of altitude, orientation, and slope of the terrain on the distribution of macrofungi in a deciduous tropical forest on the coast of Oaxaca, Mexico
Villarruel-Ordaz, J.L. | G. Valera-Venegas | R. Garibay-Ortíz | J. Álvarez-Manjarrez | L.D. Maldonado-Bonilla | A.C. Sánchez-Espinosa
- 107 Propiedades mecánicas y químicas de las raíces de árboles nativos y su posible efecto sobre la estabilidad del suelo en Durango, México
Mechanical and chemical properties of native tree roots and their possible effect on soil stability in Durango, Mexico
Bejar-Pulido, S.J. | F.J. Hernández | I. Cantú-Silva | H. González-Rodríguez | E.O. Luna-Robles | T.G. Domínguez-Gómez
- 125 Extensión y severidad de incendios forestales en Michoacán, México en 2021 a partir de imágenes sentinel-2
Extent and severity of forest fires in Michoacan, Mexico, in 2021 based on sentinel-2 images
España-Boquera, M.L. | O. Champo-Jiménez | M.D. Uribe-Salas
- 145 Conservación *in vitro* a mediano plazo de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews | Orchidaceae)
Medium-term in vitro conservation of vanilla (Vanilla planifolia Andrews | Orchidaceae)
Cisneros-Marrero, I.V. | C.L. Miceli-Méndez | A.G. Rocha-Loredo | M.Á. Peralta-Meixueiro | M.A. López-Miceli
- 157 Compuestos orgánicos en la propagación *in vitro* de *Epidendrum falcatum* Lindl orquídea endémica de México
Organic compounds in the in vitro propagation of Epidendrum falcatum Lindl, an orchid endemic to Mexico
Santiago-Jerónimo, T. | V.M. Chávez-Ávila | S. Carballar-Hernández | R. González-Cubas
- 171 Regeneración *in vitro* de *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther
In vitro regeneration of Tillandsia takizawae Ehlers & H. Luther
Hernández-Meneses, E. | S.E. Rangel-Estrada | J. Canul-Ku | E.J. Barrios-Gómez
- 183 Germinación e inducción de callo para la producción de alcaloides de dos especies de *Lupinus* en condiciones *in vitro*
Germination and callus induction for alkaloid production in two Lupinus species under in vitro conditions
Salcedo-Morales, G. | K. Morales-Muñoz | G. Paredes-Sastre | J.A. Valdovinos-Bazaldua | A.B. Castrejón-Lorenzo | F. Rosales-de la Vega | Y. León Romero | E. Montes Hernández | I. Mejía Vígueras | K. Bermúdez-Torres
- 199 Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y actividad antihipertensiva de membrillo (*Cydonia oblonga* Miller) cultivado en Zacatecas, México
Phenolic compounds, antioxidant capacity and antihypertensive activity of quince (Cydonia oblonga Miller) cultivated in Zacatecas, Mexico
Aguayo-Rojas, J. | S. Mora-Rochín | X. Tovar-Jiménez | R.O. Navarro-Cortez | M. Valdez-Morales | J.L. Ayala-Lujan
- 213 El silicio induce respuestas positivas a nivel bioquímico y de expresión de genes en plantas de tomate inoculadas con *Fusarium oxysporum*
Silicon induces positive responses at the biochemical and gene expression levels in tomato plants inoculated with Fusarium oxysporum
López-Pérez, M.C. | F. Pérez-Labrada | Y. González-García | A. Juárez-Maldonado
- 237 Efecto acaricida y ovicida de los aceites esenciales de *Chenopodium ambrosioides* L. y *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. contra *Tetranychus urticae* en fresa (*Fragaria* spp.)
Acaricidal and ovicidal effect of the essential oils of Chenopodium ambrosioides L. and Peperomia inaequalifolia Ruiz & Pav. against Tetranychus urticae in strawberry (Fragaria spp.)
Espinoza-Gavilanes, R. | I. Tuza-Roa | C. Vásquez-Freytez | K. Jaramillo-Loayza | P. Noriega-Rivera
- 249 Begonias comestibles de Santiago Ecatlán, municipio de Jonotla, Puebla, México
Edible Begonias from Santiago Ecatlán, municipality of Jonotla, Puebla, Mexico
Cedillo Portugal, E. | D. Guerra-Ramírez | J.M. Cunill-Flores | J. Ricardo de Santiago-Gómez | D. González-Castillo | P. Díaz-Barrios
- 263 Saberes y prácticas fitoterapéuticas en la Ciudad de Salta, Argentina
Knowledge and phytotherapeutic practices in the City of Salta, Argentina
Fabbroni, M. | C.B. Flores | N.V. Arcelán | A. Salazar | E.C. Fuentes | M.V. Oliva | F.O. Robbiati



Portada

Schizophyllum commune Fr. Schizophyllaceae. “Nanacate”. Hongo con sombrero en forma de abanico o concha, cubierto de pelos erectos, de 2 a 4 cm de diámetro, en estado seco presenta un color blanquecino que cambia a gris pardusco con la humedad, es duro y coriáceo. Himenio compuesto por una especie de pliegues, pseudo láminas, divididas en dos aristas más claras y dispuestas en abanico desde el pie. Tienen la característica de que en tiempo seco se retraen y cierran para proteger el himenio, abriéndose, en tiempo húmedo. Su color es rosa, rosa-canela, que evoluciona oscureciéndose. Pie lateral y prácticamente inexistente. Es una especie lignícola que parasita o saprofita árboles, fundamentalmente caducifolios. Es muy común y aguanta en el sustrato todo el año. Se desarrolla en diversos sustratos vegetales muertos o vivos y en ambientes con clima caliente a templado, ocasionalmente en clima frío en zonas con vegetación silvestre casi siempre alterada, desde el nivel del mar hasta cerca de los 3,000 m de altitud. Con distribución cosmopolita, son patógenos en humanos.

Schizophyllum commune Fr. Schizophyllaceae. “Nanacate”. Mushroom with a fan- or shell-shaped cap, covered in erect hairs, ranging from 2 to 4 cm in diameter. When dry, it displays a whitish color that changes to brownish-gray when exposed to moisture, and it is hard and leathery. The hymenium is composed of folds, pseudo-gills, divided into two lighter edges and arranged in a fan-like pattern from the stem. One distinctive feature is that in dry conditions, they retract and close to protect the hymenium, opening up when it is moist. Their color is pink, pink-cinnamon, evolving to darken over time. The stem is lateral and practically nonexistent. It is a lignicolous species that parasitizes or acts as a saprophyte on primarily deciduous trees. It is very common and persists in the substrate throughout the year. It thrives in various dead or living plant substrates and in environments with a warm to temperate climate, occasionally in cold climates in areas with mostly disturbed wild vegetation, ranging from sea level to nearly 3,000 m in altitude. With a cosmopolitan distribution, they are pathogens in humans.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

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

Secretario Académico: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

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

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

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

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

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

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director:

Dr. Isaac Juan Luna Romero

Subdirectora Académica:

M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Gerardo Aparicio Ozores

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerril

POLIBOTÁNICA, Año 29, No. 57, enero 2024, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

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

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

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EDITOR EN JEFE

Rafael Fernández Nava

EDITORA ASOCIADA

María de la Luz Arreguín Sánchez

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Christiane Anderson
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan, US

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

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

Hugo Cota Sánchez
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

Claude Sastre
Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris, Francia

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

Mauricio Velayos Rodríguez
Real Jardín Botánico
Madrid, España

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

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

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

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

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

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

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

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 mas de tres líneas: Fuente tamaño 12, margen izquierdo de 4 cm.
6. Título de imágenes: Fuente tamaño 12, centrado y en negritas, separado por dos puntos de su descripción. Descripción de las imágenes: tamaño 12.
7. Notas al pie de las imágenes: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la imagen, la primera letra debe estar en mayúsculas.
8. Imágenes: deben estar en el cuerpo del texto, insertadas en formato png o jpg, a por lo menos 300 dpi de resolución y centradas. Las imagenes deben estar en línea con el texto. Se consideran imágenes: gráficos, cuadros, fotografías, diagramas y, en algunos casos, tablas y ecuaciones.
9. Tablas de tipo texto: El título de las columnas de las tablas debe estar en negritas y los datos del cuerpo de la tabla con fuente normal. Los nombres científicos deben estar en *italicas*. Se recomienda utilizar las Tablas como imágenes, estas deberán de ir centradas (a por lo menos 300 dpi de resolución).
10. Notas al pie de la tabla: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la tabla, la primera letra debe estar en mayúsculas.
11. Ecuaciones pueden estar en Mathtype 1 o en imagen. En este último caso, seguir instrucciones del punto 8.
12. Citas del tipo autor y año deben estar entre paréntesis, con el apellido del autor seguido por el año (Souza, 2007), primera letra en mayúscula.

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

ESTRUCTURA Y FORMATO DE LOS AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

9. REVISIÓN Y PUBLICACIÓN

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

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

PUBLICATION GUIDELINES

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

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

FOR PUBLICATION OF ARTICLES

Originals that comply with the following requirements will be accepted:

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

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

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

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

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

a) in jpg format

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

c) all characters must be legible and contrasted

6. All articles must include:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FORMAT SPECIFICATIONS FOR THE BODY OF WORK

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

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

STRUCTURE AND FORMAT OF ACKNOWLEDGMENTS AND BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

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

9. REVIEW AND PUBLICATION

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

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

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

Dr. Rafael Fernández Nava
Editor en Jefe de

POLIBOTÁNICA

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

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

Dirección Web
http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

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

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

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

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



**CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS
DE LAS ESPECIES DE *Colubrina*
(Rhamnaceae) EN MEXICO, BASADAS
EN LA ARQUITECTURA Y
SUPERFICIES EPIDÉRMICAS**

**TAXONOMIC CHARACTERISTICS OF
Colubrina SPECIES (Rhamnaceae) IN
MEXICO, BASED ON FOLIAR
ARCHITECTURE AND EPIDERMAL
SURFACES**

Fernández-Nava, R.; M.L. Arreguín-Sánchez y C.Y. Jorge Cruz

CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS DE LAS ESPECIES DE *Colubrina*
(Rhamnaceae) EN MEXICO, BASADAS EN LA ARQUITECTURA Y SUPERFICIES
EPIDERMICAS.

TAXONOMIC CHARACTERISTICS OF *Colubrina* SPECIES (Rhamnaceae) IN
MEXICO, BASED ON FOLIAR ARCHITECTURE AND EPIDERMAL SURFACES.



Características taxonómicas de las especies de *Colubrina* (Rhamnaceae) en México, basadas en la arquitectura y superficies epidérmicas

Taxonomic characteristics of *Colubrina* species (Rhamnaceae) in Mexico, based on foliar architecture and epidermal surfaces.

Fernández-Nava, R.;
M.L. Arreguín-Sánchez
y C.Y. Jorge Cruz

CARACTERÍSTICAS
TAXONÓMICAS DE LAS
ESPECIES DE *Colubrina*
(Rhamnaceae) EN MÉXICO,
BASADAS EN LA
ARQUITECTURA Y
SUPERFICIES
EPIDÉRMICAS.

TAXONOMIC
CHARACTERISTICS OF
Colubrina SPECIES
(Rhamnaceae) IN MEXICO,
BASED ON FOLIAR
ARCHITECTURE AND
EPIDERMAL SURFACES.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 1-22. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.1

Rafael Fernández-Nava¹

María de la Luz Arreguín-Sánchez¹ / luzma1950ipn@gmail.com

Coral Yamileth Jorge Cruz

*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica,
Instituto Politécnico Nacional, Plan de Ayala y Carpio, Col. Santo Tomás, CDMX,
CP 11340* ¹*Becarios de COFAA del IPN*

RESUMEN: Se describe e ilustra la arquitectura y las superficies epidérmicas de: *Colubrina angustior* (M. C. Johnston) Nesom, *C. greggii* S. Wats., *C. lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, *C. macrocarpa* (Cav.) G. Don var. *macrocarpa*, *C. stricta* Engelm. ex Blankinship, *C. texensis* (Torrey & Gray) A. Gray y *C. yucatanensis* (M. C. Johnston) Nesom, pertenecientes a la Familia Rhamnaceae. Los caracteres usados para la separación de los taxones fueron los diferentes tipos de venación, la inserción de los tricomas, forma de las células epidérmicas y paredes de las mismas en las superficies adaxial y abaxial, la presencia o ausencia de venas libres en las venas de tercera y cuarta categoría, así como los tipos de estomas; en ninguno de los taxones se encontraron glándulas en los dientes marginales. Además de las descripciones y fotomicrografías de los taxones se elaboró una clave dicotómica para diferenciar las especies y variedades. Así también se propone que *C. macrocarpa* var. *lanulosa* tenga un estatus de especie nueva, debido a que se encontraron diferencias marcadas con la variedad tipo de *C. macrocarpa* var. *macrocarpa*; se propone a *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. et stat. nov.

Palabras clave: morfología de las hojas, venación foliar, clave dicotómica, especie nueva, subgénero *Serratifolia*.

ABSTRACT: The architecture and epidermal surfaces of: *Colubrina angustior* (M. C. Johnston) Nesom, *C. greggii* S. Wats., *C. lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, *C. macrocarpa* (Cav.) G. Don var. *macrocarpa*, *C. stricta* Engelm. ex Blankinship, *C. texensis* (Torrey & Gray) A. Gray and *C. yucatanensis* (M. C. Johnston) Nesom, belonging to the Family Rhamnaceae are described and illustrated. The characters used for the separation of the taxa were the different types of venation, the insertion of the trichomes, the shape of the epidermal cells and their walls on the adaxial and abaxial surfaces, the presence or absence of free veins in the veins of third and fourth category, as well as the types of stomata; in none of the taxa were glands found in the marginal teeth. In addition to the descriptions and photomicrographs of the taxa, a dichotomous key was developed to differentiate the species and varieties. It is also proposed that *C. macrocarpa* var. *lanulosa* has a status of new species, because marked differences were found with the type variety of *C. macrocarpa* var. *macrocarpa*; *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín is proposed as comb. et stat. nov.

Key words: leaf morphology, leaf venation, dichotomous key, new species, subgenus *Serratifolia*.

INTRODUCCIÓN

Las Rhamnaceae fueron descritas por Antonio Laurent de Jussieu en 1789 y Brongniart en 1827 subdivide a la familia en cinco tribus donde *Colubrina* es incorporada en la Rhamnaceae (Fernandez, 1993 p.8). Johnston (1963), publica nuevas combinaciones, nuevos taxones y dos subgéneros denominados *Colubrina* y *Serrataria*, en el primero se incluye a *Colubrina greggii* S. Wats. var. *yucatanensis* M. C. Johnst. y en el segundo a *Colubrina texensis* (T. & G.) A. Gray var. *pedunculata* M. C. Johnst. y *Colubrina texensis* (Cav.) G. Don var. *lanulosa* (Blake) M. C. Johnston. Posteriormente, Johnston (1971) publica la revisión de *Colubrina*, y propone la subdivisión de subgéneros y secciones de esta entidad taxonómica.

Para la circunscripción de *Colubrina* (Johnston, 1971) refiere los siguientes caracteres: árboles y arbustos, raramente trepadores, espinosos o sin espinas, caducifolios o siempre verdes, tallos generalmente pubescentes; hojas alternas u opuestas, pecioladas, penninervadas o triplinervadas desde la base, frecuentemente con pequeñas manchas glandulares redondeadas, ya sea en el margen o cerca de la base o raramente con pocas glándulas dispersas, margen entero, serrados o crenado; estípulas laterales y basales generalmente caducas; inflorescencias cimosas sésiles y umbeliformes o pedunculadas corimbiformes, con el eje ocasionalmente modificado en una espina; flores pequeñas, verdosas o amarillentas, con copa floral donde están insertos el cáliz, la corola y el androceo, dicha copa después de la polinización se acrescenta y permanece sujeta a la parte inferior a la mitad del fruto; sépalos 5 caducifolios, pétalos 5 más cortos que los sépalos, estambres 5, casi tan largos como los pétalos, nectarios, casi llenando la copa y en las primeras etapas ocultan al ovario que lleva tres óvulos (raramente cuatro), estigmas tres; fruto en forma de cápsula subglobosa, dehiscente en la madurez, semillas por lo general ventralmente angulosas y dorsalmente fuertemente convexas, de color marrón oscuro o negro (Johnston, 1971, p. 7-8); este mismo autor consideró a los géneros *Cormonema* e *Hybosperma* como afines a *Colubrina*, por lo cual se consideraron dentro de este último género (Johnston, 1971, p. 7).

Los taxones que se estudiaron en este trabajo corresponde al subgénero *Serrataria* (Johnston, 1971. p.8) en donde se conjuntan aquellas especies que presentan los márgenes de las láminas foliares aserrados, con más de diez dientes en cada lado y cada uno asociado con una glándula marginal con distribución en América y Asia, incluye los siguientes taxones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies de *Colubrina* subgénero *Serrataria*, distribución mundial y cambios nomenclaturales.

Table 1. Species of *Colubrina* subgenus *Serrataria*, worldwide distribution, and nomenclatural changes.

Nombre de la especie y cambios nomenclaturales	Distribución en América
<i>C. berteriana</i> Urb.	República Dominicana
<i>C. cubensis</i> (Jacq.) Brongn.	Florida y Cuba
<i>C. californica</i> I. M. Johnst.	Baja California, California y Arizona
<i>C. celtidifolia</i> (Cham. & Schltdl.) Schltdl.	Veracruz, Jalisco, Michoacán y Guerrero
Según Johnston (1971) <i>C. greggii</i> S. Wats. var. <i>angustior</i> M. C. Johnston	San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz
Según Nesom (2013) <i>C. angustior</i> (M. C. Johnston) Nesom	
Según Johnston (1971) <i>C. greggii</i> S. Wats. var. <i>greggii</i>	Texas, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz
Según Nesom (2013) <i>C. greggii</i> S. Wats.	
<i>C. greggii</i> S. Wats. var. <i>yucatanensis</i> M. C. Johnston	Campeche, Quintana Roo, Yucatán y Guatemala
Según Nesom (2013) <i>C. yucatanensis</i> (M. C. Johnston) Nesom	
<i>C. macrocarpa</i> (Cav.) G. Don var. <i>lanulosa</i> (S. F. Blake) M. C. Johnston	Guerrero

Nombre de la especie y cambios nomenclaturales	Distribución en América
<i>C. macrocarpa</i> (Cav.) G. Don var. <i>macrocarpa</i>	Morelos y Puebla
<i>C. macrocarpa</i> (Cav.) G. Don var. <i>macrocarpoides</i> (Suessenguth ex Suessenguth & Overkott) M. C. Johnston	Querétaro
<i>C. sordida</i> M. C. Johnston	Guerrero
<i>C. stricta</i> Engelm. ex Blankinship	Texas, Nuevo León, Coahuila, Nesom (2013) la cita también para Durango
Según Johnston (1971) <i>Colubrina texensis</i> (Torrey & Gray) A. Gray var. <i>pedunculata</i> M. C. Johnston	Texas y Coahuila
Según Nesom (2013) <i>C. stricta</i> Engelm. ex Blankinship	
Según Johnston (1971) <i>C. texensis</i> (Torrey & Gray) A. Gray var. <i>texensis</i>	Texas, noreste de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas
Según Nesom (2013) <i>C. texensis</i> (Torrey & Gray) A. Gray	Texas, Coahuila y Nuevo León
	Distribución en Asia, África y Australia
<i>C. anomala</i> King	Malasia
<i>C. asiatica</i> (L.) Brongn.	África (Mozambique y Kenia), India, Nueva Guinea y Caribe
<i>C. beccariana</i> Warb.	Nueva Guinea y Borneo
<i>C. pedunculata</i> Baker	India
<i>C. travancorica</i> Bedd.	India

Nesom (2013), en las notas del género *Colubrina* considera que las variedades de *C. greggii* y *C. texensis* deben tratarse como especies y no como variedades como las describe Johnston (1971). Nesom (2013) sustenta estos cambios con base en datos morfológicos y de distribución geográfica. De esta manera *Colubrina texensis* var. *texensis* queda como *C. texensis* (Torrey & Gray) A. Gray con distribución en Texas, noreste de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, mientras que *Colubrina texensis* var. *pedunculata* se valida como *Colubrina stricta* Engelm. ex Blankinship quedando como sinónimo *C. texensis* (Torrey & A. Gray) A. Gray var. *pedunculata* M. C. Johnston.

En este mismo contexto, Nesom (2013), eleva a rango de especies las variedades de *Colubrina greggii* (*sensu* Johnston, 1971) y así separa a *Colubrina greggii* S. Wats., *Colubrina angustior* (M. C. Johnston) Nesom y *Colubrina yucateensis* (M. C. Johnston) Nesom por la forma de las hojas y caracteres florales y por la distribución geográfica. La primera especie presente en Texas, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz; la segunda en San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz y la tercera en Campeche, Quintana Roo, Yucatán, y Guatemala.

La familia Rhamnaceae ha sido estudiada desde el punto de vista taxonómico-florístico por autores como: Standley (1923), Johnston (1963, 1969 y 1971), Wiggins (1964 y 1980) Martínez (1979), Fernández (1993, 1996, 2010) y Nesom (2013). Entre los trabajos relacionados con la anatomía y arquitectura foliar de la familia Rhamnaceae encontramos los de Meyer y Meola (1978) que citan el tamaño de los estomas y la densidad por mm² de *Colubrina texensis*; Schirarend (1991) investiga la anatomía del tallo de la Tribu Zizipheae; Colares y Arambarri (2008) describe la anatomía de *Ziziphus mistol* Griseb.; Shisode y Patil, (2011) estudiaron la anatomía del tallo de algunas Rhamnaceae; Hernández *et al.* (2021) describen la arquitectura foliar y la anatomía epidérmica de las especies mexicanas del género *Gouania*. El interés de este trabajo fue describir la arquitectura foliar y las superficies epidérmicas de las variedades de *Colubrina greggii*, *C. texensis* y *C. macrocarpa sensu* Johnston (1971) que prosperan en México, así como apoyar o denegar algunos de los cambios nomenclaturales propuestos en los últimos años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado se encuentra depositado en el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB) y del Herbario del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU). La identificación de los taxones fue confirmada por el Dr. Rafael Fernández Nava especialista en Rhamnaceae. Los ejemplares de herbario de los que se tomaron muestras fueron los siguientes:

Colubrina angustior (M. C. Johnston) Nesom; J. Rzedowski 10321 (ENCB); J. Rzedowski 7032 (ENCB); P. A. Fryxell y W.R. Anderson 3428 (ENCB).

Colubrina greggii S. Wats.; R. Fernández 1650 (ENCB); H. Puig 7255 (ENCB); R. Fernández 2406 (ENCB).

Colubrina yucateensis (M. C. Johnston) Nesom; L. M. Arias 649 (ENCB); E. Estrada E-110, (ENCB); M. García y A. Vargas 3777 (ENCB).

C. macrocarpa (Cav.) G. Don var. *macrocarpa*; R. Fernández. 2621 (ENCB); R. Fernández 4984 (ENCB); R. Weber 307 (ENCB).

C. lanulosa (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín; Blanco, Toledo y Cabrera 765 (ENCB); E. Halbinger s/n (ENCB), J. Chavelas GR 22 (ENCB).

C. stricta Engelm. ex Blankinship; J. García INEGI 3.2V (ENCB).

C. texensis (Torrey & Gray) A. Gray; A. Rodríguez y M. A. Carranza s/n (ENCB), M. Martínez 44266 (ENCB), E. Torrecillas 176 (ENCB).

Se utilizaron las siguientes técnicas para transparentar las láminas foliares, sugeridas por Aguirre Claverán y Arreguín Sánchez (1988) y el método químico de decoloración foliar de Payne, Sheffy y Potter (1969) modificado por Dilcher (1974).

De cada espécimen se tomaron cuatro hojas maduras totalmente extendidas situadas entre el tercero y quinto nudo de las ramas montadas en las muestras de herbario y de preferencia de tres ejemplares de cada especie y variedad, aunque de *C. stricta* solo fue posible obtener muestras de un solo espécimen debido a que hay pocos ejemplares representados en los herbarios o bien los ejemplares estaban adheridos a la cartulina a través de pegamento blanco y no se pudieron obtener muestras. En las láminas de las fotografías de cada especie incluye la hoja antes de diafanizar.

Una vez que se obtuvo el material foliar, se prosiguió con la técnica de Aguirre-Claverán y Arreguín-Sánchez (1988) para lo cual se colocaron dos hojas completas de cada uno de los taxones los cuales se diafanizadas con NaOH al 5% hasta cubrir el material; se hirvieron de 5 a 10 minutos, dependiendo de la textura de la hoja, luego se pasaron a una caja de Petri con agua por 10 a 15 minutos, posteriormente se colocaron en una solución de hipoclorito de sodio al 30% y se dejaron hervir hasta que los tejidos se transparentaron por completo, se colocaron en agua hasta el día siguiente. Las láminas aclaradas siempre permanecieron en cajas de Petri con agua y se tomaron fotografías de este material.

Posteriormente una de las hojas contenidas en la caja de Petri, se tiñó con dos gotas de azul de metileno comercial “fish care” por un minuto y después se pasó a otra caja con agua. A la segunda hoja se le añadió dos gotas de safranina por dos minutos y se colocaron en cajas de Petri con agua. Se tomaron fotografías de este material (Hernández *et al.*, 2021).

Con la técnica de Payne, Sheffy y Potter (1969) tomada de Dilcher (1974, p. 60) dos hojas del material seco se colocaron sobre una caja Petri adicionando NaOH al 5%, en seguida se calentó por 5 minutos y después se realizó un lavado con agua de la llave, posteriormente se blanqueó con hipoclorito de sodio al 5% por 10-15 minutos, checando el material frecuentemente hasta que se transparentó y se lavó con agua dos veces. Después el material se deshidrató en series de alcoholes al 50% y 75% durante de 10 a 15 minutos en cada solución en alcohol al 95% durante 20 minutos y finalmente en alcohol al 100% para alcanzar la completa deshidratación de las muestras, después se transfirieron a una solución de alcohol absoluto y xileno 1:1, posteriormente se transfirió a xilol al 100%. Para la tinción se pasaron a una caja de Petri con agua y se siguió el procedimiento referido por Hernández *et al.* (2021). Se tomaron fotografías con una cámara digital Samsung Hmx-e10 con 8 megapíxeles.

El propósito de utilizar azul de metileno y safranina acuosa como colorantes permitió visualizar mejor diferentes características anatómicas y contrastar algunas de ellas. El utilizar dos técnicas de transparentación permitió que con la técnica de Aguirre-Claverán y Arreguín-Sánchez (1988) permitió mejores observaciones para hojas membranáceas y subcoriáceas y la de Payne, Sheffy y Potter (1969) para material coriáceo.

La arquitectura foliar se describió bajo un microscopio estereoscópico American Optical utilizando diferentes aumentos para describir las venas de primera, segunda, tercera y cuarta categoría, posición de los tricomas y la posible presencia de estructuras glandulares. Las fotografías se tomaron con una cámara digital Samsung Hmx-e10 con 8 megapíxeles.

En cuanto a la superficie epidérmica se hicieron cortes de 1 cm de porciones de las hojas teñidas con azul de metileno y safranina que se colocaron en diferentes portaobjetos y como medio de montaje se utilizó una solución de miel de maíz con agua 1:1 y trazas de fenol, después se cubrieron con los cubreobjetos y se sellaron con barniz transparente, una vez seco el esmalte las preparaciones se etiquetaron. Las descripciones de los caracteres de la superficie epidérmica se realizaron con un microscopio óptico binocular Zeiss y las fotomicrografías se obtuvieron con una cámara digital Samsung Hmx-e10 con 8 megapíxeles adaptada al microscopio.

Con base en las preparaciones semipermanentes que se elaboraron se midieron cinco tricomas de cada especie y espécimen en relación al largo de los mismos, las medidas que se presentan es el promedio de ellos, así también se contó el número de tricomas por mm². Para los estomas se midieron cinco de cada especie y espécimen y se tomó en consideración la longitud y el ancho, las medidas que se citan es el promedio de estas mediciones. La densidad estomática se calculó según la fórmula de (Salisbury, 1927 mencionado en Colares y Arambarri (2008, p. 570). Número de estomas + número de células epidérmicas x 100.

Los términos que se utilizaron para describir los tricomas fueron los de Dilcher (1974, p. 110-111), este autor realizó una clasificación de los mismos en relación a varios criterios como: número de células que los forman; si los tricomas son simples o agrupados; glandulares o eglandulares; la forma por la que se unen a las células epidérmicas con un pie apenas modificado, en forma de pija, a través de dos células o de varias; con base engrosada o no, con células epidérmicas no modificadas o modificadas.

En el caso de este trabajo todos los taxones presentaron tricomas unicelulares, simples, eglandulares y con relación a la base se encontraron dos tipos: uno en *Colubrina greggii* y *C. angustior* con base engrosada y células epidérmicas no modificadas (Figura 1A). El dibujo corresponde al trabajo de Dilcher (1974, p.110) y las fotomicrografías a las bases de las especies antes citadas. El otro tipo se muestra en la (Figura 1B) presentes en el resto de las especies, donde la base está engrosada y las células epidérmicas modificadas y a esto le nombra radial (R). El dibujo corresponde a Dilcher (1974, p. 111) y la fotomicrografía corresponde a *Colubrina macrocarpa*. En las descripciones de este trabajo, el primer tipo se describió como

tricomas con base engrosada y células epidérmicas no modificadas (Figura 1A) y al segundo como base radial (Figura 1B).

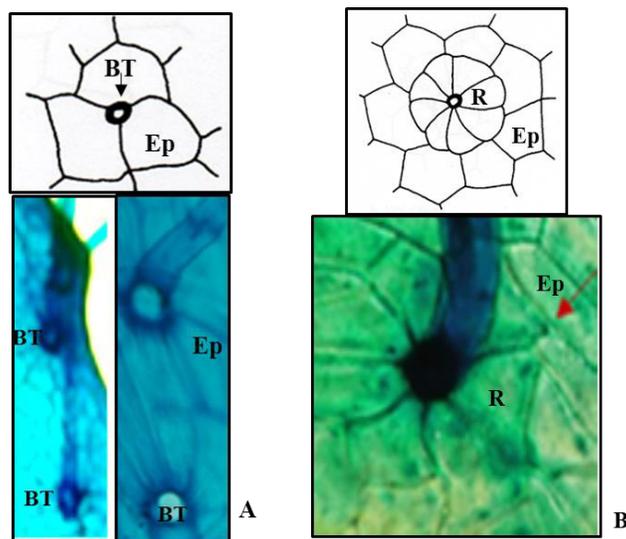


Figura 1. Base de los tricomas. A, tricoma con base engrosada y células epidérmicas no modificadas. B, tricoma con base radial de células epidérmicas modificadas. Referencias: BT inserción de la base de los tricomas. Ep células epidérmicas no modificadas. R Células epidérmicas modificadas en forma radial.

Figure 1. Trichome bases. A, trichome with thickened base and unmodified epidermal cells. B, trichome with radial base of modified epidermal cells. References: BT trichome base insertion point. Ep unmodified epidermal cells. R Radially modified epidermal cells.

Para las descripciones de la arquitectura foliar se tomaron en consideración los trabajos de (Hickey, 1973 y 1974), Dilcher (1974), Hickey y Wolfe (1975), Gomes *et al.* (2011) y fundamentalmente se siguieron los términos y criterio de Ash, *et al.* (1999). Para la epidermis foliar se consideraron los criterios de Gola *et al.*, (1965); Dilcher (1974), Cortés (1982) y Azcárraga *et al.*, (2010). Los caracteres que se tomaron en consideración son los siguientes:

Caracteres exomorfológico y de arquitectura foliar: tipos de hojas (simples o compuestas), simetría, forma, medidas de largo y ancho, ápice, base, textura, margen, presencia o ausencia de glándulas, peciolo, tipo de arquitectura foliar, venas de primera, segunda, tercera y cuarta categoría.

Caracteres de epidermis foliar: tipos de tricomas, tamaño, base de los mismos y densidad por mm²; forma de células epidérmicas adaxial y abaxial y tipos de paredes; tipos de estomas, longitud, ancho y densidad estomática.

RESULTADOS

A continuación, se describe e ilustra la arquitectura y superficie foliar de las especies de las especies de *Colubrina* estudiadas.

1. - *Colubrina greggii* S. Wats. (Figura 2)

Láminas foliares simples, simétricas, ovadas a lanceoladas-ovadas o elíptico-ovadas de 4 a 18 cm de largo y 3 a 10 cm de ancho, ápice claramente acuminado, agudo acuminado, acuminado

corto a agudo, base redondeada a truncada a cordada, textura membranosa a semicoriácea, margen serrado con 60 a 130 dientes de cada lado (Figura 2A, B, C, D), sin glándulas (Figura 2E). Pecíolo de 4 a 20 mm de largo y 1 a 2 mm de diámetro. Venación acródroma basal imperfecta donde se observan tres venas primarias basales que se originan en un punto de la hoja, la central sigue un curso recto, las dos externas ligeramente curvadas (Figura 2C, D), por inferior de las venas primarias laterales se ramifican (Figura 2C, D), y estas forman arcos en el margen de la lámina foliar y de ahí deriva una vena corta que alimenta a los pequeños dientes marginales (Figura 2E), venas secundarias craspedódromas, ligeramente curvadas y en el margen forman arcos (Figura 2C, D) venas terciarias reticuladas superadyacentes (Lám. 1F), las de cuarta categoría reticuladas (Figura 2F).

Epidermis en vista superficial. Células epidérmicas hexagonales con paredes rectas para ambas superficies (Figura 2G, H). Estomas de tipo anomocíticos en la superficie abaxial de 26.1 μm de longitud y 17.3 μm de ancho (Figura 2J), densidad estomática 39/ mm^2 . Tricomas eglandulares en las superficies adaxial y abaxial, unicelulares de 32.3 μm , de largo, base engrosada y células epidérmicas no modificada, presentes en ambas superficies con una densidad de 12/ mm^2 (Figura 2G, H, I).

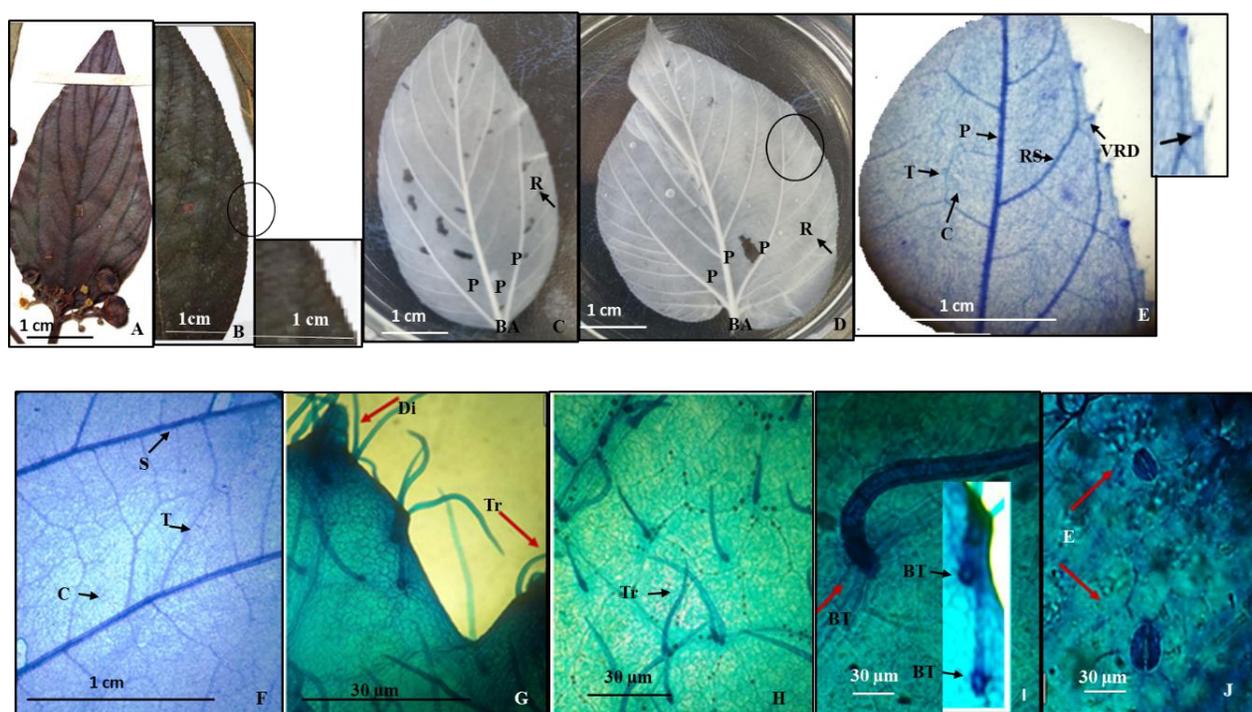


Figura 2. *Colubrina greggii*. A.- Lámina foliar de un ejemplar de herbario. B.- Detalle del margen de la lámina foliar, el círculo muestra, la zona donde se ampliaron los pequeños dientes. C y D.- Hojas diafanizada de diferentes formas mostrando las tres venas primarias basales ramificadas. E.- Venas de primera, segunda, tercera y cuarta categoría, venas secundarias formando arcos en el margen de donde deriva una pequeña vena que alimenta a los diminutos dientes (VRD). F.- Venas secundarias, terciarias y cuaternarias reticuladas. G.- Superficie adaxial mostrando un diente, tricomas con base engrosada y células epidérmicas hexagonales no modificadas. H.- Detalle superficie abaxial con tricomas y células epidérmicas hexagonales. I.- Detalles de las bases de los tricomas engrosadas. J.- Estomas anomocíticos. Referencias: BA bases de las láminas foliares donde parten las tres nervaduras de primera categoría. R ramificación del primer par basal de las venas primarias. P vena de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. C vena de cuarta categoría. RS ramificación de las venas secundarias que en el margen forma arcos. VRD Vena corta de la ramificación de la vena secundaria que alimenta a un diente marginal. Tr tricoma. BT base del tricoma. E Estoma. El círculo en D corresponde a la porción de la lámina

foliar que se muestra a mayor aumento en la fotomicrografía de la letra E donde también se muestra un mayor acercamiento en la alimentación de la vena que alimenta a los dientes.

Figure 2. *Colubrina greggii*. A. Leaf blade of a herbarium specimen. B. Detail of the leaf blade margin, with a circle indicating the area where small teeth were magnified. C and D. Diaphanized leaves of different shapes showing the three branched primary basal veins. E. First, second, third, and fourth-order veins, secondary veins forming arcs on the margin from which a small vein feeds the tiny teeth (VRD). F. Reticulated secondary, tertiary, and quaternary veins. G. Adaxial surface showing a tooth, trichomes with thickened bases, and unchanged hexagonal epidermal cells. H. Detail of the abaxial surface with trichomes and hexagonal epidermal cells. I. Details of thickened trichome bases. J. Anomocytic stomata. References: BA bases of leaf blades where the three first-order veins originate. R branching of the first basal pair of primary veins. P first-order vein. S second-order vein. T third-order vein. C fourth-order vein. RS branching of secondary veins that form arcs on the margin. VRD Short vein of the branching of the secondary vein that feeds a marginal tooth. Tr trichome. BT trichome base. E Stoma. The circle in D corresponds to the portion of the leaf blade shown at higher magnification in the photomicrograph in letter E, where a closer view of the vein feeding the teeth is also shown.

2. - *Colubrina angustior* (M. C. Johnston) Nesom (Figura 3)
Colubrina greggii S. Wats. var. *angustior* M. C. Johnston

Láminas foliares simples, simétricas (Figura 3B), ocasionalmente asimétricas en la base (Figura 3A); oblongo lanceoladas de 3 a 10 cm de largo y 2 a 4 cm de ancho, ápice agudo a levemente acuminado, base redondeada, textura membranosa, margen dentado con 50 a 70 pequeños dientes de cada lado (Figura 3D), sin glándulas (Figura 3D). Pecíolo de 1 a 2 cm de largo y 1 a 2 mm de diámetro. Vena de primera categoría pinnada de curso recto (Figura 3A, B, C) las secundarias craspedódromas libres con 6 a 7 venas de cada lado, primer par basal ramificado, las terciarias reticuladas superadyacentes, en el margen estas venas alimentan los dientes que pueden o no formar arcos (Figura 3C, D), las de cuarta categoría reticuladas (Figura 3D).

Epidermis en vista superficial. Células de la epidermis adaxial hexagonales con paredes rectas (Figura 3E), las abaxiales con paredes onduladas (Figura 3G). Estomas en la superficie adaxial ausentes, en la abaxial anomocíticos de 26.1 μm de longitud y 17.3 μm de ancho, densidad estomática en promedio de cinco ejemplares 37/ mm^2 (Figura 3G, H). Tricomas glandulares, con la base engrosada y células epidérmicas no modificada, se presentan en ambas superficies de 34.32 μm de largo con una densidad de 18/ mm^2 (Figura 3F, H).

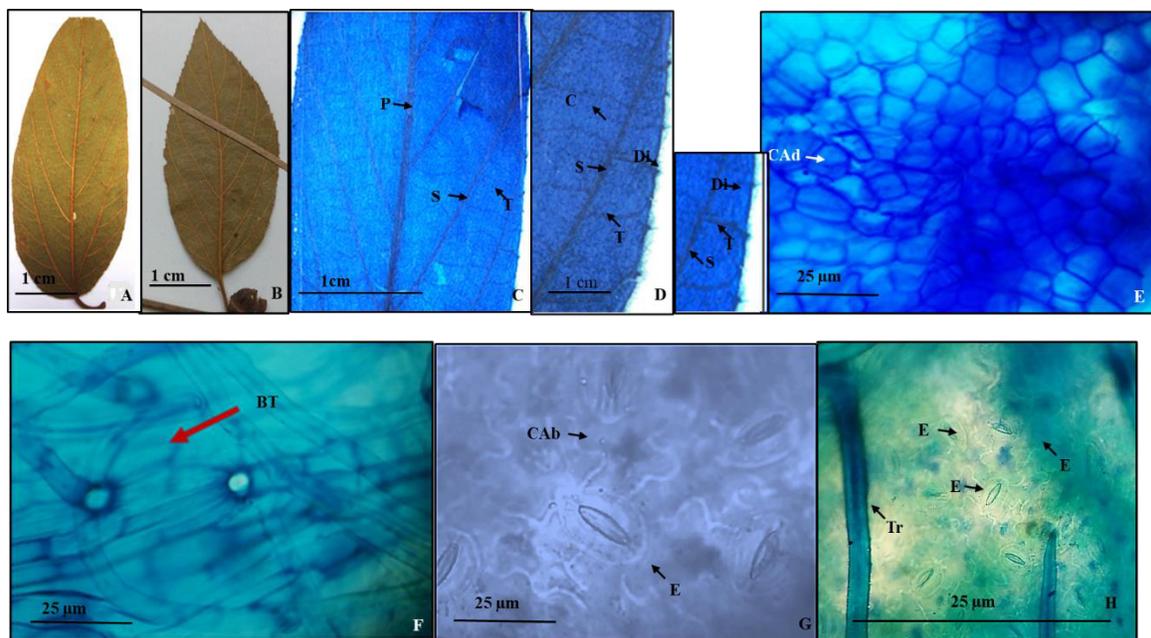


Figura 3. *Colubrina angustior*. A y B.- Láminas foliares de diferentes formas tomadas de ejemplares de herbario. C.- Detalle de las venas de primera, segunda y tercera categoría. D.- Detalles de las venas marginales de segunda categoría, las de tercera formando o no arcos que alimentan a los pequeños dientes y venas de cuarta categoría reticulada. E.- Células de la epidermis adaxial hexagonales. F.- Detalle de la base de los tricomas engrosada y las células epidérmicas no modificadas. G.- Células de la epidermis abaxial con paredes onduladas. H.- Epidermis abaxial con tricomas y estomas. Referencias: P vena de primera categoría. S venas de segunda categoría. T venas de tercera categoría. C venas de cuarta categoría. Tr tricoma. BT base del tricoma. Di diente del margen. CAd Células de la superficie adaxial. CAb Células de la superficie abaxial. E Estoma.

Figure 3. *Colubrina angustior*. A and B. Leaf blades of different shapes taken from herbarium specimens. C. Detail of first, second, and third-order veins. D. Details of second-order marginal veins, those of the third forming arcs or not that feed the small teeth, and reticulated fourth-order veins. E. Hexagonal cells of the adaxial epidermis. F. Detail of the thickened trichome bases and unmodified epidermal cells. G. Abaxial epidermal cells with undulating walls. H. Abaxial epidermis with trichomes and stomata. References: P first-order vein. S second-order veins. T third-order veins. C fourth-order veins. Tr trichome. BT trichome base. Di marginal tooth. CAd Cells of the adaxial surface. CAb Cells of the abaxial surface. E Stoma.

3. - *Colubrina yucatanensis* (M. C. Johnston) Nesom (Figura 4).

Colubrina greggii S. Wats. var. *yucatanensis* M. C. Johnston

Hojas simples, simétricas, oblongo-lanceoladas de 6.5 a 12 cm de largo y 3 a 7 cm de ancho, ápice agudo, acuminado a corto acuminado, base redondeada a truncada, textura membranácea (Figura 4A, B, C) margen serrulado con más de 80 dientes de cada lado (Figura 4B), sin glándulas (Figura 4D). Pecíolo 4 a 20 mm de largo y 1 a 1.5 mm de diámetro. Vena primaria pinnada de curso recto (Figura 4A, C), las secundarias craspedródroma con 6 a 7 venas del lado izquierdo y derecho de la lámina foliar, primer par basal ramificado (Figura 4C), las de tercera categoría reticuladas superadyacentes, en el margen, estas venas alimentan a los pequeños dientes, a veces forman arcos (Figura 4D), las de cuarta categoría reticuladas (Figura 4D).

Epidermis en vista superficial: Células de la epidermis adaxial poligonales con paredes rectas y algunas más gruesas (Figura 4E), en la abaxial las células poseen paredes onduladas (Figura 4G). Estomas ausentes en la superficie adaxial, en la abaxial de tipo anomocíticos de 21.1 µm de longitud y 27 µm de ancho, densidad estomática en promedio de cinco ejemplares de 45/mm² (Lám. 4G). Tricomas eglandulares unicelulares, con base radial de 5 células

pentagonales presentes en ambas superficies de 27.2 μm de largo, con densidad de 27/mm² (Figura 4F).

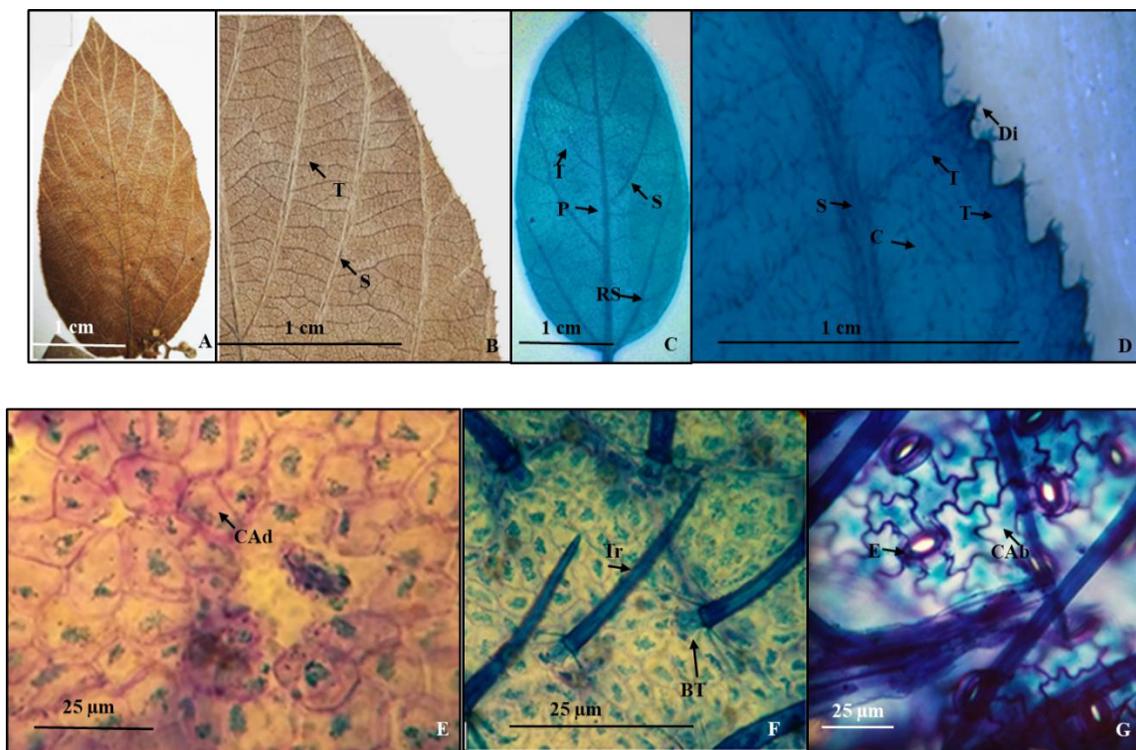


Figura 4. *Colubrina yucateensis*. A.- Lámina foliar de un ejemplar de herbario. B.- Detalle de la venación de la lámina foliar del ejemplar de herbario y del margen con pequeños dientes. C.- Lámina foliar diafanizada mostrando venas de primera, segunda y tercera categoría. D.- Detalle del margen con venas de tercera categoría alimentando un pequeño diente y venas de cuarta categoría reticuladas. E.- Células epidérmicas adaxiales poligonales con paredes rectas y algunas con paredes más gruesas. F.- Detalle de los tricomas con base radial (nótese la base engrosada y las células epidérmicas modificadas). G.- Células epidérmicas con paredes onduladas, estomas anomocíticos y tricomas. Referencias: P vena de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. C vena de cuarta categoría. Tr tricoma. BT base del tricoma. Di diente. CAAd Células de la superficie adaxial. CAB Células de la superficie abaxial. E Estoma.

Figure 4. *Colubrina yucateensis*. A. Leaf blade of a herbarium specimen. B. Detail of the leaf blade venation from the herbarium specimen and the margin with small teeth. C. Diaphanized leaf blade showing first, second, and third-order veins. D. Detail of the margin with third-order veins feeding a small tooth and reticulated fourth-order veins. E. Adaxial polygonal epidermal cells with straight walls and some with thicker walls. F. Detail of trichomes with radial base (note the thickened base and modified epidermal cells). G. Abaxial epidermal cells with undulating walls, anomocytic stomata, and trichomes. References: P first-order vein. S second-order vein. T third-order vein. C fourth-order vein. Tr trichome. BT trichome base. Di tooth. CAAd Cells of the adaxial surface. CAB Cells of the abaxial surface. E Stoma.

4.- *Colubrina macrocarpa* (Cav.) G. Don var. *macrocarpa* (Figura 5).

Hojas simples, simétricas, ovadas a ovado-oblongas de 2 a 9 cm de largo y 1 a 7 cm de ancho, ápice redondeado a veces agudo, base redondeada a truncada a levemente cordada, textura subcoriácea, margen serrado, con 50 a 70 dientes de cada lado (Figura 5A, B) sin glándulas (Figura 5C). Pecíolo de 2 a 20 mm de largo y 1 a 2 mm de diámetro. Venación acródroma basal imperfecta, en su curso las tres venas parten de un mismo punto que convergen hacia el ápice

(Figura 5B), venas de segunda categoría craspedódromas más o menos rectas, no ramificadas a veces 1-ramificadas que alimentan a los pequeños dientes (Figura 5D), las venas terciarias reticuladas superadyacentes, en el margen de la lámina también alimentan a los pequeños dientes (Figura 5D) con venas libres no ramificadas curvadas (Figura 5D, E).

Epidermis en vista superficial: Células de la epidermis adaxial alargadas con paredes rectas (Figura 5F), en la epidermis abaxial las células son pentagonales con paredes rectas (Figura 5G). Estomas en la abaxial mayoritariamente del tipo anisocíticos, ocasionalmente del tipo pericítico de 22.7 a 23.9 μm de longitud y ancho respectivamente, densidad estomática 21/ mm^2 (Figura 5G). Tricomas unicelulares, eglandulares, base radial con 7 células epidérmicas pentagonales, dispuestos en ambas superficies de 25.32 μm de largo con una densidad de 38/ mm^2 (Lám. 5F).

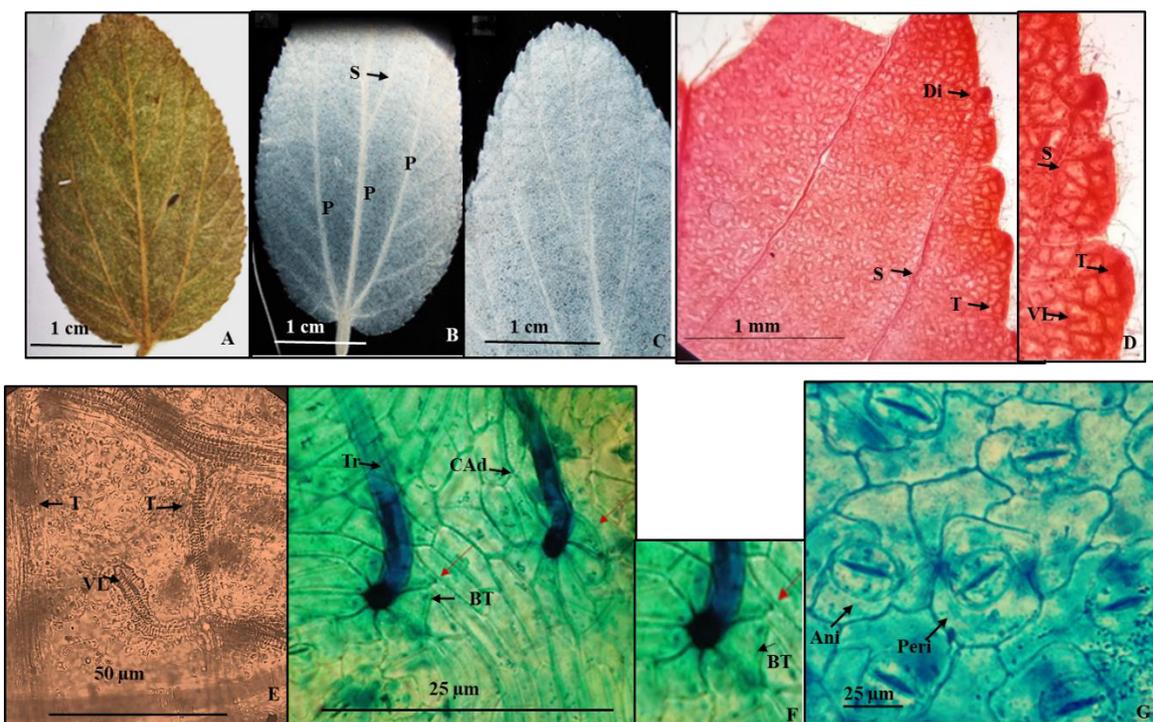


Figura 5. *Colubrina macrocarpa* var. *macrocarpa*. A.- Lámina foliar de material herborizado. B.- Material diafanizado, detalle de la base. C.- Material diafanizado, detalle del ápice y margen. D.- Detalle del margen donde se aprecia la alimentación de venas de segunda y tercera categoría que alimentan a los pequeños dientes. E.- Detalle de una vena de tercera categoría y en el interior una vena libre no ramificada curvada. F.- Detalle de la base radial de los tricomas y células epidérmicas adaxiales alargadas. G. Células epidérmicas abaxiales anticlinales con estomas anisocíticos y pericíticos. Referencias: P venas de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. VL vena libre. Tr tricoma. BT base del tricoma. CAd Células de la superficie adaxial. E Ani estomas anisocíticos. Peri estomas pericíticos.

Figure 5. *Colubrina macrocarpa* var. *macrocarpa*. A. Leaf blade from herbarium material. B. Diaphanized material, detail of the base. C. Diaphanized material, detail of the apex and margin. D. Detail of the margin showing the feeding of second and third-order veins that nourish the small teeth. E. Detail of a third-order vein with an interior curved unbranched free vein. F. Detail of the radial base of trichomes and elongated adaxial epidermal cells. G. Abaxial epidermal cells with anticlinal walls, anisocytic stomata, and pericytic stomata. References: P first-order veins. S second-order vein. T third-order vein. VL free vein. Tr trichome. BT trichome base. CAd Cells of the adaxial surface. E Ani anisocytic stomata. Peri pericytic stomata.

5.- *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. *et stat. nov.* (Figura 6).
Colubrina macrocarpa (Cav.) G. Don var. *lanulosa* (S. F. Blake) M. C. Johnston.

Hojas simples, simétricas, oblonga a oblonga-lanceolada de 3 a 9 cm de largo y 2 a 7 cm de ancho, ápice agudo, base redondeada, textura subcoriácea, margen serrado con más de 50 dientes de cada lado o margen crenado (Figura 6A, B), sin glándulas (Figura 6C). Pecíolo de 1.2 a 2 mm de largo y 1 a 1.5 mm de diámetro. Vena de primera categoría pinnada de curso recto (Figura 6A, B), las secundarias craspedródromas, cinco de cada lado, curvadas, el primer par inferior ramificado (Figura 6B) las venas secundarias en el margen 1-ramificadas y alimentan a los pequeños dientes y crenaciones (Figura 6D), las de tercera categoría reticuladas superadyacentes, las marginales alimentan los dientes (Figura 6E), las venas de cuarta reticuladas (Figura 6F).

Epidermis en vista superficial: Células en ambas superficies de la lámina foliar anticlinales con paredes rectas (Figura 6G). Estomas abaxiales mayoritariamente de tipo anisocíticos y algunos anomotetracíticos de 27.1 μm de longitud y 24 μm de ancho, densidad estomática 29/ mm^2 (Figura 6G, H). Tricomas eglandulares, unicelulares muy densos en ambas superficies de la lámina foliar insertos en las venas de primera, segunda, tercera y cuarta categoría, base radial con 6 células pentagonales dispuestos en ambas superficies de 25.32 μm con una densidad de 102/ mm^2 (Figura 6G).

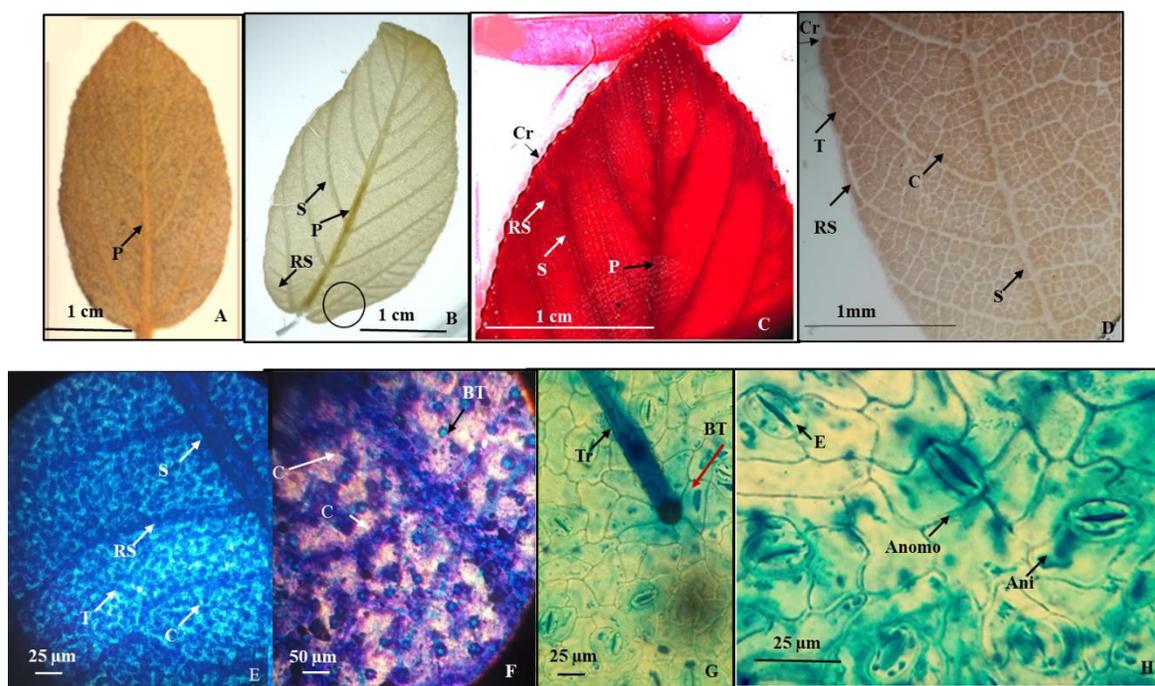


Figura 6. *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. *et stat. nov.* A.- Lámina foliar de un ejemplar de herbario. B.- Lámina foliar diafanizada mostrando detalle de las venas secundarias inferiores ramificadas. C.- venas secundarias del margen que alimentan a los pequeños dientes. D.- Material diafanizado mostrando detalle de las venas de segunda y tercera categoría que en el margen alimentan a las crenaciones. E. Venas de segunda, tercera y cuarta categoría reticuladas. F.- Detalle de venas de cuarta categoría, los puntos brillantes son la base de los tricomas. G. Detalle de un tricoma con base radial. H. Células epidérmicas abaxiales mostrando estomas anisocíticos y anomotetracíticos. Referencias: P vena de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. C vena de cuarta categoría. RS Ramificación de vena secundaria. Cr crenación. Tr tricoma. BT base del tricoma. Anomo estoma anomotetracíticos. Ani estoma anisocítico. El círculo en B corresponde a la porción de la lámina foliar que se muestra a mayor aumento en las fotomicrografías de la letra D y E.

Figure 6. *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. et stat. nov. A. Leaf blade of a herbarium specimen. B. Diaphanized leaf blade showing details of branched lower secondary veins. C. Marginal secondary veins feeding the small teeth. D. Diaphanized material showing details of second and third-order veins that feed the marginal crenations. E. Reticulated second, third, and fourth-order veins. F. Detail of fourth-order veins, with the bright points representing trichome bases. G. Detail of a trichome with a radial base. H. Abaxial epidermal cells showing anisocytic and anomotetracytic stomata. References: P first-order vein. S second-order vein. T third-order vein. C fourth-order vein. RS Branching of secondary vein. Cr crenation. Tr trichome. BT trichome base. Anomo anomotetracytic stomata. Ani anisocytic stomata. The circle in B corresponds to the portion of the leaf blade that is shown at a higher magnification in the photomicrographs of letters D and E.

6.- *Colubrina stricta* Engelm. ex Blankinship (Figura 7).

Colubrina texensis (Torrey & Gray) A. Gray var. *pedunculata* M.C. Johnston

Hojas simples, simétricas, ovadas a ovado-oblongas de 3 a 7.5 cm de largo y 2 a 4 cm de ancho, ápice redondeado a agudo, base redondeada a truncada, textura subcoriácea, margen diminutamente serrado con 15 a 30 dientes a cada lado, muchas veces casi imperceptibles (Figura 7A, B), sin glándulas (Figura 7C). Pecíolo de 1 a 2 cm de largo por 1 a 1.5 mm de diámetro. Vena de primera categoría pinnada con curso recto (Figura 7B), las secundarias caspedódromas, con cinco a seis a cada lado de la lámina foliar, no ramificadas (Figura 7B), las de tercera categoría reticuladas supraducentes y en el margen alimentan a los diminutos dientes (Figura 7C, D), venas de cuarta categoría reticuladas (Figura 7D, E) que incluyen una vena no ramificada curva (Figura 7E).

Epidermis en vista superficial: Células epidérmicas adaxiales y abaxiales hexagonales con paredes rectas (Figura 7F, H). Estomas restringidos a la superficie abaxial de tipo anomotetracíticos de 26.1 a 17.3 μm de longitud y ancho respectivamente, densidad estomática 14/mm² (Figura 7H). Tricomas eglandulares, unicelulares con base radial de 5 a 7 células pentagonales dispuestos en ambas superficies de 19.54 μm de largo con densidad de 58/mm² (Figura 7F, G).

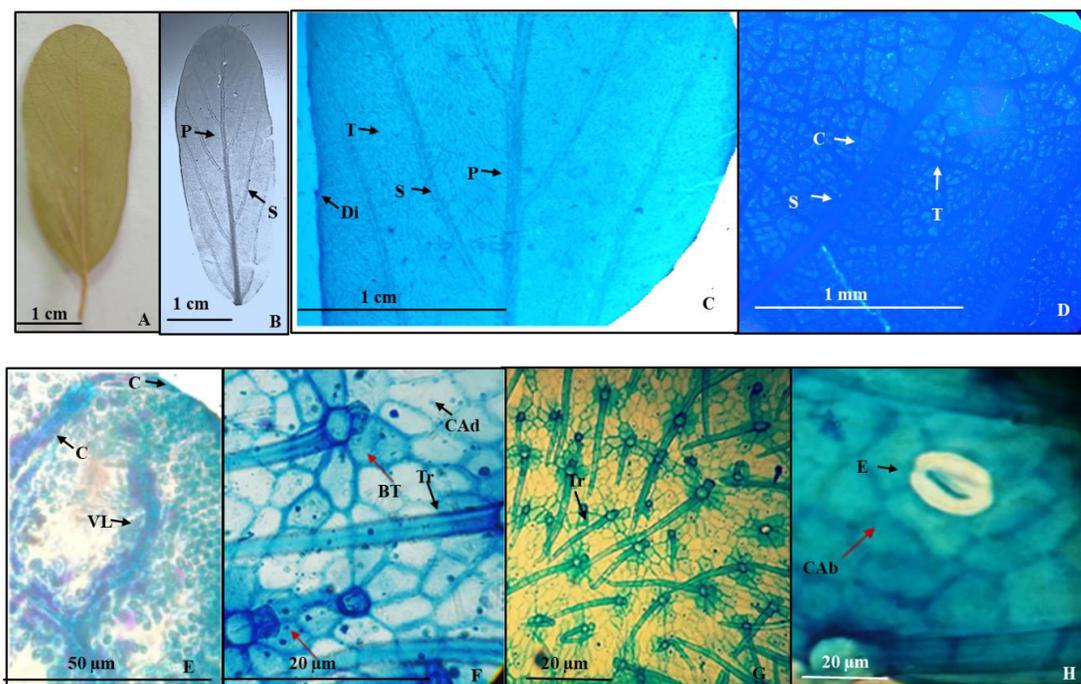


Figura 7. *Colubrina stricta*. A.- lámina foliar de ejemplar de herbario. B.- Lámina foliar diafanizada con venas de primera y segunda categoría. C.- Detalle de un pequeño diente marginal alimentado por una vena de tercera

categoría, venas de primera, segunda y tercera categoría. D.- Detalle de las venas de segunda, tercera y cuarta categoría. E.- Vena de cuarta categoría con una vena incluida. F.- Células epidérmicas adaxiales hexagonales con tricomas de base radial. G.- Células epidérmicas abaxiales con células epidérmicas hexagonales y tricomas con base radial. H. Detalle estoma anomotetracítico. Referencias: P vena de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. C vena de cuarta categoría. Tr tricoma. BT base del tricoma. Di diente del margen. VL vena libre. CAD Células de la superficie adaxial. CAB Células de la superficie abaxial. E. Estoma anomotetracítico.

Figure 7. *Colubrina stricta*. A. Leaf blade from a herbarium specimen. B. Diaphanized leaf blade with first and second-order veins. C. Detail of a small marginal tooth fed by a third-order vein, first, second, and third-order veins. D. Detail of second, third, and fourth-order veins. E. Fourth-order vein with an included vein. F. Hexagonal adaxial epidermal cells with trichomes with radial bases. G. Abaxial epidermal cells with hexagonal epidermal cells and trichomes with radial bases. H. Detail of an anomotetracytic stomata. References: P first-order vein. S second-order vein. T third-order vein. C fourth-order vein. Tr trichome. BT trichome base. Di marginal tooth. VL free vein. CAD Cells of the adaxial surface. CAB Cells of the abaxial surface. E. Anomotetracytic stomata.

7. - *Colubrina texensis* (Torrey & Gray) A. Gray (Figura 8).

Hojas simples, simétricas, estrechamente obovadas, obovado-oblongas a anchamente ovadas, de 1 a 3.7 cm de largo y 0.5 a 2 cm de ancho, ápice redondeado, base redondeada a ancha decurrente, textura subcoriácea, margen serrulado con 10 a 30 dientes a cada lado de la lámina foliar (Figura 8A, B, C) sin glándulas (Figura 8D). Pecíolo de 1 a 4 mm de largo y 0.25 a 0.50 mm de diámetro. Vena de primera categoría pinnada con curso recto (Figura 8A, B, C), las secundarias craspedródromas, con tres o cuatro venas a cada lado de la lámina foliar, el par inferior ramificado (Figura 8C), en el margen algunas venas no ramificadas y otras 1-ramificadas que alimentan a los pequeños dientes (Figura 8C, D), venas de tercera categoría reticuladas superadyacentes (Figura 8E), las de cuarta reticuladas con venas 2 o más ramificadas (Figura 8F).

Epidermis en vista superficial: Células epidérmicas adaxiales y abaxiales con paredes onduladas (Figura 8H, I). Estomas en la superficie adaxial ausentes, en la abaxial de tipo anomocítico de 21.1 a 18.4 μm de longitud y ancho respectivamente, densidad estomática 55/ mm^2 (Figura 8I). Tricomas eglandulares, unicelulares con base radial de 3 a 5 células pentagonales dispuestos en ambas superficies de 18.24 μm de largo con una densidad de 42/ mm^2 (Figura 8G).

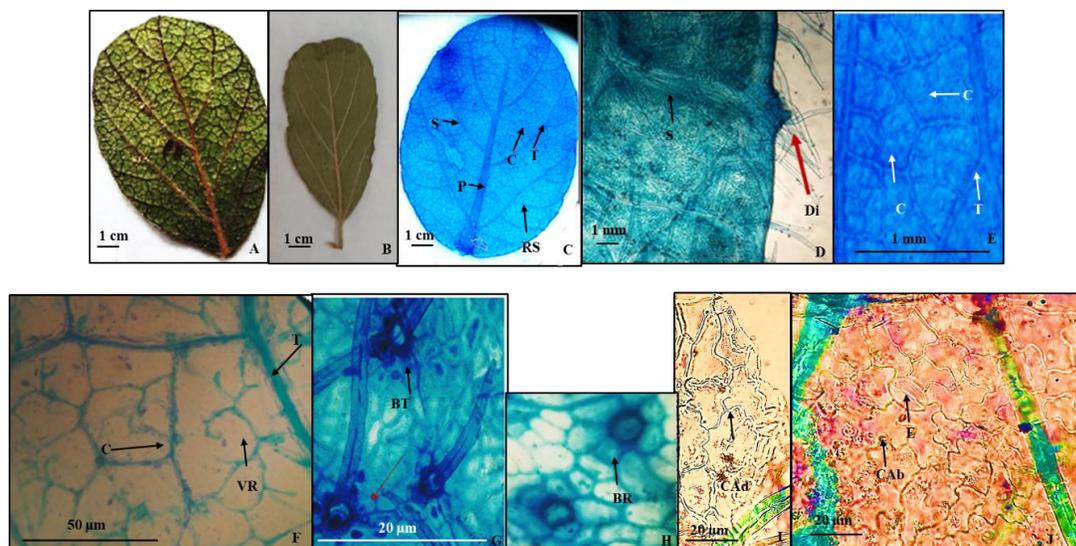


Figura 8. *Colubrina texensis*. A y B.- Láminas foliares de ejemplares de herbario. C.- Lámina de la hoja diafanizada mostrando venas de primera, segunda y tercera categoría. D.- Detalle de un diente del margen alimentado por la

ramificación de una vena de segunda categoría. E.- Detalle de venas de tercera y cuarta categoría. F.- Detalle de venas de tercera y cuarta categoría con venas ramificadas. G. Detalle de tricomas con la base radial. H.- Detalles de la base radial de los tricomas. I.- Células epidérmicas adaxiales con paredes onduladas. J.- Células epidérmicas abaxiales con paredes onduladas y estomas anomocíticos. Referencias: P vena de primera categoría. S vena de segunda categoría. T vena de tercera categoría. Tr tricoma. VR venas ramificadas. BT base del tricoma. BR base radial de los tricomas. CAd células de la superficie adaxial. CAb células de la superficie abaxial. E estomas anomocíticos.

Figure 8. *Colubrina texensis*. A and B. Leaf blades from herbarium specimens. C. Diaphanized leaf blade showing first, second, and third-order veins. D. Detail of a margin tooth fed by the branching of a second-order vein. E. Detail of third and fourth-order veins. F. Detail of third and fourth-order veins with branched veins. G. Detail of trichomes with radial bases. H. Details of the radial base of trichomes. I. Adaxial epidermal cells with undulating walls. J. Abaxial epidermal cells with undulating walls and anomocytic stomata. References: P first-order vein. S second-order vein. T third-order vein. Tr trichome. VR branched veins. BT trichome base. BR radial base of trichomes. CAd cells of the adaxial surface. CAb cells of the abaxial surface. E anomocytic stomata.

En el cuadro 2 se muestra la comparación entre la arquitectura y superficie foliar de las especies estudiadas del género *Colubrina*.

Cuadro 2. Comparación de la arquitectura y anatomía foliar de las especies estudiadas del género *Colubrina*.

Table 2. Comparison of the leaf architecture and anatomy of the studied species of the genus *Colubrina*.

Especie	Primera categoría	Segunda categoría	Tercera categoría	Cuarta categoría	Alimentación diente	Celulas adaxiales	Celulas abaxiales	Tipos de estomas	Base de los tricomas
<i>C. greggii</i>	Acrodroma basal imperfecta, par inferior lateral ramificadas	Craspedódromas, en el margen forman arcos	Reticuladas super-adyacentes	Reticuladas	De los arcos marginales de las venas de segunda categoría sale una vena que alimenta a los dientes	Hexagonales, paredes rectas,	Hexagonales, paredes rectas	Anomocíticos	Base engrosada y células epidérmicas no modificadas
<i>C. angustior</i>	Pinnada	Craspedódromas, primer par basal ramificado	Reticuladas super-adyacentes	Reticuladas	Venas tercera categoría alimentan los dientes del margen, pueden o no formar arcos	Hexagonales, paredes rectas	Paredes onduladas	Anomocíticos	Base engrosada y células epidérmicas no modificadas
<i>C. yucatensis</i>	Pinnada	Craspedódromas, primer par basal ramificado	Reticuladas super-adyacentes	Reticuladas	Venas tercera categoría alimentan los dientes del margen a veces forman arcos	Poligonales, paredes rectas	Paredes onduladas	Anomocítico	Radial
<i>C. macrocarpa</i>	Acrodroma basal imperfecta	Craspedódromas no ramificadas o 1-ramificadas	Reticuladas, super-adyacentes, incluyen venas libres		Venas de segunda y tercera categoría alimentan los dientes del margen	Alargadas paredes rectas	Pentagonales, paredes rectas	Anisocíticosy pericítico	Radial
<i>C. lanulosa</i>	Pinnada	Craspedódromas,	Reticuladas, en el	Reticuladas	Venas de segunda y	Anticlinales con	Anticlinales con	Anomocíticos	Radial

		par inferior lateral ramificadas	margen alimentan los dientes		tercera categoría alimentan los dientes del margen	paredes rectas	paredes rectas	y anomotetracíticos	
<i>C. stricta</i>	Pinnada	Craspedódromas, primer par basal no ramificado	Reticuladas, superadyacentes	Reticuladas con 1 vena no ramificada	Venas de tercera categoría alimentan los dientes del margen	Hexagonales paredes rectas	Hexagonales paredes rectas	Anomotetracíticos	Radial
<i>C. texensis</i>	Pinnada	Craspedódromas, primer par basal ramificado	Reticuladas superadyacentes	Reticuladas con venas 2 o más ramificadas	Venas de segunda categoría y muy pocas de tercera alimentan los dientes del margen	Paredes onduladas	Paredes onduladas	Anomocítico	Radial

Al analizar el resultado de la arquitectura y anatomía foliar de las especies y variedades estudiadas se encontraron algunos patrones que las relacionan, pero a la vez, se observaron diferencias que permitieron separarlas como se muestra en la siguiente clave dicotómica.

Clave dicotómica para separar las especies y variedades del género *Colubrina* que crecen en México, según su arquitectura y anatomía foliar

- 1.- Venas de primera categoría acródroma basal imperfecta, las secundarias craspedódromas
- 2.- Tricomas de la lámina foliar con base engrosada y células epidérmicas no modificadas, venas de tercera y cuarta categoría reticuladas, estomas anomocíticos
.....*C. greggii*
- 2.- Tricomas de la lámina foliar con base radial, venas de tercera categoría, incluye venas libres no ramificadas, estomas de tipos pericíticos y anomocíticos
.....*C. macrocarpa* var. *macrocarpa*
- 1.- Vena de primera categoría pinnadas, las secundarias craspedódroma
- 3.- Tricomas de la lámina foliar con base engrosada y células epidérmicas no modificadas
.....*C. angustior*
- 3.- Tricomas de la lámina foliar con base radial
- 4.- Par basal de las venas secundarias ramificadas
- 5.- Venas de cuarta categoría reticuladas con venas dos o más veces ramificadas, células epidérmicas adaxiales y abaxiales con paredes onduladas*C. texensis*
- 5.- Venas de tercera y cuarta categoría reticuladas sin venas libres incluidas
- 6.- Lámina foliar densamente pilosa con células epidérmicas adaxiales y abaxiales con paredes rectas, estomas anomocíticos y anisocíticos *C. lanulosa*

- 6.- Lámina foliar pilosa, células de la epidermis adaxiales con paredes rectas y las abaxiales con paredes onduladas, estomas anomocíticos*C. yucatanensis*
- 4.- Par basal de venas secundarias no ramificadas, venas de cuarta categoría con una vena no ramificada *C. stricta*

DISCUSIÓN

La base de los tricomas es un carácter importante que permitió separar las especies, la mayoría de ellas presentan tricomas con base radial y solo *Colubrina greggii* y *C. angustior* muestran tricomas con base engrosada y células epidérmicas no modificada semejantes a los que presentan el género *Gouania*, Rhamnaceae (Hernández *et al.*, 2021).

Johnston (1971, p. 8) en las claves para separar los taxones de los subgéneros de *Colubrina*, en especial el subgénero *Serrataria* incluye a los siete taxones estudiados en este trabajo, menciona que las especies presentan el margen de las hojas serrado con más de diez dientes y cada uno de ellos está asociados con glándulas marginales, sin embargo, en los materiales diafanizados de este trabajo no se apreciaron glándulas en los dientes y las pequeñas protuberancias corresponden a las venas secundarias o terciarias que alimentan a cada uno de ellos.

En este mismo trabajo de Johnston (1971, p. 37) reconoció tres grupos de especies con sus respectivas variedades; *Colubrina greggii* con tres, *C. texensis* con dos y *C. macrocarpa* con tres. Sin embargo, Nesom (2013 p. 11) consideró las tres variedades de *C. greggii* como tres especies y las separa por la forma de las hojas, el tamaño de la planta y por el número de flores que presentan las inflorescencias así como la distribución geográfica. A partir de los caracteres de arquitectura foliar y anatomía de la epidermis fue posible separar estos taxones por los siguientes caracteres:

En los resultados de este trabajo *C. greggii* mostró venación acródroma basal imperfecta, tricomas de la lámina foliar con la base engrosada y células epidérmicas no modificadas, además presenta células de la epidermis adaxiales y abaxiales hexagonales con paredes rectas. *C. angustior* con venación craspedódroma, tricomas con base engrosada y células epidérmicas no modificadas, células adaxiales y abaxiales hexagonales con paredes rectas y *C. yucatanensis* con el mismo tipo de venación, tricomas de la lámina foliar con base radial, células epidérmicas adaxiales poligonales con paredes rectas y las abaxiales con paredes onduladas. Lo anterior justifica el reconocimiento de las especies propuestas por Nesom (2013); en donde el complejo de *C. greggii* presenta caracteres en común como los estomas anomocíticos y las venas de tercera y cuarta categoría reticuladas.

Johnston (1971, p. 43) reconoció las variedades de *Colubrina texensis* var. *texensis* y *C. texensis* var. *pedunculata*, aunque anteriormente Johnston (1969) consideró a este último taxón de origen híbrido entre *C. texensis* y *C. greggii*, pero decidió dejarla como la variedad de *C. texensis* var. *pedunculata*. Posteriormente Engelmann decide describirla como *C. stricta* Engelmann ex M.C. Johnston (1969, p. 257), por lo que *Colubrina texensis* var. *pedunculata* pasa a ser sinónimo de *C. stricta*.

Posteriormente Nesom (2013, p. 1) las consideró como dos especies, una de ellas como *C. texensis* antes considerada como la variedad tipo y la segunda la válida como *Colubrina stricta* argumentando que *C. texensis* y *C. stricta* son parcialmente simpátricas, pero morfológicamente distintas.

Con respecto al punto anterior, Nesom (2013) separa a *C. texensis* y *C. stricta* por las características del tamaño de las flores, largo del pedicelo, tipos de inflorescencia, ramas

derechas o en zigzag y la distribución geográfica. Desde el punto de vista de la arquitectura foliar y las características epidérmica se separan por los siguientes caracteres: *C. texensis* con el par basal de venas secundarias ramificadas, venas terciarias reticuladas y las cuaternarias con venas dos o más veces ramificadas, células epidérmicas adaxiales y abaxiales con paredes onduladas, estomas anomocíticos; mientras que *C. stricta* no presenta el par basal de venas secundarias ramificadas, venas de cuarta categoría con una vena no ramificada, células epidérmicas adaxiales y abaxiales hexagonales con paredes rectas, estomas anomotetracítico.

Lo anterior justificaría la separación de las especies propuestas por Nesom (2013). El complejo de *C. texensis* tiene en común las venas de primera categoría pinnadas y las venas de segunda categoría craspedódromas, las venas de tercera categoría reticuladas y las de cuarta incluyen venas no ramificadas o dos o más veces ramificadas, tricomas con base radial.

Con lo que respecta a las variedades de *Colubrina macrocarpa*, Johnston (1971, p. 41) reconoce tres, la variedad tipo y las otras son *C. macrocarpa* var. *lanulosa* y *C. macrocarpa* var. *macrocarpiodes*, esta última conocida solo de la localidad tipo en Querétaro entre San Juan del Río y Hacienda Ciervon en el municipio de Cadereyta, recolectada por Rose *et al.* en 1905 y no se ha vuelto a encontrar, por lo que se excluye en este trabajo por la falta de material foliar. Las variedades de *Colubrina macrocarpa* var. *macrocarpa* y *C. macrocarpa* var. *lanulosa*, Johnston (1971, p. 42) las separa por las siguientes características:

C. macrocarpa var. *macrocarpa* son arbustos de 1 a 1.5 m, lámina foliar 1.1 a 1.4 veces más largas que anchas, superficie adaxial con pubescencia uniforme, diminuta, estrigosa, sólo cerca de las venas con un tomento algo apretado de tricomas sedosos rojizos; pecíolos de 1 a 1.5 mm de espesor; inflorescencia tirsoide de 10 a 30 flores, de alrededor de 1 cm de largo, en cambio *C. macrocarpa* var. *lanulosa* son arbustos de hasta 3 m de altura, láminas foliares 1.3 a 1.6 veces más largas que anchas, superficie adaxial densamente rojizo-estrigoso, superficie abaxial con un tomento denso, suelto, rojizo-sedoso; pecíolos de 1.5 a 2 mm de espesor; inflorescencia tirsoide de 20 a 50 flores, de alrededor de 2 cm de largo.

Las características de arquitectura y anatomía foliar que se encontraron es este trabajo son las siguientes:

C. macrocarpa var. *macrocarpa* con venación acródroma basal imperfecta, venas de tercera categoría con una vena libre incluida, estomas anisocíticos con algunos pericíticos y *C. macrocarpa* var. *lanulosa* presenta venación craspedródroma, venas de tercera y cuarta categoría reticuladas, estomas anisocíticos y algunos anomotetracíticos. La arquitectura y anatomía foliar permite separar estas dos variedades, por lo que se propone una combinación y estatus de una nueva especie de *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín y como sinónimo a *C. macrocarpa* var. *lanulosa*.

Colubrina lanulosa (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. et stat. nov.

Colubrina macrocarpa (Cav.) G. Don var. *lanulosa* (S. F. Blake) M. C. Johnston, Brittonia 23: 41. 1971. Tipo: MEXICO. Guerrero. Volcanic soil, Tlacotepec, ca. 17°40' N lat., 100°00' W long., 1600 m, 10 jun 1899, Langlassé 1053 (HOLOTYPE GH!).

Arbustos de hasta 3 m de altura, hojas simples, simétricas, oblonga a oblonga-lanceolada de 3 a 9 cm de largo y 2 a 7 cm de ancho, ápice agudo, base redondeada, textura subcoriácea, margen serrado con más de 50 dientes de cada lado o margen crenado, sin glándulas. Pecíolo de 1.2 a 2 mm de largo y 1 a 1.5 mm de diámetro, superficie adaxial densamente rojizo-estrigoso, superficie abaxial con un tomento denso, suelto, rojizo-sedoso; pecíolos de 1.5-2 mm de espesor; inflorescencia tirsoide de 20-50 flores, de 2 cm de largo.

Venas de primera categoría pinnada de recorrido recto, las secundarias craspedródromas, cinco de cada lado, curvadas, el primer par inferior ramificado, las venas secundarias en el margen son 1-ramificada y alimentan a los pequeños dientes o crenaciones, las terciarias reticuladas

superadyacentes y las marginales alimentan los dientes, las venas cuaternarias reticuladas. Epidermis en vista superficial con células en ambas superficies de la lámina foliar anticlinales. Estomas abaxiales mayoritariamente de tipo anisocitocos y algunos anomotetracíticos de 27.1 μm de longitud y 24 μm de ancho, densidad estomática 29/ mm^2 . Tricomas eglandulares, unicelulares muy densos en ambas superficies de la lámina foliar insertos en las venas de primera, segunda, tercera y cuarta categoría, con base radial de 6 células pentagonales dispuestos en ambas superficies de 25.32 μm con 102/ mm^2 .

Distribución: Se le conoce solo del estado de Guerrero.

Colubrina lanulosa (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. et stat. nov.

Shrubs up to 3 m high, leaves simple, symmetrical, oblong to oblong-lanceolate, 3 to 9 cm long and 2 to 7 cm wide, acute apex, rounded base, subcoriaceous texture, serrated margin with more than 50 teeth, each side or margin crenate, without glands. Petiole 1.2-2 mm long and 1-1.5 mm in diameter, adaxial surface densely reddish-strigous, abaxial surface with a dense, loose, reddish-silky tomentum; petioles 1.5-2 mm thick; thyrsoid inflorescence of 20-50 flowers, 2 cm long.

First category pinnate veins with a straight course, the secondary ones craspeddromous, five on each side, curved, the first lower pair branched, the secondary veins on the margin are 1-branched and feed the small teeth or crenations, the tertiary reticulated superadjacent and the marginal ones feed the teeth, the quaternary reticulated veins. Epidermis in superficial view with anticlinal cells on both surfaces of the leaf blade. Abaxial stomata, mostly anisocytotic and some anomotetracytic, 27.1 μm in length and 24 μm in broad, stomatal density 29/ mm^2 . Eglandular, single-celled, very dense trichomes on both surfaces of the leaf blade inserted in the veins of the first, second, third and fourth category, with a radial base of 6 pentagonal cells arranged on both surfaces of 25.32 μm with 102/ mm^2 .

Distribution: It is known only from the state of Guerrero.

Colubrina lanulosa (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín, comb. et stat. nov.

Frutices usque ad 3 m alta, foliis simplicibus, symmetricis, oblongis vel oblongo-lanceolatis, 3 ad 9 cm longis et 2 ad 7 cm latis, apice acutis, basi rotundatis, textura subcoriaceis, margine serratis plusquam 50 dentibus. margine crenata, sine glandulis. Petiolum 1.2 ad 2 mm longum et 1 ad 1.5 mm diametro, superficie adaxiali dense rufo-strigore, superficie abaxiali denso, laxo, tomento rubro-sericeo; petioli 1,5 ad 2 mm crassi; inflorescentia thyrsoidea 20 ad 50 florum, 2 cm longa.

Prioris generis venae pinnatae recto cursu, secundariae craspeddromae, utrinque quinque, curvatae, primo inferiores par ramosae, venae secundariae in margine 1-ramosae sunt et dentes vel crenationes parvos, tertiariis reticulatis superadiacentibus pascunt marginales dentes pascunt, venae quaternariae reticulatae. Epidermis in visu superficiali cum cellulis anticlinalibus utrinque foliorum laminae. Stomata abaxialia, plerumque anisocytotica et quaedam anomotetracytica, 27.1 μm longitudine et 24 μm lata, densitas stomatalis 29/ mm^2 . Eglandulare, unico-cellulatum, trichomatum densissimum in utraque parte laminae folii in venis primae, secundae, tertiae et quartae insertae, cum basi radiali cellularum 6 pentagonarum in utraque superficie 25.32 μm cum 102/ mm^2 dispositae.

Distributio: Ex statu Guerrero notum est.

CONCLUSIONES

Fue posible separar los siete taxones estudiados utilizando caracteres de arquitectura y superficie foliar como tipo de venación, base de los tricomas, características de las células epidérmicas adaxiales y abaxiales y los tipos de estomas.

Se apoya la separación de especies propuestas por Nesom (2013) debido a que los datos que aporta la arquitectura foliar y la superficie epidérmica permitieron separar estos taxones.

Se propone una combinación y estatus de una nueva especie a *Colubrina lanulosa* (M. C. Johnston) Fernández & Arreguín.

LITERATURA CITADA

- Aguirre Claverán, R., y Arreguín Sánchez, M. L. (1988). Claves de familias, géneros, especies y variedades de Pteridofitas de Nuevo León. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.*(29), 29-41.
- Ash, A., Ellis, B., Hickey, L. J., Johnson, K. R., Wilf, P., & Wing, S. L. (1999). Manual of Leaf Architecture - morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms by Leaf Architecture Working Group. 65 p. Institución Smithsonian. https://www.researchgate.net/publication/270216765_Manual_of_Leaf_Architecture_-_Morphological_description_and_categorization_of_dicotyledonous_and_net-veined_monocotyledonous_angiosperms
- Azcárraga, Rosette, M., Bonfil Campos, A., Jáquez Ríos, M., y Sandoval Zapotitla, E. (2010). *Atlas de Anatomía Vegetal*. (F. d. Cuautitlán, Ed.) Ciudad de México, México: U.N.A.M. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.
- Colares, M. N., & Arambarri, A. M. (2008). *Ziziphus mistol* (Rhamnaceae): Morfoanatomía y Arquitectura Foliar. *Lat. Am. J. Pharm.*, 27(4), 568-577.
- Cortés, F. (1982). *Cuadernos de Histología Vegetal*. Ed. Marban. Madrid, España.
- Dilcher, D. L. (1974). Approaches to the Identification of Angiosperm Leaf Remains. *Bot. Rev.*, 40(1), 1-157.
- Fernández N., R. (1993). La familia Rhamnaceae en México. Tesis de doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional.
- Fernández N., R. (1996). Rhamnaceae. *Flora del Bajío y de Regiones adyacentes* (Fascículo 43), 1-69.
- Fernández N., R. (2010). Nombres comunes, etnobotánica y distribución geográfica del género *Colubrina* (Rhamnaceae) en México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 10(1), 7-22.
- Gola, G., Negri, G., y Cappelletti, C. (1965). *Tratado de Botánica. Segunda edición*. Ed. Labor, S. A. México.
- Gomes Bezerra, K. M., Soares Silva, L. H., y Gomes, S. M. (2011). Arquitectura foliar de las Lauraceae del Distrito Federal, Brasil y nuevos patrones de venación propuesto. *Gayana Bot.*, 68(1), 1-15.
- Hernández P., K., Fernández N., R., y Arreguín S., M. L. (2021). Arquitectura foliar y anatomía epidérmica de las especies mexicanas del género *Gouania* (Rhamnaceae). *Polibotánica*(52), 151-176.
- Hickey, L. J. (1973). Classification of the Architecture of Dicotyledonous Leaves. *Amer. J. Bot.*, 60(1), 17-33.
- Hickey, L. J. (1974). Clasificación de la arquitectura de las hojas de dicotiledoneas. *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 16(1-2), 1-26.
- Hickey, L. J., & Wolfe, J. A. (1975). The Bases of Angiosperms Phylogeny: Vegetative Morphology. *Ann. Mo. Bot. Gard.*(62), 538-589.
- Johnston, M. (1963). Novelties in *Colubrina* including *Cormonema* and *Hybosperma*. *Wrightia*(3), 91-96.
- Johnston, M. C. (1969). *Colubrina stricta* Engelm ex M. C. Johnston (Rhamnaceae), new species from Texas, Nuevo Leon and Coahuila. *The Southwestern Naturalist*, 14(2), 257. doi:<https://doi.org/10.2307/3668886>
- Johnston, M. (1971). Revision of *Colubrina* (Rhamnaceae). *Brittonia* (23), 2-53.
- Martínez, M. (1979). Las Rhamnáceas. En: Flora del Estado de México. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. *Biblioteca Enciclopédica del Estado de México*(1), 282-286.

Recibido:
26/junio/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Meyer, R., & Meola, S. (1978). Morphological characteristics of leaves and stems of selected Texas Woody plants. *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin*(1564), 1-200.
- Nesom, G. (2013). Taxonomic notes *Colubrina* (Rhamnaceae). *Phytoneuron*(4), 1-21.
- Schirarend, C. (1991). The Systematic Wood anatomy of the Rhamnaceae Juss. (Rhamnales). I. Tribu Zizipheae. *Iawa Bull. n.s.*, 12(4), 359-388.
- Shisode, S. B., & Patil, D. A. (2011). Petiolar anatomy in some Rhamnaceae. *Current Botany*, 2(9), 22-25.
- Standley, P. C. (1923). Rhamnaceae. Trees and Shrubs of Mexico. *Contr. U.S. Nat. Herb.* 23(6), 710-727.
- Wiggins, I. L. (1964). Vegetation and Flora of the Sonoran Desert. Stanford University Press. (2), 856-869.
- Wiggins, I. L. (1980). *Flora of Baja California*. Stanford University Press. Calif. pp 780-787.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

FLORA ARVENSE EN REGIONES CAFETALERAS DE LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

WEED FLORA COMPOSITION IN COFFEE REGIONS IN THE CENTRAL AREA OF VERACRUZ, MEXICO

García-Mayoral, L.E.; R.I. Granados-Argüello; R. López-Morgado; L.A. Gálvez-Marroquín y F. Barbosa-Moreno

FLORA ARVENSE EN REGIONES CAFETALERAS DE LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

WEED FLORA COMPOSITION IN COFFEE REGIONS IN THE CENTRAL AREA OF VERACRUZ, MEXICO



Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 23-43 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.2



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/)).

Flora arvense en regiones cafetaleras de la zona centro de Veracruz, México

Weed flora composition in coffee regions in the central area of Veracruz, Mexico

García-Mayoral, L.E.;
R.I. Granados-Argüello;
R. López-Morgado;
L.A. Gálvez-Marroquín
y F. Barbosa-Moreno

FLORA ARVENSE EN
REGIONES CAFETALERAS
DE LA ZONA CENTRO DE
VERACRUZ, MÉXICO

WEED FLORA
COMPOSITION IN COFFEE
REGIONS IN THE CENTRAL
AREA OF VERACRUZ,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 23-43. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.2

Luis Eduardo García-Mayoral / garcia.eduardo@inifap.gob.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7073-9482>

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias,
C.E. Valles Centrales, C. Melchor Ocampo 7, C.P. 68200,
Sto. Domingo Barrio Bajo, Etila, Oaxaca, México*

Rafael Iván Granados-Argüello

<https://orcid.org/0009-0002-4849-5818>

*PSP-Colaborador por proyecto en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias, C.E. Cotaxtla, S. E. Teocelo, Carr. Xalapa-Veracruz Km. 3.5,
C.P. 91193, Acueducto Ánimas, Xalapa, Veracruz, México*

Rosalío López-Morgado

<https://orcid.org/0000-0002-7212-6038>

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias,
C.E. Cotaxtla, S. E. Teocelo, Carr. Xalapa-Veracruz Km. 3.5, C.P. 91193,
Acueducto Ánimas, Xalapa, Veracruz, México*

Luis Antonio Gálvez-Marroquín

<https://orcid.org/0000-0002-2327-5125>

Finlandia Barbosa-Moreno

<https://orcid.org/0000-0003-3801-9746>

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias,
C.E. Valles Centrales, C. Melchor Ocampo 7, C.P. 68200,
Sto. Domingo Barrio Bajo, Etila, Oaxaca, México*

RESUMEN: Las arvenses son elementos importantes dentro de los cafetales de cualquier región productora, coexistiendo en diferentes grados con el café y especies leñosas asociadas. El objetivo fue identificar las especies de arvenses presentes "en la principal zona productora de café en el estado de Veracruz, analizando siete regiones cafetaleras muestreando 27 sitios. Se registraron 167 morfotipos de arvenses, de las cuales se determinaron taxonómicamente 148 hasta nivel de especie pertenecientes a 52 familias botánicas. Las familias Asteraceae y Poaceae fueron las más ricas en especies con 20 y 21 respectivamente, seguidas de Lamiaceae con 8 especies, Convolvulaceae y Fabaceae cada una con 7 especies, Euphorbiaceae, Malvaceae y Solanaceae con seis especies cada una; las dos primeras familias acumulan alrededor de la mitad de los individuos registrados en todo el trabajo. Las familias con los valores más altos del Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron: Commelinaceae, Asteraceae, Poaceae, Acanthaceae, Crassulaceae; las especies con mayor IVI fueron: *Bidens pilosa*, *Commelina coelestis*, *Melampodium divaricatum*, *Pseudechinolaena polystachya* y *Commelina erecta*. Se logró identificar que variables como la altitud y precipitación tienen una influencia significativa sobre la diversidad de especies de arvenses a lo largo de la zona centro del estado de Veracruz.

Palabras clave: Sistemas agroforestales; Biodiversidad; Plantas herbáceas; Café.

ABSTRACT: Herbaceous plants are important elements in coffee plantations of any producing region, coexisting in different degrees with coffee and woody plants. The objective of this study was to identify the principal herbaceous species present within

one of the main coffee-producing strips in the state, analyzing seven coffee regions sampling 27 sites. 167 morphotypes were identified of which 148 were taxonomically determined to species level belonging to 52 botanical families. The families Asteraceae and Poaceae were the richest families with 20 and 21 species respectively; followed by Convolvulaceae and Fabaceae with 7 species each; and Euphorbiaceae, Lamiaceae and Solanaceae with six species each; the first two families have about the half of all individuals registered in the entire work. The families with the highest IVI were: Commelinaceae, Asteraceae, Poaceae, Acanthaceae, Crassulaceae; and the species with the highest IVI were: *Bidens pilosa*, *Commelina coelestis*, *Melampodium divaricatum*, *Pseudechinolaena polystachya* and *Commelina erecta*, respectively. The results showed that some variables such as altitude and precipitation have a significant influence on the diversity of weed species throughout the central zone of the state of Veracruz.

Key words: Agroforestry systems; Biodiversity; Herbaceous plants; Coffee

INTRODUCCIÓN

El término arvense es coloquialmente desconocido por la gente que no está relacionada con sistemas de producción agrícolas. Por el contrario, el término malezas, malas hierbas o hierbas indeseables; fácilmente es identificado por la mayoría de las personas, lo cual conlleva por se a una connotación negativa acerca de la hierba, mientras que el término arvense simplemente denomina aquellas plantas acompañantes, espontáneas o adventicias asociadas a los cultivos en los espacios modificados para actividades agrícolas (Chacón y Gliessman, 1982). En esta tesitura, en las últimas décadas se han identificado valores positivos de las arvenses en los agroecosistemas, entre los que cabe resaltar su influencia en el control de la erosión del suelo, valor como fuente de alimento de fauna silvestre o doméstica, reserva de germoplasma con utilidad potencial y papel hospedante de enemigos naturales de plagas de los cultivos entre otros (Pareja, 1986; Rivera y Gómez, 1992; Gliessman, 1998; Jones, 2017; Mateos-Maces *et al.*, 2020). Los estudios biológicos acerca de arvenses incluyen conocimientos botánico-taxonómicos, ya que a través de una correcta identificación de especies es posible generar información sobre sus características morfológicas y fisiológicas, lo cual es fundamental para determinar los estadios más vulnerables en cuanto a épocas de aparición, medios de propagación y germinación de semillas (Pareja, 1986), útiles en el diseño de métodos y programas de manejo de las arvenses; sobre todo, para el correcto control mediante métodos químicos, mecánicos, culturales o biológicos.

Conforme a lo descrito, es pertinente agregar que cuando los cafetales están libres de arvenses por períodos muy prolongados, pueden tener problemas tan serios como si se mantuvieran completamente enyerbados, de forma tal que donde el manejo de las arvenses se hace con fines de erradicación completa, puede causarse deterioro en el suelo al exponerse éste a la erosión y lixiviación de nutrientes (Salazar e Hincapié, 2007). También en algunos casos podrían presentarse cambios en la dinámica poblacional de especies, dando lugar a la aparición de otras menos comunes cuyas características las hagan más difíciles de controlar. No obstante, debido a la alternativa del control químico y el relativo bajo costo de este ante el control manual en asociación con otros métodos; se ha dado lugar en ciertas tipologías de productores, a un uso irracional de herbicidas en el control de arvenses, sobre todo cuando hay escases de mano de obra. El contrarrestar poblaciones de arvenses en el cafetal no es una práctica sencilla, si se considera a éstas como el subsistema del estrato bajo del agroecosistema café, cuya presencia implica una interacción compleja de factores de orden ecológico. En este sentido, los estudios de ecología de poblaciones de arvenses están centrándose en el marco de programas de manejo integrado de arvenses (MIA), lo cual puede contribuir notablemente al desarrollo de modelos que permitan más de una estrategia para reducir densidades y coberturas de la comunidad vegetal presente en el sotobosque del cafetal (Salazar e Hincapié, 2009).

Un sistema de MIA enfoca el problema hacia la utilización de formas compatibles con el ambiente, procurando que, mediante la interacción de técnicas adecuadas y conocimientos

existentes, la regulación de la comunidad de arvenses se efectúe a niveles tales que los daños económicos que produzcan estén por debajo de un umbral económico aceptable (Salazar-Gutiérrez, 2020). Sin embargo, dado que la falta de solución al problema de las arvenses aún persiste, el MIA a través de estudios básicos de biología y ecología de arvenses, puede incorporar métodos físicos, químicos, mecánicos, entre otros; en conjunto con medidas preventivas. Un enfoque en el diseño de programas eficaces para el control de las arvenses contempla conocer con exactitud las especies que están presentes en el cafetal, a fin de contribuir en su manejo y no en su erradicación (Salazar e Hincapié, 2007). Por lo que el presente trabajo tiene como finalidad contribuir al conocimiento sobre las especies de arvenses más comunes en los cafetales de la zona centro del estado de Veracruz, analizar su estructura, diversidad y parámetros edafoclimáticos que influyen en su distribución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en la zona centro del estado de Veracruz (ZCEV) ya que es la principal zona compacta productora de café en México y representa el 96.4 por ciento de la superficie cultivada con café en el estado (López *et al.*, 2021). Para el propósito de este trabajo se dividió la ZCEV en siete regiones productoras de café, que obedecen a características agroecológicas y factores político-administrativos relacionados con aspectos gubernamentales. Para análisis y planeación estas regiones se agruparon en tres subzonas: la Norte (regiones de Atzalan y Misantla), Centro (regiones de Coatepec y Huatusco) y Sur (regiones de Córdoba, Tezonapa y Zongolica) (Figura 1).

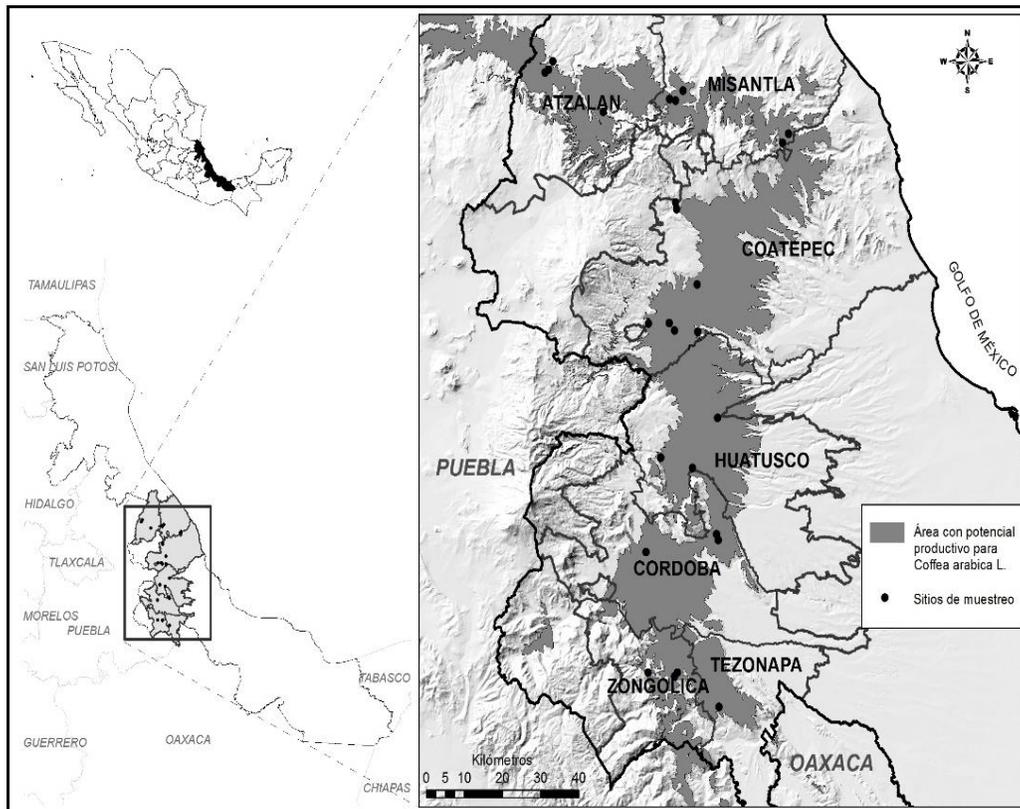


Figura 1. Regiones cafetaleras incluidas para el análisis dentro de ZCEV.
Figure 1. Coffee-producing regions included for analysis within ZCEV.

Metodología

Se levantó un inventario de la composición florística de arvenses presentes en el sotobosque de cafetales en el periodo de julio a septiembre del año 2013. El muestreo se analizó por subzona, región y sitio de muestro. Los sitios de muestreos dentro de cada región (Figura 1) se hicieron tratando de seguir un transecto altitudinal para encontrar diferencias en la presencia de especies. Se georreferenció su ubicación con ayuda de un GPS marca Garmin modelo 60cs para obtener posteriormente datos de mapotecas digitales, acerca de las características ambientales de estos puntos.

En cada sitio de muestreo se establecieron de manera aleatoria tres rectángulos de un metro cuadrado (2 m x 0.5 m), con base en la metodología de cuadrantes rectangulares propuesta por García (2008) y Caamal-Maldonado y Castillo-Caamal (2011). Se censaron todos los individuos presentes; determinando su identidad taxonómica recolectando ejemplares botánicos que fueron secados y prensados de acuerdo con la metodología propuesta por Pennington y Gentry (1994) para su ingreso y determinación por comparación en el herbario XAL (Instituto de Ecología A. C.), apoyados de claves taxonómicas como las de Schmid (1989), Sánchez-Ken *et al.* (2012), Soreng *et al.* (2015) y Sanchez-Ken (2018). Las plantas colectadas debían cumplir ciertos requisitos: la mayoría de sus hojas estar en buen estado, con flores, raíz, de ser posible con fruto y no presentar daño por algún agente patógeno. Se realizó un listado de nombres comunes de las especies de arvenses con la ayuda de los pobladores de las comunidades visitadas el cual se usó en la determinación al consultarlos con un catálogo de nombres vulgares y posteriormente corroborarlas en el herbario (Flores-Olvera y Lindig-Cisneros, 2005).

Se estimó a diferentes niveles (sitio de muestreo, región, subzona y general) las variables de densidad (número de individuos de la especie “i” / área muestreada), frecuencia (número de sitios con presencia de la especie “i” / número total de sitios muestreados) y cobertura (área total proyectada por la especie “i” / área muestreada) por especie y por familia. Estas variables discretas son determinadas a partir de unidades puntuales y su combinación permite una inspección detallada de la dinámica de las especies dentro de un agroecosistema (Aleman, 2004).

Posteriormente se calculó el Índice de Valor de importancia (IVI= densidad relativa + frecuencia relativa + cobertura relativa) de acuerdo con la metodología señalada por Anzalone y Silva (2010). Se elaboró la curva de acumulación de especies para corroborar la fiabilidad del muestreo graficando el número de especies encontradas respecto a los muestreos realizados y con la ayuda del programa EstimateS versión 9.1.0 se calculó la riqueza promedio con el estimador no paramétrico de Chao 1 (basado en la abundancia de cada especie) con la finalidad de precisar el número de especies esperadas para este trabajo (Colwell, 2013). El cálculo de este estimador se generó a partir de un intervalo de 95% de confianza para determinar la significancia estadística de los valores. Por último, se estableció el orden de importancia y se discriminaron especies raras (< al 5% de presencia), que es un criterio sugerido para estudios florísticos (Anzalone y Casanova, 2004).

Se llevaron a cabo análisis de agrupamiento y ordenación haciendo un ajuste de acuerdo con lo sugerido por McCune y Grace (2002); discriminándose aquellas especies con porcentajes menores al 5% del total de sitios muestreados. Para este caso fueron las que solo se presentaron en un sitio de muestreo, por lo que, de las 167 especies registradas se descartaron 80 (especies raras). Llevando a cabo los análisis que a continuación se describen con un total de 87 especies únicamente.

Analisis Cluster (CA). Se realizó con el programa PAST (2007), para relacionar las regiones productoras de café respecto a su similitud florística de ausencia-presencia, empleando UPGMA (unweighted pair-group method with arithmetic averaging) como medida de agrupamiento y el índice de similitud de Sorensen como medida de proximidad. Se eligió este índice por ser de los más robustos para datos ecológicos ya que introduce relativamente poca distorsión en la distancia entre agrupamientos con respecto a la matriz de distancia original y

evita el efecto de encadenamiento generado con otros métodos de unión (Taylor *et al.*, 1987; Ludwig y Reynolds, 1989).

Análisis de correlación canónica (CCA). Para analizar los factores ambientales relacionados con la distribución de las arvenses en los cafetales. Se utilizó una matriz de abundancia de especies por sitio y otra con las características ambientales de esos sitios. Se realizaron dos análisis de CCA; con y sin especies raras, se determinó mediante la comparación del porcentaje de la varianza explicada por los ejes principales, que al descartar especies el porcentaje explicado es mayor. Por tal razón únicamente se muestra este CCA. La primera matriz contenía 87 especies (no raras) y la segunda cuatro variables ambientales (temperatura media anual, precipitación media anual, altitud y profundidad del suelo).

RESULTADOS

Riqueza de especies, familias y estructura

En las fincas de la zona centro de estado de Veracruz se cuantificaron un total 5,132 individuos distribuidos en 167 morfotipos de arvenses (Tabla 1), de cuales se pudo determinar taxonómicamente hasta nivel de especie 148 (97.5% de individuos); hasta género 11 (1.0% de individuos) y ocho fueron desconocidas (1.5% de individuos) debido a la carencia de estructuras reproductiva. Las especies identificadas quedaron enmarcadas en 121 géneros y 52 familias; ocho familias acumularon alrededor del 45 por ciento del total de especies; Poaceae (la más rica) con 21 especies, Asteraceae con 20 especies, Lamiaceae con ocho especies, Convolvulaceae y Fabaceae con siete especies cada una, Euphorbiaceae, Malvaceae y Solanaceae con seis especies cada una.

Tabla 1. Listado de familias y especies encontradas en la ZCEV.**Table 1.** List of families and species found in the ZCEV.

Familia	Especie (Nombre científico)	Clave	Nombre común
Acanthaceae	<i>Hypoestes phyllostachya</i> Baker	Hyph	Hierba pinta, hoja pinta, percalillo
Acanthaceae	<i>Thunbergia alata</i> Bojer ex Sims	Thal	Gorrito (bejuco)
Aizoaceae	<i>Trianthema portulacastrum</i> L.	Trpo	Verdolaga cimaroná
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amhy	Quelite
Amaranthaceae	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amsp	Quelite
Amaranthaceae	<i>Cyathula achyranthoides</i> (Kunth) Moq.	Cyac	Cadillo de bola
Anacardiaceae	<i>Toxicodendron radicans</i> (L.) Kuntze	Tora	Caquis, caquixtle, corralilla
Anemiaceae	<i>Anemia phyllitidis</i> (L.) Sw.	Anph	Espiga larga, helecho
Apiaceae	<i>Eryngium nasturtiifolium</i> Juss. ex F. Delaroché	Ermo	Cilantro cimarrón
Apiaceae	<i>Sanicula libertia</i> Cham. & Schltld.	Sali	5 hojas
Apiaceae	<i>Spananthe paniculata</i> Jacq.	Sppa	Hierba apestosa, sabañón, tallo hueco, zamañón, tronadora
Apocynaceae	<i>Asclepias curassavica</i> Griseb.	Ascu	Mata ganado
Araceae	<i>Anthurium</i> sp.	Ansp	Hoja corazón
Araceae	<i>Caladium bicolor</i> (Aiton) Vent.	Cabi	Mafafa
Araceae	<i>Syngonium neglectum</i> Schott	Syne	Lengua de vaca, malaste, malastle, malastre, malaxtle
Araceae	<i>Xanthosoma robustum</i> Schott	Xaro	Mafafa
Asteraceae	<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni	Agco	Zopilote
Asteraceae	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	Agho	Hierba del zopilote
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	Bipi	Amozo, mozote blanco
Asteraceae	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Coca	Vara
Asteraceae	<i>Eclipta alba</i> (L.) Hassk.	Ecal	S/N
Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Ecpr	Escobo
Asteraceae	<i>Elephantopus tomentosus</i> L.	Elto	Lengua de perro, oreja de cochino
Asteraceae	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Gapa	Arrocillo
Asteraceae	<i>Lactuca intybacea</i> Jacq.	Lain	Lechuguilla
Asteraceae	<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.	Medi	Amozo amarillo, hierbabuenilla, mozote amarillo
Asteraceae	<i>Melampodium microcephalum</i> Less.	Memi	Flor amarilla
Asteraceae	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Pahy	Altamisa, artemisa
Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i> DC.	Poma	Pápalo
Asteraceae	<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (B. Juss. ex Aubl.) Rohr ex Gleason	Pssp	Lengua de perro, oreja de burro, totopillo
Asteraceae	<i>Schistocarpha bicolor</i> Less.	Sebi	S/N
Asteraceae	<i>Senecio vulgaris</i> L.	Sevu	Brujita, cabezuela, lechuga, lechuguilla, lechuguilla erecta
Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Siam	Hierba amarilla, hierba amarilla cabezona
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Taof	Diente de león
Asteraceae	<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass.	Titu	Cachampa, chimalaca, chimalaco, gigantón, orejona, tabaquillo, tlancahuale (nahuatl), zacaxte-chimalaco
Asteraceae	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	Yoja	Lechuguilla
Balsaminaceae	<i>Impatiens mexicana</i> Rydb.	Imme	China gachupina, gachupina
Basellaceae	<i>Anredera ramosa</i> (Moq.) Eliasson	Anra	Bejuco baboso, bejuco malo, corrihuela de camote

Familia	Especie (Nombre científico)	Clave	Nombre común
Campanulaceae	<i>Lobelia cardinalis</i> L.	Loca	Flor roja mirto, mirto, vara roja mirto
Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	Lola	Aretillo, pasmo chilillo
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Trmi	Mata caballo
Caryophyllaceae	<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	Drco	Berrillo, oreja de ratón, hoja corazón, maltanche, platina
Caryophyllaceae	<i>Stellaria cuspidata</i> Willd. ex D.F.K. Schltld.	Stcu	Maltanche
Colchicaceae	<i>Colchicum autumnale</i> L.	Coau	Cebollina
Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i> Willd.	Coco	Matlale, matlali, matlalin
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Codi	Hierba del pollo
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> L.	Coer	Hierba del pollo, matlali
Commelinaceae	<i>Tripogandra serrulata</i> (Vahl) Handlos	Trse	Matlali de flor blanca, matlali flor blanca
Convolvulaceae	<i>Cuscuta corymbosa</i> Ruiz & Pav.	Cuco	Tripa de judas, tripa de pollo
Convolvulaceae	<i>Dichondra micrantha</i> Urb.	Dimi	Oreja de ratón
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Ipba	Camotillo
Convolvulaceae	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	Ipni	Bejuco, bejuco lechocilla
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Ippu	Bejuco, bejuco cola de ratón
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp.	Ipsp	Nueve hojas
Convolvulaceae	<i>Merremia quinquefolia</i> (L.) Hallier f.	Mequ	Bejuco cinco hojas
Crassulaceae	<i>Bryophyllum pinnatum</i> (Lam.) Oken	Brpi	Oreja de burro, siempre viva
Cucurbitaceae	<i>Cyclanthera ribiflora</i> (Schltld.) Cogn.	Cyri	Meloncillo, pepinillo, sandía de ratón
Cucurbitaceae	<i>Momordica charantia</i> L.	Moch	Bejuco 3 hojas
Cucurbitaceae	<i>Sicyos deppei</i> G. Don	Side	Calabacillo
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyro	Zacate
Cyperaceae	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Kybr	Coquillo, coquito
Cyperaceae	<i>Rhynchospora radicans</i> (Schltld. & Cham.) H. Pfeiff.	Rhra	Cebollinilla, pasto, zacate chiche
Dennstaedtiaceae	<i>Dennstaedtia distenta</i> (Kunze) T. Moore	Dedi	Pesma
Euphorbiaceae	<i>Acalypha alopecuroidea</i> Jacq.	Acal	Chinahuatillo, hierba del cáncer, hierba del pastor
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus multilobus</i> (Pax) I.M. Johnst.	Cnmu	Mala mujer
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euhe	Lechocilla, nochebuena, lechocilla
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euhi	Lechocilla, lechoza
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp.	Eusp	Lechocilla
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	Rico	Higuerilla
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i> L.	Hyde	Cebollina, lirio amarillo
Heliotropiaceae	<i>Heliotropium indicum</i> L.	Hein	Hierba alacrán, hierba del alacrán
Lamiaceae	<i>Clerodendrum philippinum</i> Schauer	Clph	S/N
Lamiaceae	<i>Hyptis capitata</i> Jacq.	Hycap	Cabezuela, tabardillo
Lamiaceae	<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.	Hymu	Chichan
Lamiaceae	<i>Leonurus sibiricus</i> L.	Lesi	Mariguanilla
Lamiaceae	<i>Ocimum micranthum</i> Willd.	Ocmi	Hierbabuenilla, zopilotillo
Lamiaceae	<i>Salvia hispanica</i> L.	Sahi	Chante, cola de borrego
Lamiaceae	<i>Salvia hyptoides</i> M. Martens & Galeotti	Sahy	Chante,
Lamiaceae	<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	Sati	Hierba de rana
Fabaceae	<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W.C. Greg.	Arpi	Cacahuatillo
Fabaceae	<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	Dead	Cadillo, pega pega
Fabaceae	<i>Desmodium</i> sp.	Desp	Pega pega
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb	Ency	Guanacaxtle
Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Lele	Guaje
Fabaceae	<i>Mimosa pigra</i> L.	Mipi	Zarza
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i> L.	Mipu	Pinahuixtle
Malvaceae	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Heam	Tecolixtle

Familia	Especie (Nombre científico)	Clave	Nombre común
Malvaceae	<i>Heliocarpus</i> sp.	Hesp	Cadillo de árbol, jonote
Malvaceae	<i>Hybiscus</i> sp.	Hysp	S/n
Malvaceae	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Siac	Cadillo, escobilla, escobillo
Malvaceae	<i>Waltheria indica</i> L.	Wain	Escobilla, escobillo, escobillo real
Malvaceae	<i>Wissadula amplissima</i> (L.) R.E. Fr.	Wiam	Tronadora
Melastomataceae	<i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	Miar	Teshuate
Meliaceae	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	Trha	Rama tinaja
Onagraceae	<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	Lora	S/N
Onagraceae	<i>Oenothera rosea</i> L'Hér. ex Aiton	Oero	Hierba del ángel, hierba del cáncer, hierba del golpe
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxco	Trébol chico
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	Oxla	Trébol grande
Passifloraceae	<i>Passiflora</i> sp.	Pasp	Granada-maracuyá
Petiveriaceae	<i>Rivina humilis</i> L.	Rihu	Coral, verbena
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	Pham	Tamarindo
Piperaceae	<i>Piper amalago</i> L.	Piam	Listoncillo
Piperaceae	<i>Piper marginatum</i> Jacq.	Pima	Como gigantón
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	Pisp	Canutillo
Piperaceae	<i>Piper umbellatum</i> L.	Pium	Acuyo hoja santa, alajan, hierba santa cimarrona, hoja santa, hoja santa cimarrona, omequelite, tlanopa
Piperaceae	<i>Pothomorphe umbellata</i> (L.) Miq.	Poum	Pata de león
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	Plma	Llanten
Poaceae	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Ceec	Zacate cadillo
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Cyda	Navajita
Poaceae	<i>Dichanthelium acuminatum</i> (Sw.) Gould & C.A. Clark	Diac	Pasto fino
Poaceae	<i>Dichanthelium laxiflorum</i> (Lam.) Gould	Dila	Pasto
Poaceae	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	Dici	Gramilla, pasto, pasto conejo, zacate conejo
Poaceae	<i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde	Diin	Pasto, zacate varilla
Poaceae	<i>Digitaria</i> sp.	Disp	Zacate
Poaceae	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Ecco	Pasto, zacate
Poaceae	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Elin	Pasto, pata de gallo
Poaceae	<i>Lasiacis procerrima</i> (Hack.) Hitchc.	Lapr	Pasto
Poaceae	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv.	Ophi	Pasto, pasto matlali
Poaceae	<i>Panicum laxum</i> Sw.	Palax	Pasto, pasto fino, zacate
Poaceae	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Pama	Zacate
Poaceae	<i>Panicum mexicanum</i> Scribn. & Merr.	Pame	Pasto
Poaceae	<i>Paspalum langei</i> (E. Fourn.) Nash	Pala	Gramma, pasto, pasto cola de burro, pasto de burro, zacate, zacate burro
Poaceae	<i>Paspalum notatum</i> Flügge	Pano	Frente de toro
Poaceae	<i>Paspalum virgatum</i> L.	Pavi	Frente de toro, pasto
Poaceae	<i>Pseudechinolaena polystachya</i> (Kunth) Stapf	Pspo	Panza de burro, pasto, pasto matlali, pasto panza de burro
Poaceae	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	Roco	Pasto aguatoso, pasto invasor
Poaceae	<i>Setaria geniculata</i> P. Beauv.	Sege	Cola de zorra, pasto chinahuatillo, zacate, zacate chinahuatillo, zacate gusano
Poaceae	<i>Urochloa plantaginea</i> (Link) R.D. Webster	Urpl	Pasto
Polygalaceae	<i>Polygala paniculata</i> L.	Popa	Arrocillo
Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i> L.	Ruac	Lengua de vaca
Polygonaceae	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Ruob	Lengua de vaca

Familia	Especie (Nombre científico)	Clave	Nombre común
Polypodiaceae	<i>Polypodium</i> sp.	Posp	Helecho, ocopetate, palma helecho, palmilla
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Pool	Verdolaga
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Anar	Maltanche
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Erja	Níspero
Rubiaceae	<i>Borreria alata</i> (Aubl.) DC.	Boal	Cacahuatillo
Rubiaceae	<i>Diodia brasiliensis</i> Spreng.	Dibr	Escobillo chino, romerillo
Rubiaceae	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	Hapa	Aretillo, carne de perro, cadillo, canilla de pollo, canutillo, chilillo, cacahuatillo, hierba de negro, tres hojas, trompetilla, cacahuapaxtle
	<i>Richardia scabra</i> L.	Risc	Cacahuatillo
Rubiaceae			
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth	Buco	Hierba apestosa
Selaginellaceae	<i>Selaginella apoda</i> (L.) C. Morren	Seap	Doradillo, helecho, liquen, pesmilla
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L.	Caan	Chiltepín
Solanaceae	<i>Physalis angulata</i> L.	Phan	Jaltomate, tomatillo
Solanaceae	<i>Solanum americanum</i> Mill.	Soam	Cenizo
Solanaceae	<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti	Soni	Hierba mora, tomatillo-mora
Solanaceae	<i>Solanum</i> sp.	Sosp	Ojo de totol
Solanaceae	<i>Solanum umbellatum</i> Mill.	Soum	Muela
Tectariaceae	<i>Tectaria heracleifolia</i> (Willd.) Underw.	Tehe	Helecho calihuale
Thelypteridaceae	<i>Macrothelypteris torresiana</i> (Gaudich.) Ching	Mato	Pesma
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i> L.	Cepe	Guarumbo
Urticaceae	<i>Pilea hyalina</i> Fenzl	Pihy	Hierbabuenilla, ortiga
Urticaceae	<i>Pilea pubescens</i> Liebm.	Pipu	Hierbabuenilla
Urticaceae	<i>Urtica chamaedryoides</i> Pursh	Urch	Chichicaxtle
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i> L.	Urdu	Chichicaxtle, hierba buenilla
Verbenaceae	<i>Aloysia triphylla</i> Royle	Altr	Hoja nervada
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Laca	Orozus
Verbenaceae	<i>Lantana hirta</i> Graham	Lahi	Orozus
Viburnaceae	<i>Sambucus canadensis</i> L.	Saca	Hierba de espanto, sauco
Viburnaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sani	Saucu
No determinada	No identificado 1	Noi1	Cordoncillo
No determinada	No identificado 2	Noi2	3 hojas
No determinada	No identificado 3	Noi3	Totolquelite
No determinada	No identificado 4	Noi4	Copalillo
No determinada	No identificado 5	Noi5	Cadillo
No determinada	No identificado 6	Noi6	S/N
No determinada	No identificado 7	Noi7	Tipo helecho
No determinada	No identificado 8	Noi8	S/N

La subzona centro (Coatepec y Huatusco) resultó tener la mayor riqueza en especies y familias con el 73 y 84.9 por ciento respectivamente del total (Figura 2). La subzona con el menor número de especies y familias encontradas fue la sur (Córdoba, Zongolica y Tezonapa). En el caso de especies y familias compartidas, el mayor número de coincidencias fue entre las subzonas norte y centro con 57 especies y 29 familias. Únicamente 33 especies y 22 familias tuvieron presencia en las todas las subzonas (Figura 2). La subzona centro presentó el mayor número de familias y especies exclusivas; la subzona norte y la sur el menor en especies y familias respectivamente.

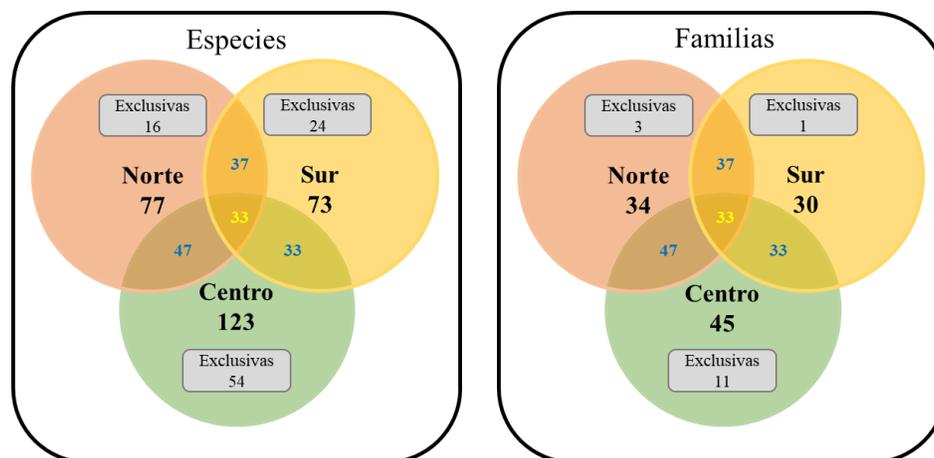


Figura 2. Diagramas de Venn mostrando la distribución de especies y familias entre subzonas de la ZCEV.
Figure 2. Venn diagrams showing the distribution of species and families among subzones of the ZCEV.

Tabla 2. Familias de arvenses no compartidas entre subzonas.
Table 2. Weed families not shared among subzones.

Subzona	Familias Exclusivas
Norte	Cannabaceae, Liliaceae, Primulaceae
Centro	Aizoaceae, Ameniaceae, Boraginaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Passifloraceae, Polygalaceae, Portulacaceae, Rosácea, Scrophulariaceae
Sur	Dennstaedtiaceae

Tabla 3. Especies no compartidas entre subzonas.
Table 3. Species not shared among subzones.

Subzona	Especies exclusivas
Norte	<i>Anagallis arvensis</i> , <i>Cnidocolus multilobus</i> , <i>Colchicum autumnale</i> , <i>Dichanthelium acuminatum</i> , <i>Dichanthelium laxiflorum</i> , <i>Heliocarpus americanus</i> , <i>Lactuca intybacea</i> , <i>Lobelia cardinalis</i> , <i>Mimosa pudica</i> , <i>Paspalum notatum</i> , <i>Salvia tiliifolia</i> , <i>Sambucus nigra</i> , <i>Solanum americanum</i> , <i>Stellaria cuspidata</i> , <i>Trema micrantha</i> .
Centro	<i>Ageratum corimbosum</i> , <i>Ageratum houstonianum</i> , <i>Aloysia tryphylla</i> , <i>Amaranthus spinosus</i> , <i>Anemia phyllitidis</i> , <i>Anthurium</i> sp., <i>Buddleja cordata</i> , <i>Cecropia peltata</i> , <i>Cenchrus equinatus</i> , <i>Commelina difusa</i> , <i>Desmodium adscendens</i> , <i>Digitaria insularis</i> , <i>Digitaria</i> sp., <i>Echinochloa colonum</i> , <i>Eclipta alba</i> , <i>Eclipta prostrata</i> , <i>Eleusine indica</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Eriobotrya japonica</i> , <i>Eryngium nasturtiifolium</i> , <i>Euphorbia hirta</i> , <i>Euphorbia</i> sp., <i>Heliotropium indicum</i> , <i>Ipomoea</i> sp., <i>Lantana camara</i> , <i>Lantana hirta</i> , <i>Lasiacis procerrima</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Lopezia racemosa</i> , <i>Melampodium microcephalum</i> , <i>Merremia quinquefolia</i> , <i>Miconia argentea</i> , <i>Mimosa pigra</i> , <i>Momordica charantia</i> , <i>Panicum mexicanum</i> , <i>Passiflora</i> sp., <i>Pilea pubescens</i> , <i>Piper amalago</i> , <i>Piper marginatum</i> , <i>Polygala paniculata</i> , <i>Porophyllum macrocephalum</i> , <i>Portulaca oleracea</i> , <i>Rottboellia cochinchinensis</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Sanicula liberta</i> , <i>Sicyos deppei</i> , <i>Solanum</i> sp., <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Tectaria heracleifolia</i> , <i>Triantema portulacastrum</i> , <i>Trichilia havanensis</i> , <i>Urtica chamaedryodes</i> , <i>Wissadula amplissima</i>
Sur	<i>Borreria alata</i> , <i>Caladium bicolor</i> , <i>Clerodendrum philliphinum</i> , <i>Cyathula achyranthoides</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Dennstaedtia distinta</i> , <i>Desmodium</i> sp., <i>Hybiscus</i> sp., <i>Hyptis mutabilis</i> , <i>Ipomoea batatas</i> , <i>Leonurus sibiricus</i> , <i>Macrothelypteris torresiana</i> , <i>Panicum maximum</i> , <i>Salvia hyptoides</i> , <i>Schistocarpa bicolor</i> , <i>Simsia amplexicaulis</i> , <i>Solanum umbellatum</i> , <i>Thunbergia alata</i>

Los valores del estimador Chao 1 calculados para el total de muestreos realizados en el área de estudio es de 219.52 (línea punteada en la Figura 3) existiendo una diferencia de 52 especies con respecto a las registradas en la ZCEV (línea sólida en la Figura 3), por lo que se esperaría la adición de nuevas especies al listado florístico.

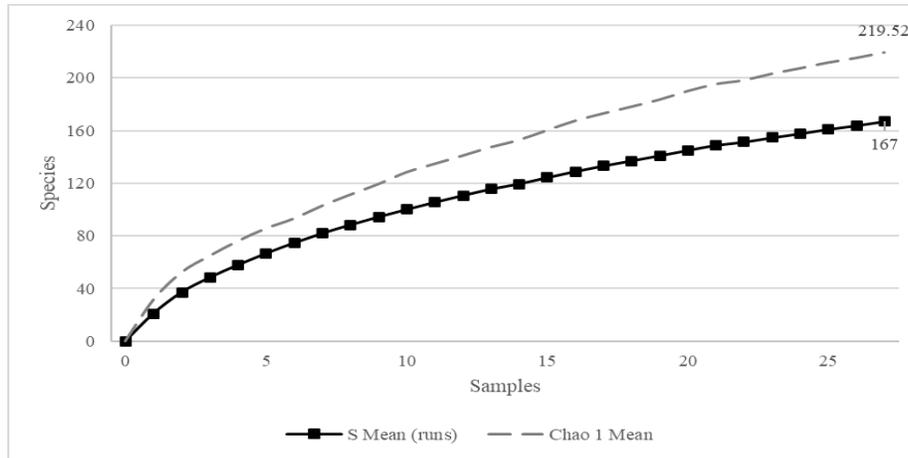


Figura 3. Curva de acumulación de especies para la ZCEV y cálculo de estimador Chao1 con un intervalo de confianza del 95%.

Figure 3. Species accumulation curve for the ZCEV and calculation of Chao1 estimator with a 95% confidence interval.

En cuanto a las familias con los valores más altos de IVI son: Commelinaceae seguida de Asteraceae, Acanthaceae y Poaceae, acumulando estas cuatro casi el 25% del total calculado (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las principales familias.

Table 4. Importance Value Index (IVI) of the main families.

Familia	Densidad		Cobertura		Frecuencia		IVI
	(Ind/m ²)	Relativa	(%/m ²)	Relativa	Absoluta	Relativa	
Comelinaceae	26.8	10.4	11.2	7.5	23	6.5	8.2
Asteraceae	15.6	6.1	6.7	4.5	26	7.4	6.0
Poaceae	14.7	5.7	6.2	4.2	25	7.1	5.7
Acanthaceae	15.4	6.0	11.8	7.9	5	1.4	5.1
Crassulaceae	18.0	7.0	5.5	3.7	8	2.3	4.3
Urticaceae	11.1	4.3	5.7	3.8	16	4.5	4.2
Malvaceae	6.5	2.5	6.3	4.2	20	5.7	4.1
Oxalidaceae	17.9	7.0	1.9	1.3	7	2.0	3.4
Basellaceae	3.0	1.2	11.0	7.4	3	0.9	3.1
Rubiaceae	4.2	1.6	3.5	2.4	19	5.4	3.1
Cyperaceae	7.0	2.7	2.6	1.8	17	4.8	3.1
Araceae	4.8	1.8	3.7	2.5	16	4.5	3.0
Apiaceae	6.9	2.7	4.0	2.7	12	3.4	2.9
Caryophyllaceae	10.4	4.1	3.9	2.6	6	1.7	2.8
Euphorbiaceae	2.9	1.1	2.3	1.5	18	5.1	2.6
36 Familias restantes	91.7	35.7	62.8	42.1	131	37.2	38.2
Total	256.9	100.0	149.0	100.0	352	100.0	100.0

En el mismo sentido, las especies mejor representadas de manera general en la ZCEV fueron: *Bidens pilosa*, *Commelina coelestis*, *Melampodium divaricatum*, *Pseudechinolaena polystachya*, *Commelina erecta*, *Paspalum langei*, *Digitaria ciliaris*, *Pilea hyalina*, *Richardia scabra* y *Bryophyllum pinnatum* (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las principales especies.
Table 5. Importance Value Index (IVI) of the main species.

Especie (nombre científico)	Densidad		Cobertura		Frecuencia		IVI
	(Ind/m ²)	Relativa	(%/m ²)	Relativa	Absoluta	Relativa	
<i>Bidens Pilosa</i>	861	16.8	237	9.3	20	3.5	9.9
<i>Commelina coelestis</i>	566	11.0	273	10.7	22	3.9	8.5
<i>Melampodium divaricatum</i>	500	9.7	263	10.3	22	3.9	8.0
<i>Pseudechinolaena polystachya</i>	295	5.7	155	6.1	12	2.1	4.6
<i>Commelina erecta</i>	278	5.4	69	2.7	6	1.1	3.1
<i>Paspalum langei</i>	118	2.3	84	3.3	14	2.5	2.7
<i>Digitaria ciliaris</i>	119	2.3	73	2.9	13	2.3	2.5
<i>Pilea hyaline</i>	95	1.9	72	2.8	12	2.1	2.3
<i>Richardia scabra</i>	65	1.3	69	2.7	12	2.1	2.0
<i>Bryophyllum pinnatum</i>	144	2.8	44	1.7	8	1.4	2.0
<i>Sida acuta</i>	68	1.3	54	2.1	14	2.5	2.0
<i>Spananthe paniculata</i>	68	1.3	42	1.6	10	1.8	1.6
<i>Setaria geniculata</i>	80	1.6	41	1.6	8	1.4	1.5
<i>Hypoestes phyllostachya</i>	75	1.5	58	2.3	4	0.7	1.5
<i>Kyllinga brevifolia</i>	101	2.0	23	0.9	6	1.1	1.3
152 especies restantes	1699	33.1	1002	39.2	381	67.6	46.6
Total	5132	100	2559	100	564	100	100

Dentro de las zonas de muestreo se encontraron similitudes en cuanto a las especies registradas, en algunos casos, compartiendo valores similares, tal es el caso de; *Bidens pilosa* (Asteraceae) que para las subzona centro y sur registra el primer lugar para el cálculo de IVI con 8.1 y 12.5%, respectivamente; *Commelina coelestis* (Commelinaceae) segundo lugar en la zona centro (7.3%) y norte (11.5%), tercera en la sur (7%); y *Melampodium divaricatum* (Asteraceae) quinto lugar en la subzona centro (3.7%), primera en la norte (11.9%) y segunda en la sur (9.4%). Dentro de cada subzona se sigue la misma tendencia que en la totalidad de la zona de estudio, en donde otras especies se agregan acaparando los primeros puestos sobresaliendo: *Sida acuta* (3.3%) y *Spananthe paniculata* (2.1%) en la subzona centro; *Setaria geniculata* (3%) en la norte; *Hypoestes phyllostachya* (3.1%) y *Urtica dioica* (2.5%) en la sur (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las principales especies por subzona.
Table 6. Importance Value Index (IVI) of the main species by subzone.

	Especie (nombre científico)	Densidad		Cobertura		Frecuencia		IVI
		(Ind/m ²)	Relativa	(%/m ²)	Relativa	Absoluta	Relativa	
Subzona centro	<i>Bidens pilosa</i>	111	8.0	134	13.0	9	3.4	8.1
	<i>Commelina coelestis</i>	122	8.8	101	9.8	9	3.4	7.3
	<i>Paspalum langei</i>	76	5.5	59	5.7	6	2.3	4.5
	<i>Digitaria ciliaris</i>	76	5.5	50	4.9	8	3.1	4.5
	<i>Melampodium divaricatum</i>	56	4.0	45	4.4	7	2.7	3.7

	<i>Pseudechinolaena polystachya</i>	67	4.8	43	4.2	4	1.5	3.5
	<i>Sida acuta</i>	47	3.4	37	3.6	8	3.1	3.3
	<i>Pilea hyalina</i>	34	2.4	36	3.5	5	1.9	2.6
	<i>Spananthe paniculata</i>	34	2.4	24	2.3	4	1.5	2.1
	Otras 114	770	55.3	499	48.5	202	77.1	60.3
Subzona norte	<i>Melampodium divaricatum</i>	234	16.4	126	14.9	8	4.4	11.9
	<i>Commelina coelestis</i>	229	16.0	120	14.2	8	4.4	11.5
	<i>Bidens pilosa</i>	92	6.4	63	7.4	7	3.9	5.9
	<i>Pseudechinolaena polystachya</i>	96	6.7	54	6.4	6	3.3	5.5
	<i>Richardia scabra</i>	43	3.0	55	6.5	4	2.2	3.9
	<i>Pilea hyalina</i>	48	3.4	28	3.3	6	3.3	3.3
	<i>Setaria geniculata</i>	51	3.6	26	3.1	4	2.2	3.0
	<i>Digitaria ciliaris</i>	43	3.0	23	2.7	5	2.8	2.8
	<i>Commelina erecta</i>	56	3.9	16	1.9	3	1.7	2.5
	Otras 68	537	37.6	335.5	39.6	129	71.7	49.6
Subzona sur	<i>Bidens pilosa</i>	658	28.5	40	5.9	4	3.3	12.5
	<i>Melampodium divaricatum</i>	210	9.1	92	13.5	7	5.7	9.4
	<i>Commelina coelestis</i>	215	9.3	52	7.6	5	4.1	7.0
	<i>Commelina erecta</i>	218	9.4	51	7.5	2	1.6	6.2
	<i>Pseudechinolaena polystachya</i>	132	5.7	58	8.5	2	1.6	5.3
	<i>Bryophyllum pinnatum</i>	128	5.5	36	5.3	3	2.5	4.4
	<i>Hypoestes phyllostachya</i>	45	1.9	33	4.8	3	2.5	3.1
	<i>Urtica dioica</i>	71	3.1	18	2.6	2	1.6	2.5
	No identificado 7	45	1.9	20	2.9	1	0.8	1.9
	Otras 64	588	25.5	281.5	41.3	93	76.2	47.7

Análisis de correlación canónica

Con base en las coordenadas obtenidas con el GPS de los sitios de muestreo, en la Tabla 7 se muestran datos de suelo obtenidos en mapotecas digitales (INEGI, 2013a) así también de precipitación y temperatura que se obtuvieron a través de promedios de los valores estimados del modelo “raster” de las variables antes mencionadas, interpolados con el método de “Thin plate smoothing spline” del software Anuspline (Hutchinson, 2004) a una resolución de píxel de 90 m. Los datos promediados de altitud provienen del modelo de elevación digital de INEGI de igual resolución (INEGI, 2013b).

Tabla 7. Ubicación geográfica y características edafoclimáticas de los sitios de muestreo.

Table 7. Geographical location and soil-climatic characteristics of the sampling sites.

Clave sitio	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Suelo dominante	Textura	Temperatura a media (°C)	Precipitación media (mm/año)
ATZ1	Atzalán	Napoala	19.898	-97.2266	750	Andosol	Media	20	2083
ATZ2	Atzalán	Pilares	19.9147	-97.2166	679	Andosol	Media	20	2099
ATZ3	Atzalán	Arroyo colorado	19.8922	-97.2347	889	Andosol	Media	19	2085
ATZ4	Altotonga	Temimilco	19.8133	-97.0971	944	Andosol	Media	19	1811
COA1	Teocelo	Llano grande	19.3718	-96.8741	839	Acrisol	Media	21	1577
COA2	Teocelo	Llano grande	19.3718	-96.8741	839	Acrisol	Media	21	1577
COA3	Teocelo	Monte blanco	19.3737	-96.929	985	Acrisol	Media	20	1812
COA4	Teocelo	Independencia	19.3886	-96.9415	1066	Acrisol	Media	20	1840

COA5	Teocelo	La virgen	19.3883	-96.9905	1227	Acrisol	Media	18	1985
COA6	Emiliano Zapata	Finca roma	19.4663	-96.8763	1070	Acrisol	Fina	20	1472
COA7	Jilotepec	Vista hermosa	19.618	-96.9247	1161	Andosol	Media	18	1592
COA8	Jilotepec	Vista hermosa	19.6313	-96.9266	1180	Litosol	Media	18	1613
COR1	Atoyac	Los nogales	18.9647	-96.8305	943	Litosol	Fina	20	1981
COR2	Atoyac	Manzanillo	18.9525	-96.8262	847	Litosol	Fina	21	1997
COR3	Fortin	Tlacotengo	18.9291	-96.9963	1088	Andosol	Media	19	2083
HUA1	Huatusco	Ixpila	19.1188	-96.9616	1154	Acrisol	Media	19	2015
HUA2	Tlacotepec	Tlacotepec	19.1983	-96.8275	850	Acrisol	Media	21	1566
HUA3	Huatusco	Capulapa	19.0977	-96.8872	960	Acrisol	Media	20	1864
MIS1	Tenochtitlan	Colorado	19.8355	-96.9272	970	Luvisol	Fina	19	1910
MIS2	Tenochtitlan	Colorado	19.8388	-96.9408	980	Luvisol	Fina	19	1917
MIS3	Misantla	Vicente Guerrero	19.8561	-96.9091	863	Luvisol	Fina	20	1934
MIS4	Juchique de Ferrer	Plan de las hayas	19.7688	-96.6605	797	Feozem	Fina	21	1402
MIS5	Juchique de Ferrer	Plan de las hayas	19.7513	-96.675	1102	Feozem	Fina	19	1403
TEZ1	Tezonapa	Villa nueva	18.6177	-96.8241	780	Litosol	Fina	21	2878
ZON1	Zongolica	Nepopualco	18.6866	-96.9913	1335	Acrisol	Media	18	2344
ZON2	Zongolica	Loma de dolores	18.6794	-96.9297	892	Acrisol	Media	20	2562
ZON3	Zongolica	Xochiatepec	18.6869	-96.923	822	Acrisol	Media	20	2566

Los resultados del análisis arrojaron que el primer eje explicaba el 43.22 por ciento de la varianza y el segundo 34.05%; lo cual sugiere que hay buena separación entre los sitios de muestreo y variables ambientales a lo largo de los ejes de variación.

La ordenación de los sitios de muestreo y especies, en grupos compactos de sitios que están relacionados con variables ambientales, por ejemplo, en el eje1 la precipitación es la que mayor influencia tiene, en tanto que para el eje 2 es la altitud, ya que como se observa, éstas presentan el menor ángulo respecto al eje. En el eje 1 los sitios más diferentes en cuanto a su composición florística y características ambientales son: ZO3 (extrema derecha) y CO2 (extrema izquierda); el primero con altas precipitaciones y suelos poco profundos, el segundo con características contrarias, sin embargo, los dos tienen una altitud similar. En el eje 2 los sitios más contrastantes son TE1 (superior) y CO7 (inferior), que difieren en altitud, precipitación y temperatura, sin embargo, su profundidad de suelo es muy similar (Figura 4).

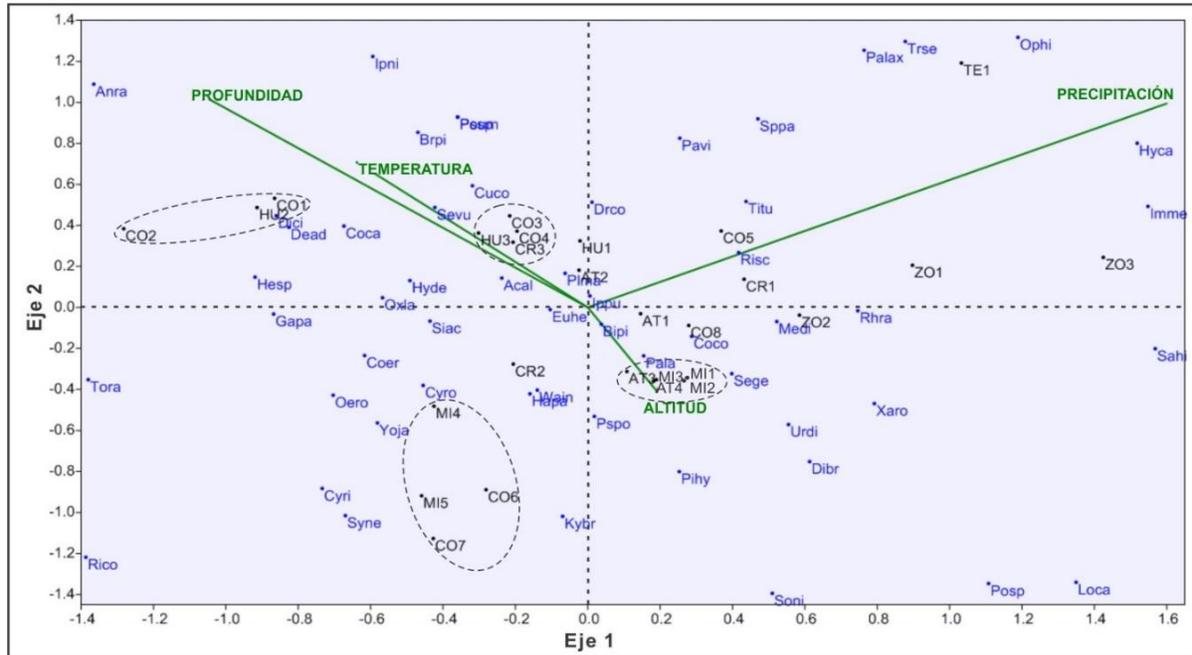


Figura 4. Análisis de la relación entre la presencia de arvenses y las condiciones de cada sitio de muestreo.
Figure 4. Analysis of the relationship between the presence of weeds and the conditions of each sampling site.

Se identificaron cuatro grupos bastante compactos; el primero constituido por sitios de la subzona norte (AT3, AT4, MI1, MI2 y MI3), el segundo en la subzona centro (CO3, CO4, CR3 y HU3), el tercero, aunque más disperso también pertenecen a la subzona centro (HU2, CO2 y CO1), un cuarto es una mezcla de la subzona norte y centro (CO6, CO7, MI4, MI5) y el resto de los sitios están dispersos ya que no presentan semejanza florística con algún otro. El primer grupo (AT3, AT4, MI1, MI2 y MI3) presenta una relación con las variables altitud y precipitación, lo que indica que la semejanza florística puede deberse a estos factores y que especies como *Paspalum langei* (Pala) y *Setaria geniculata* (Sege) siguen el mismo patrón de comportamiento; menor altitud y mayor precipitación, además se puede observar la existencia de una relación negativa con la profundidad del suelo en estos sitios. El segundo grupo (CO3, CO4, CR3 y HU3) presenta suelos profundos, pero precipitaciones menores, estos sitios se encuentran a mayor altitud que el primer grupo y las especies que caracterizan a este grupo son *Cuscuta corymbosa* (Cuco), *Senecio vulgaris* (Sevu) y *Bryophyllum pinnatum* (Brpi). El tercer grupo de (CO1, CO2 y HU2) es el grupo más alejado del centro respecto al eje 1, por lo tanto, presenta poca precipitación y suelos profundos, así como temperaturas mayores, la especie que más se asocia con este grupo es: *Digitaria ciliaris* (Dici), el cuarto grupo (CO6, CO7, MI4, MI5) es más heterogéneo que los demás, en cuanto a composición florística y factores ambientales, la característica ambiental más semejante entre sitios es la baja precipitación, seguido de la baja profundidad del suelo.

Algunas arvenses como *Cyperus rotundus* (Cyro), *Youngia japonica* (Yoja), *Oenothera rosea* (Oero), *Cyclanthera ribiflora* (Cyri) se encuentran relacionadas con precipitaciones bajas. Por el contrario, *Hyptis capitata* (Hyca), *Salvia hispanica* (Sahi), *Oplismenus hirtellus* (Ophi) son afines a sitios con precipitaciones altas como TE1, ZO3 y ZO1. Aquellas que mayor valor de importancia obtuvieron, aparecen al centro de los ejes como en el caso de *Bidens pilosa* (Bipi), *Commelina coelestis* (Coco), *Paspalum langei* (Pala), *Pseudechinolaena polystachya* (Pspo), *Sida acuta* (Siac) y *Richardia scabra* (Risc), ya que su frecuencia de aparición y distribución es a todo lo largo de la zona centro de estado.

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos sobre la composición florística de arvenses en los cafetales de la ZCEV discrepan con el número de especies identificadas en otros trabajos que analizan estas comunidades vegetales, Sanginés-García *et al.* (2014) registra 58 especies de arvenses en cafetales bajo un sistema silvopastoril con ovinos y señala que la familia Fabaceae es la mejor representada. De la misma forma, Córdoba-Varón y Patiño-Bocanegra (2017) enlista 56 especies en tres cafetales con diferentes tipos de manejo en el municipio del Líbano, Colombia. El menor número de especies de arvenses puede estar asociado al manejo intensivo que los cafeticultores realizan en sus unidades de producción (sistemas especializados o policultivos simples), con controles químicos y/o mecánicos de las arvenses; el presente estudio fue realizado en cafetales bajo sistemas de policultivo diverso principalmente, donde el control de las arvenses es la actividad más representativa respecto al costo anual de producción (López *et al.*, 2020), por lo que se realiza generalmente una o dos veces por año, conservándose en buena medida la diversidad de especies de arvenses, debido al bajo o nulo manejo. Para el caso de las familias siguen una tendencia similar en trabajos sobre diversidad de arvenses en cafetales, Torres *et al.* (2001) reconoce a las familias Asteraceae y Poaceae como elementos dominantes en el estrato herbáceo de fincas cafetaleras del municipio de Tlaltetela, Veracruz. En el mismo sentido, Castro-Cepero *et al.* (2019) refiere a las mismas familias como parte importante del sotobosque de cafetales en el Perú. Ambas se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial con aproximadamente 11,000 y 23,000 especies respectivamente (Brako y Zarucchi, 1993; Ulloa-Ulloa *et al.*, 2004; Simon, 2007; Rodríguez *et al.*, 2017). La Asteraceae es la familia botánica más extensa en México, con 417 géneros distribuidos en 3,113 especies. Su gran variabilidad fenotípica y genotípica le permite adecuarse a diversas condiciones ambientales, en su mayoría como arvenses (Villaseñor, 2018). Algo similar ocurre con la Poaceae, que para México registra 215 géneros distribuidos en 1,312 especies y que en algunos casos son clasificadas como “arvenses nocivas” tanto para especies cultivadas como nativas (Sánchez-Ken, 2018). La amplia distribución de ambas familias sumado a su gran capacidad de adaptación puede reconocerse en el análisis de ordenación de este estudio, especies como *Bidens pilosa* (Asteraceae) y *Paspalum langei* (Poaceae) parecen no seguir ningún patrón ambiental, registrando a su vez altos valores de IVI. Otras especies que siguen la misma tendencia son *Melampodium divaricatum* (Asteraceae), *Pseudechinolaena polystachya* (Poaceae) y *Commelina erecta* (Commelinaceae), esta última correspondiente a la familia con el valor de IVI más alto registrado. Generalmente las Commelinaceae son reconocidas como elementos comunes dentro de cafetales, en algunos casos son consideradas como coberturas valiosas y plantas trampa de ciertos microorganismos, sin embargo, cuando su población excede cierto límite puede propiciar la aparición de ciertos patógenos, principalmente hongos como la roya del café; y plagas de importancia económica como la broca del café y ácaros (Alvarado-Huaman *et al.*, 2019; Sosa *et al.*, 2020). Es importante señalar que así como en algunas circunstancias las arvenses tienen efectos negativos sobre el cafetal como: competencia por nutrientes, espacio y luz, hospederos de organismos perjudiciales, producción de sustancias alelopáticas y encarecer labores culturales dentro de la finca, una gran mayoría contribuyen a la estabilidad de los agroecosistemas y son apreciadas por considerarse plantas forrajeras, melíferas, útiles para la gastronomía, medicinales, hospederas de organismos benéficos, coberteras verdes, retenedoras de humedad y suelo y proveedoras de semillas para aves, lo que les otorga un gran valor ecológico, cultural y económico que los productores de café aprovechan a pequeña o mediana escala y en algunos casos llegan a comercializarlas dentro y fuera de su localidad lo que les genera ingresos extra finca que les ayuda a la sustento en el hogar (Martínez *et al.*, 2007; Sanginés-García *et al.*, 2014). *Biden pilosa* es una arvense con alta presencia y, persistencia en el cafetal además de ser buena fuente de alimento por sus características bromatológicas (López *et al.*, 2021), con más de 201 compuestos identificados en esta planta es capaz de tratar más de 40 trastornos de la salud, con potencial para el tratamiento tumores, inflamación/modulación inmune, diabetes, virus, microbios, protozoos, enfermedades gastrointestinales, hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Bartolome *et al.*, 2013). El cálculo del estimador Chao1 muestra que de aumentar el esfuerzo de muestreo es

posible seguir adicionando especies nuevas al listado florístico, sin embargo, para lograr un comportamiento asintótico es necesario considerar el número de especies exclusivas o raras en la muestra ya que podría afectar en el número total de especies estimadas. El cafetal por sí solo es un agroecosistema diverso, por lo que es posible que sean necesarias más unidades de muestreo para afinar el inventario florístico (Bandeira *et al.*, 2005; García *et al.*, 2015; López-Gómez y Williams-Linera, 2017).

Las especies con mayor IVI coinciden en las diferentes subzonas de la ZCEV, lo que podría indicar una fuerte persistencia en el cafetal por parte de estas especies y una gran adaptabilidad a las condiciones climáticas presentes en la región, sumado posiblemente a una alta capacidad de reproducción y producción de semillas, facilitando su dispersión (Salazar e Hincapié, 2005; López *et al.*, 2013). Aunque las arvenses son generalmente consideradas cosmopolitas algunas especies presentan un rango de distribución restringido para alguna subzona dentro del área de estudio. La orografía accidentada podría estar generando condiciones particulares que propician el desarrollo de estas especies exclusivas y al mismo tiempo limitar su distribución. Un ejemplo de lo anterior se ve reflejado en algunas de las especies únicas registradas para la subzona sur: *Borreria alata*, *Caladium bicolor*, *Dennstaedtia distenta*, *Hyptis mutabilis*, *Simsia amplexicaulis* que requieren precipitaciones abundantes con clima semicálido y vegetación propia de zonas templadas. Esta subzona también presenta una mayor heterogeneidad de valores en las variables edafoclimáticas registradas entre sus localidades, acumula anualmente la mayor precipitación de toda el área de estudio con 2878 mm (Villa Nueva: TE1) y cuentan con la mayor altitud registrada en todos los sitios de muestreo, estas condiciones podrían estar limitando el desplazamiento comunidades de arvenses a la subzona disminuyendo al mismo tiempo el número de total de especies exclusivas (Nepopualco: ZO1) (Santander *et al.*, 2003; Agudelo, 2008; Herzog *et al.*, 2010; Rzedowski *et al.*, 2011; Charrupi-Riascos, 2019). La subzona centro presentó el mayor número de familias exclusivas, es decir, aquellas que solo se registraron en esta zona. Asimismo, las técnicas utilizadas (CA y CCA) reafirman que existe una alta composición de arvenses en los cafetales de la ZCEV siguiendo un patrón de distribución influido principalmente por el gradiente altitudinal y precipitación, y en menor medida por las condiciones de sitio tales como la profundidad del suelo.

CONCLUSIONES

En la zona centro del estado de Veracruz existe una elevada riqueza de arvenses, siendo *Bidens pilosa*, *Commelina coelestis* y *Melampodium divaricatum*, las de mayor valor de importancia, al igual que las familias Commelinaceae, Asteraceae y Poaceae; en ambos casos acumulando alrededor de una cuarta parte del total, lo que representa una comunidad con baja dominancia de unas pocas especies o familias.

Se registró un elevado número de especies con escasa representatividad, así como especies exclusivas; siendo la subzona centro la que registró más (54 especies); lo que expone la necesidad de realizar más estudios de manera periódica, para identificar posibles cambios en la composición florística; tomando como premisa que estas especies son más sensibles a perturbaciones ambientales.

La distribución de arvenses está influenciada principalmente por el gradiente altitudinal y de precipitación; en menor medida por las condiciones de sitio, como la profundidad del suelo. Los resultados indican alta heterogeneidad en arvenses presentes en los cafetales debido a su capacidad de adaptación y dispersión.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el contrato de servicios celebrado entre Agrosefin S.A. de C.V. e INIFAP que hizo posible este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Agudelo, C. A. (2008). Amaranthaceae. Flora de Colombia. *Flora de Colombia*, 23. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad de Colombia Bogotá D.C. Colombia.
- Alemán, F. (2004). *Manejo de Arvenses en el Trópico* (2nd ed.). Universidad Nacional Agraria.
- Alvarado-Huaman, L., V. Castro-Cepero, J. L. Tejada-Soraluz, R. Borjas-Ventura y A. Julca-Otiniano (2019). Hongos y nematodos asociados a malezas presente en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la selva central del Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 37–45.
- Anzalone, A. y M. Casanova (2004). Flora arvense asociada al cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) en El Tocuyo, Venezuela. *Anales de Botánica Agrícola.*, 11, 47-59.
- Anzalone, A. y A. Silva (2010). Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. *Bioagro*, 22(2), 95–104.
- Bandeira, F. P., C. Martorell, J. A. Meave y J. Caballero (2005). The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14(5), 1225–1240. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-7843-2>
- Bartolome, A. P., I. M. Villaseñor y W.-C. Yang (2013). *Bidens pilosa* L. (Asteraceae): Botanical Properties, Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 1–51. <https://doi.org/10.1155/2013/340215>
- Brako, L. y J. L. Zarucchi (1993). *Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú*. Monogr. Sist. Bot. Missouri Botanical Garden.
- Caamal-Maldonado, J. A. y J. B. Castillo-Caamal (2011). Muestreo de arvenses. In Z. F. H. Bautista, P. J. L. Palacio, & G. H. Delfín (Eds.), *En Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (2nd ed., pp. 537-561.). UNAM.
- Castro-Cepero, V., L. Alvarado-Huaman, R. Borjas-Ventura, A. Julca-Otiniano y J. Tejada-Soraluz (2019). Comunidad de malezas asociadas al cultivo de “café” *Coffea arabica* (Rubiaceae) en la selva central del Perú. *Arnaldoa*, 26(3), 990-997.
- Chacón, J. C. y S. R. Gliessman (1982). Use of the “non-weed” concept in traditional tropical agroecosystems of south-eastern Mexico. *Agro-Ecosystems*, 8(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0304-3746\(82\)90010-5](https://doi.org/10.1016/0304-3746(82)90010-5)
- Charrupi-Riascos, N. (2019). *Biología reproductiva de Caladium macrotites y Xanthosoma mexicanum Araceae, dos especies simpátricas en un bosque de piedemonte de la Orinoquia colombiana*. Escuela de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad de La Salle. Bogotá D.C. Colombia.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User’s Guide and application published. *EstimateS & User Guide*.
- Córdoba-Varón, J. C. y A. M. P. Patiño-Bocanegra (2017). *Análisis del aporte de las arvenses a la dinámica nutricional del suelo en tres sistemas productivos de café en el municipio del Libano (Tolima)* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.
- Flores-Olvera, M. H. y R. Lindig-Cisneros. (2005). La lista de nombres vulgares y botánicos de árboles y arbustos propicios para repoblar los bosques de la República de Fernando Altamirano y José Ramírez a más de 110 años de su publicación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76, 11-36.
- García, M. L. E. (2008). *Arvenses de importancia en el manejo de cafetales bajo sistemas agrosilvopastoriles: resultados experimentales* (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- García, M. L. E., H. J. I. Valdez, C. M. Luna y R. López-Morgado (2015). Estructura y

- diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), 68–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2015.213457>
- Gliesman, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, Florida: Lewis/CRC Press.
- Herzog, S. K., P. M. Jørgensen, R. Martínez Güingla, C. Martius, E. P. Anderson, D. G. Hole, T. H. Larsen, J. A. Marengo, D. Ruiz-Carrascal y H. Tiessen (2010). *Efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: el estado del conocimiento científico. Resumen para tomadores de decisiones y responsables de la formulación de políticas públicas*. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI). São José dos Campos, Brasil.
- Hutchinson, M. F. (2004). *Anuspline Version (4.3)*. Centre for resource and environmental studies, the Australian National University. Canberra, Australia. Recuperado el 5 de mayo de 2022 de: <https://fennerschool.anu.edu.au/research/products/anusplin>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013a). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V Conjunto Nacional*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013b). *Continuo de Elevaciones Mexicano resolución 90 m*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mexico, D.F.
- Jones, A. D. (2017). Critical review of the emerging research evidence on agricultural biodiversity, diet diversity, and nutritional status in low- and middle-income countries. *Nutrition Reviews*, 75(10), 769–782. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux040>
- López-Gómez, A. M. y G. Williams-Linera. (2017). Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Botanical Sciences*, 78, 7-15 <https://doi.org/10.17129/botsci.1717>
- López, M. R., G. Díaz, P. y A. Zamarripa, C. (2013). *El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción* (INIFAP-SAGARPA (ed.); 1st ed.).
- López, M. R., G. Díaz, P. y A. Zamarripa, C. (2021). *El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción*. Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Medellín de Bravo, Veracruz, Mexico.
- López, M. R., R. A. Guajardo, P y L. E. García, M. (2020). Diagnóstico participativo de la cafecultura en la Zona Centro del Estado de Veracruz: sistematización estadística de variables. p.51-84. In: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (eds.). Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: Estudios regionales y de caso. Libro Técnico No. 39, INIFAP. Veracruz, México.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. (1989). Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing. *Journal of Applied Ecology*, 26(3), 1099-1100.
- Martínez, M. A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza y A. Cruz-Rivas. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 15-40. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.457>
- Mateos-Maces, L., J. L. Chávez-Servia, A. M. Vera-Guzmán, E. N. Aquino-Bolaños, J. E. Alba-Jiménez y B. B. Villagómez-González. (2020). Edible leafy plants from Mexico as sources of antioxidant compounds, and their nutritional, nutraceutical and antimicrobial potential: A review. *Antioxidants*, 9(6), 541. <https://doi.org/10.3390/antiox9060541>
- McCune, B., y J. B. Grace. (2002). Analysis of ecological communities. *MjM Software Design*, 304.
- Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: El País.
- Pareja, M. R. (1986). Biología y ecología de malezas como base para el desarrollo de programas de manejo integrado de malezas (MIM). *Manejo integrado de plagas y agroecología*, 1, 5–10.
- PAST. (2007). *Palaeontological Statistics* (1.62).
- Pennington, T. D. y A. H. Gentry. (1994). A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with Supplementary

Recibido:
20/junio/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Notes on Herbaceous Taxa. *Kew Bulletin*, 49(2), 369-370. <https://doi.org/10.2307/4110275>
- Rivera, P. J. H. y A. A. Gómez. (1992). El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión. *Avances Técnicos Cenicafe*, 177, 1-8.
- Rodríguez-Rodríguez, E. F., E. Alvítez-Izquierdo, L. Pollack-Velásquez y N. Melgarejo-Salas. (2017). Catálogo de gimnospermas y angiospermas (monocotiledóneas) de la región La Libertad, Perú. *Sagasteguiana*, 3, 1-54.
- Rzedowski, J., Calderon de Rzedowski, G. C., & Carrillo-Reyes, P. (2011). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. *Trabajo*.
- Salazar-Gutiérrez, L. F. (2020). Reconozca las arvenses nobles en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 517, 1-12. <https://doi.org/10.38141/10779/0517>
- Salazar, L. F. y E. Hincapié. (2005). Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. *Avances Técnicos Cenifacé*, 333, 1-8.
- Salazar, L. F. y E. Hincapié. (2007). Las arvenses y su manejo en los cafetales. En P. J. Arcila, F. Farfán, A.M. Moreno, L. F. Salazar y E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de Producción de Café en Colombia* (pp. 102-130). Medellín de Bravo, Veracruz, México: Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Salazar, L. F. y E. Hincapié. (2009). Interferencia de arvenses en diferentes etapas del cultivo de café en la zona cafetalera central. *Revista Cenicafe*, 60, 126-134.
- Sánchez-Ken, J. G. (2018). Riqueza de especies, clasificación y listado de las gramíneas (Poaceae) de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, 1-73. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1379>
- Sánchez-Ken, J. G., P. G. A. Zita y C. M. Mendoza (2012). *Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México* (Primera). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria, SENASICA, Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza, ASOMECEMA, A.C. México, D.F., México. 436 pp.
- Sanginés-García, L., P. Dávila-Solarte, L. Solano y R. F. Pérez-Gil. (2014). Arvenses de cafetal: identificación, evaluación química y comportamiento etológico de ovinos en pastoreo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1, 249- 260.
- Santander, Á. P., P. M. Casasola, J. L. P. Prieto, J. L. Portillo y D. G. Kientz. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas*, 52, 31-52.
- Schmid, R., & Anderson, W. R. (1989). Flora Novo - Galiciana: a descriptive account of the vascular plants of western Mexico, by W. R. Anderson. *Taxon*, 38(4), 611-611. <https://doi.org/10.2307/1222638>
- Simon, B. K. (2007). GrassWorld - Interactive key and information system of world grasses. *Kew Bulletin*, 62, 475-484.
- Soreng, R. J., P. M. Peterson, K. Romaschenko, G. Davidse, F. O. Zuloaga, E. J. Judziewicz, T. S. Filgueiras, J. I. Davis y O. Morrone. (2015). A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). *Journal of Systematics and Evolution*, 53(2), 117-137. <https://doi.org/10.1111/jse.12150>
- Sosa, V., F. López-Barrera, R. Manson y L. Jimenez. (2020). Biodiversidad en cafetales. En R. López-Morgado y G. Díaz-Padilla (Eds.), *Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: estudios regionales y de caso* (pp. 361-399). Medellín de Bravo, Veracruz, México: Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Taylor, R.A.J., P.G.N. Digby y Kempton, R.A. (1987). Multivariate Analysis of Ecological Communities. *The Journal of Animal Ecology*, 56(3), 1083. <https://doi.org/10.2307/4968>
- Torres, A., A. Miron, C. Marcof y J. Zaragoza. (2001). Efecto del pastoreo de ovinos en la compactación del suelo en una finca cafetalera de Veracruz. *Café Cacao Cuba*, 3(2), 25-27.
- Ulloa Ulloa, C., J. L. Y. Zarucchi y B. León. (2004). Diez años de adiciones a la flora del Perú: 1993-2003. *Arnaldoa*, Edición Especial, 7-242.
- Villaseñor, J. L. (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences*, 96, 332-358. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1872>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DEL NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND DIVERSITY IN THREE FOREST ECOSYSTEMS OF NORTHEASTERN MEXICO

Ramos-Hernández, C.G.; J.M. López-Hernández; I. Cantú-Silva, M.V. Gómez-Meza y H. González-Rodríguez

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DEL NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND DIVERSITY IN THREE FOREST ECOSYSTEMS OF NORTHEASTERN MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 45-61 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.3



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/)).

Estructura y diversidad en tres ecosistemas forestales del Noreste de México**Structure and diversity in three forest ecosystems of Northeastern Mexico**

Ramos-Hernández, C.G.;
J.M. López-Hernández;
I. Cantú-Silva,
M.V. Gómez-Meza
y H. González-Rodríguez

ESTRUCTURA Y
DIVERSIDAD EN TRES
ECOSISTEMAS
FORESTALES DEL
NORESTE DE MÉXICO

STRUCTURE AND
DIVERSITY IN THREE
FOREST ECOSYSTEMS OF
NORTHEASTERN MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 45-61. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.3

César Gerardo Ramos-Hernández

<https://orcid.org/0009-0008-4475-5567>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

Juan Manuel López-Hernández

<https://orcid.org/0000-0001-5797-1658>

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria

Israel Cantú-Silva

<https://orcid.org/0000-0001-8996-0881>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

Marco Vinicio Gómez-Meza

<https://orcid.org/0000-0002-3047-7278>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Economía

Humberto González-Rodríguez / humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0798-0825>

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales

RESUMEN: Los ecosistemas forestales de la Sierra Madre Oriental (SMO) juegan un papel muy importante al proveer a la región y comunidades de madera y como importantes proveedores de servicios ambientales. Con el objetivo de conocer la estructura y diversidad de ecosistemas forestales del noreste de México, se ubicaron 30 parcelas, cada una de 250 m², en tres comunidades vegetales (10 por comunidad), en donde las variables registradas fueron diámetro normal (Dn; cm), altura (H; m) y área de copa (m²) para todos los individuos con Dn > 5 cm. Se estimó el Índice de Valor de Importancia (IVI), diversidad y riqueza de especies mediante los índices de Shannon-Weiner (H') y Margalef (DM_g) y la similitud entre ecosistemas con el índice de Bray-Curtis. El mayor IVI para el ecosistema de Pino fue para el *Pinus pseudostrubus* (25.59%) y *P. arizonica* (25.43%), en el ecosistema de Encino-Pino para *Quercus laceyi* (37.47%) y *Pinus pseudostrubus* (19.14%) y en el Bosque alterado fue para las especies de *Ceanothus fendleri* (24.08%) y *Juniperus pinchotii* (16.84%). En general, para los tres ecosistemas estudiados, los índices de Margalef (DM_g) y Shannon-Weiner (H') consideraron la diversidad como baja (1.13 y 1.14, respectivamente), mientras que los resultados de similitud mostraron que el ecosistema de Pino y el Bosque alterado tienen 51% en común. Los ecosistemas de Pino con Encino-Pino y Encino-Pino con el Bosque alterado mostraron una similitud inferior (20% y 21%, respectivamente). Las comunidades vegetales estudiadas contribuyen al conocimiento acerca del estado actual de los ecosistemas forestales de la SMO.

Palabras clave: Bosque Pino y Encino, Ecosistemas forestales, Estructura, Índices de diversidad, Similitud.

ABSTRACT: The forest ecosystems of the Sierra Madre Oriental (SMO) play a very important role in providing wood to the region and its communities, as well as serving as significant providers of environmental services. With the goal of

understanding the structure and diversity of forest ecosystems in northeastern Mexico, 30 plots, each of 250 m², were established in three vegetation communities (10 per community), where recorded variables included normal diameter (Dn; cm), height (H; m), and crown area (m²) for all individuals with Dn > 5 cm. The Importance Value Index (IVI), diversity, and species richness were estimated using the Shannon-Weiner (H') and Margalef (DM_g) indices, and the similarity between ecosystems was assessed with the Bray-Curtis index. The highest IVI for the Pine ecosystem was found in *Pinus pseudostrabus* (25.59%) and *P. arizonica* (25.43%), in the Oak-Pine ecosystem for *Quercus laceyi* (37.47%) and *Pinus pseudostrabus* (19.14%), and in the altered Forest for the species *Ceanothus fendleri* (24.08%) and *Juniperus pinchotii* (16.84%). In general, for the three studied ecosystems, the Margalef (DM_g) and Shannon-Weiner (H') indices indicated low diversity (1.13 and 1.14, respectively), while the similarity results showed that the Pine ecosystem and the altered Forest shared 51%. The Pine ecosystems along with Oak-Pine and Oak-Pine with the altered Forest exhibited lower similarities (20% and 21%, respectively). The studied vegetation communities provide insights into the current state of the forest ecosystems in the SMO.

Key words: Pine and Oak Forest, Forest ecosystems, Structure, Diversity indices, Evenness.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas junto con las selvas son unos de los ecosistemas con mayor presencia en el mundo (Mora-Donjuán & Alanís-Rodríguez, 2016). En México, los ecosistemas templados representados en su mayoría por bosques de coníferas integran el 24% de los ecosistemas naturales, mientras que las selvas el 23% (Quijada *et al.*, 2020), los cuales se distribuyen en la Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, destacándose las especies del género *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus* (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011). No obstante, los ecosistemas forestales se encuentran altamente amenazados por actividades antropogénicas, lo que ha provocado cambios en sus estructuras (Silva-González *et al.*, 2021), resultando en la disminución de superficie arbolada en México, lo que conlleva a problemas ecológicos, económicos y sociales, causados principalmente por malas prácticas de aprovechamiento forestal, sobrepastoreo, incendios, plagas y enfermedades forestales (Hernández-Salas *et al.*, 2018; SEMARNAT-CONANP, 2013).

Generar conocimiento acerca de la composición florística, estructura y distribución de especies presentes en los ecosistemas forestales mediante índices de diversidad como herramientas que ayudan a conocer la distribución y composición de los ecosistemas, fortalece la toma de decisión acerca del manejo de los bosques (Corral-Rivas *et al.*, 2005; Gadow *et al.*, 2012). El uso de estos índices como indicadores ambientales de la salud de los ecosistemas proporcionan una validez científica para instituir estrategias de conservación (Hernández-Salas *et al.*, 2013; Magurran, 2021).

De manera general, existen factores bióticos y abióticos que alteran la riqueza de las especies vegetales. Así, en regiones más favorables se espera que el establecimiento de la diversidad sea mayor (McCarthy *et al.*, 2001). El establecimiento de las especies en los ecosistemas forestales que se sitúan en las cadenas montañosas obedece directamente a los factores relacionados con la elevación (clima, temperatura, pendiente, exposición, etc.), que conllevan a su vez, en cambios en la biodiversidad de estos ecosistemas (Bhat *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha documentado que el principal factor que altera la composición y riqueza de especies es el manejo forestal al que se someten las masas forestales con el fin de establecer y/o aprovechar especies de interés económico (García-García *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2019). El conocimiento de la diversidad y estructura de las especies arbóreas y arbustivas que se desarrollan en los bosques de clima templado son importantes para la gestión y conservación de

la biodiversidad, por lo que es importante generar estudios específicos sobre estos ecosistemas (Graciano-Ávila *et al.*, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la estructura horizontal mediante la abundancia, frecuencia, dominancia y la diversidad aplicando los índices de Shannon y Margalef que estiman la diversidad alfa y riqueza de especies, respectivamente, dentro de tres comunidades forestales, con el fin de contribuir al conocimiento biológico acerca del estado actual de los ecosistemas forestales en el Noreste de México y contar con indicadores para el adecuado manejo de las masas forestales de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en tres comunidades forestales, en una zona ubicada en el “Ejido Pablillo”, municipio de Galeana, Nuevo León (noreste de México) (Figura 1) enmarcado entre las coordenadas: 24° 39' LN y entre los 99° 54' y 100° 05' de LO, situado en el macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental. Esta zona presenta precipitaciones que varían de 110 mm a 120 mm en el mes más lluvioso (septiembre), con clima de tipo templado (García, 2004). Los rangos elevacionales en los que se desarrollan estos ecosistemas fluctúan de 2,160 m (Bosque alterado) hasta 2,313 m (ecosistema de Encino-Pino). El tipo de suelo dominante en las tres comunidades vegetales corresponde al tipo Leptosol (INEGI, 2007).

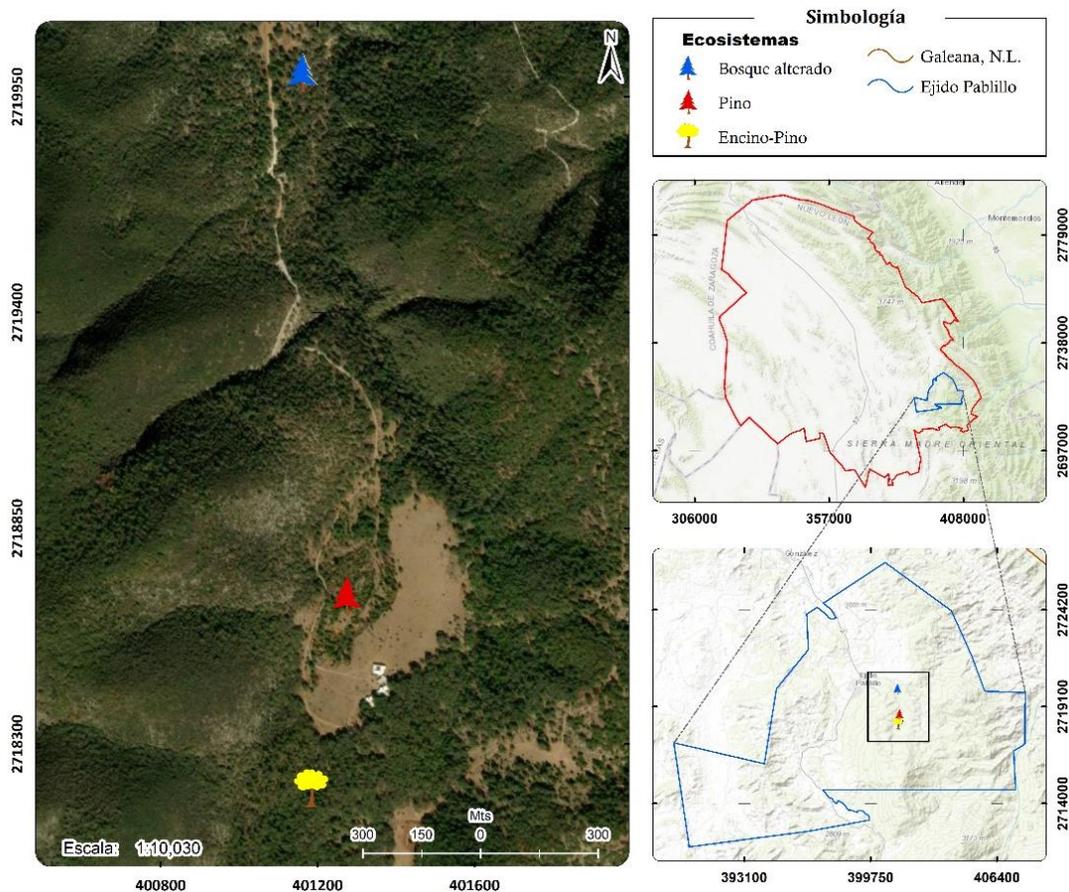


Figura 1. Localización de los ecosistemas en el “Ejido Pablillo”, municipio de Galeana, Nuevo León, México.

Figure 1. Location of ecosystems in "Ejido Pablillo," municipality of Galeana, Nuevo León, Mexico.

La importancia de la distribución de estos ecosistemas en la región radica en el suministrar de madera, como una fuente importante de materia prima para la industria (Tapia & Nívar, 2011), brindan una serie de servicios ambientales (conservación de la biodiversidad, regulación del clima, protección de cuencas hidrográficas, etc.), sociales (educación ambiental, medicina tradicional y conservación de patrimonio) y económicos (productos maderables y no maderables) (Manrique, 2022). En la Figura 2, se presentan imágenes panorámicas de los tres ecosistemas estudiados.



Figura 2. Estado actual de los ecosistemas forestales estudiados: a) Pino; b) Encino-Pino y c) Bosque alterado.

Figure 2. Current state of the studied forest ecosystems: a) Pine; b) Oak-Pine; and c) Altered Forest.

Muestreo

El estudio se realizó en tres tipos de ecosistemas forestales (Pino, Encino-Pino y Bosque alterado) situados sobre suelo dominante del tipo Leptosol. Los datos dasométricos fueron tomados en sitios de 250 m² (10 m x 25 m). En cada ecosistema, se situaron 10 parcelas dentro del rango elevacional correspondiente a cada ecosistema. El tamaño de muestra (n_i) considerado en cada uno de los tres ecosistemas forestales fue de 10, ya que el análisis de la varianza para el modelo con un criterio de clasificación tendrá una potencia de .80 para detectar un tamaño de efecto de 0.40 (grande de acuerdo con Cohen), cuando se trabaja con un nivel de significancia de $\alpha=.05$ (Cohen, 1988). En total se levantaron 30 parcelas de muestreo en los tres ecosistemas; los sitios fueron adyacentes entre sí dentro de una parcela de 2500 m² por cada ecosistema. Se censaron todos los individuos que presentaron Diámetro normal (Dn; cm) igual o mayor a 5 cm, midiendo el diámetro (m) de copa con orientación norte-sur y este-oeste y altura total (H; m) (Canizales-Velázquez *et al.*, 2021).

Caracterización estructural

Con la información de campo se estimaron los parámetros estructurales (abundancia, frecuencia y dominancia relativas) y el índice de valor de importancia mediante las ecuaciones siguientes (Magurran, 2005):

Abundancia:

$$A_i = N_i / E$$

$$AR_i = \left[A_i / \sum_{i=1..n} A_i \right] \times 100$$

Donde: A_i representa la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i en relación con la abundancia total, N_i es el número total de individuos de la especie, con $i = 1, 2, \dots, n$. E representa la superficie (ha).

Cobertura:

$$D_i = Ab_i / E$$

$$DR_i = \left[D_i / \sum_{i=1 \dots n} D_i \right] \times 100$$

Dónde: D_i es la cobertura absoluta, DR_i es cobertura relativa de la especie i respecto a la cobertura total. Ab_i y E representa el área de copa de la especie i y la superficie (ha), respectivamente.

Frecuencia:

$$F_i = P_i / NS$$

$$FR_i = \left[F_i / \sum_{i=1}^n F_i \right] \times 100$$

Dónde: F_i es la frecuencia absoluta, FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la suma de las frecuencias, P_i denota el número de sitios en el que está presente la especie i y NS representa el número total de sitios de muestreo.

El cálculo del índice de valor de importancia para cada especie (IVI_i) se realizó de acuerdo a Moreno (2001), mediante la suma de los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia:

$$IVI_i = AR_i + DR_i + FR_i$$

Para estimar la diversidad en los ecosistemas forestales, se aplicaron los índices de Shannon [H'] y Margalef [DM_g] (Moreno, 2001), los cuales estiman la diversidad alfa y riqueza de especies, respectivamente. Estos índices son indicadores que reflejan la diversidad de especies dentro de un ecosistema (Serrano *et al.*, 2022). Se determinan a partir de las ecuaciones siguientes:

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

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

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde: S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y n_i es el número de individuos de la especie i y p_i representa el número de sitios en el que se encuentra la especie i .

La diversidad beta se obtuvo mediante el índice de Bray-Curtis, el cual representa de manera gráfica la variación de la composición vegetal. El análisis se fundamenta en un algoritmo el cual considera la similitud al analizar las muestras mediante el cálculo en el porcentaje de similitud. Este índice se estima entre 0 y 100, donde el 100 significa que los sitios tienen la misma composición y 0 significa que no comparten especies entre ecosistemas (Bray & Curtis, 1957).

Análisis estadístico

Los valores para los índices de Shannon y Margalef fueron sometidos a un análisis estadístico para contrastar la hipótesis de normalidad de las variables y en función del resultado efectuar el análisis de varianza para el modelo con un criterio de clasificación, paramétrico o bien no paramétrico (Steel & Torrie, 1980). De acuerdo con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, con la corrección de Lilliefors, y Levene (Brown & Forsythe, 1974), las variables mostraron distribución normal y homogeneidad de varianzas, por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza paramétrico. Se usó .05 como nivel de significancia.

RESULTADOS

Composición florística

En total se encontraron 639 individuos, identificándose 12 géneros, pertenecientes a 12 familias. Respecto a los géneros, sobresalen *Pinus* (4), *Quercus* (3), *Eysenhardtia* (2); mientras que los géneros *Agave*, *Arbutus*, *Crataegus*, *Juniperus*, *Mimosa*, *Berberis*, *Opuntia* y *Pistacia* solo presentaron una especie.

En relación con el número de individuos por familia para los tres ecosistemas forestales bajo estudio sobresalieron: Rhamnaceae (177), Cupressaceae (162) y Pinaceae (149), seguidas de las familias Fagaceae (42), Rosaceae (38), Fabaceae (34), Asparagaceae (19) y Ericaceae (15); mientras que las familias con menos presencia fueron Berberidaceae (1), Cactaceae (1) y Anacardiaceae (1). La relación de familias, géneros y especies por ecosistema, se presentan en la Figura 3, destacando que el ecosistema de Pino presentó una mayor representación con respecto al ecosistema de Encino-Pino y al Bosque alterado.

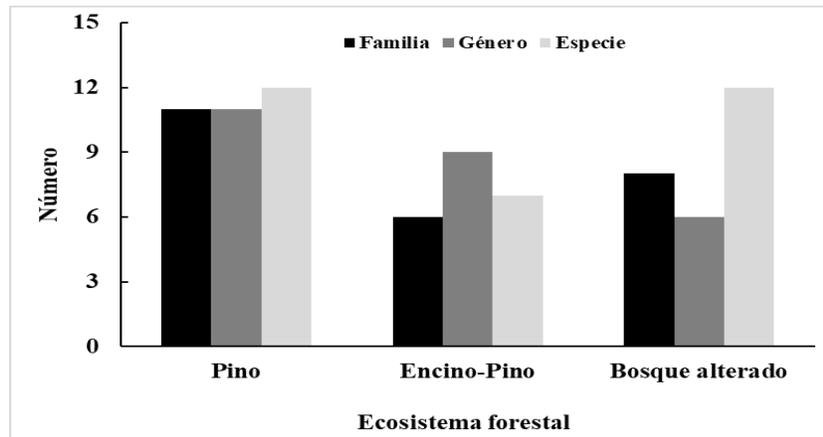


Figura 3. Representación de la cantidad de familias, géneros y especies por ecosistema forestal.
Figure 3. Representation of the quantity of families, genera, and species per forest ecosystem.

De manera general, en el Cuadro 1 se presenta el listado de especies con su respectiva familia documentadas en los tres ecosistemas estudiados.

Cuadro 1. Nombre científico, nombre común y familia de las especies registradas en los tres ecosistemas forestales en el "Ejido Pablillo", Galeana, Nuevo León.

Table 1. Scientific name, common name, and family of the species recorded in the three forest ecosystems in "Ejido Pablillo," Galeana, Nuevo León.

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Agave macroculmis</i>	Magüey chino	Agavaceae
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Ericaceae
<i>Berberis trifoliata</i>	Chichilcuáhuít	Berberidaceae
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendleri</i>	Gavia	Rhamnaceae
<i>Crataegus</i> sp.	Espino	Rosaceae
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	Palo azul	Fabaceae
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	Táscate	Cupressaceae
<i>Mimosa</i> sp.	Garabatillo	Fabaceae
<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	Nopal camueso	Cactaceae
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Pino de Arizona	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	Pino lacio	Pinaceae
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl	Pino azteca	Pinaceae
<i>Pistacia mexicana</i> Kunth.	Lantrisco	Anacardiaceae
<i>Quercus polymorpha</i> Née	Encino roble	Fagaceae
<i>Quercus laceyi</i> Small	Encino azul	Fagaceae
<i>Quercus microphylla</i> Née	Encino enano	Fagaceae

Diversidad de especies

El análisis de la varianza no detectó diferencias significativas entre la diversidad de especies entre los ecosistemas estudiados (Cuadro 2), lo que sugiere que en los tres ecosistemas se presenta una riqueza específica y número de especies semejantes.

Cuadro 2. Resumen del análisis de la varianza para los índices de diversidad de Margalef y Shannon-Wiener (n = 10).

Table 2. Summary of the analysis of variance for the Margalef and Shannon-Wiener diversity indices (n = 10).

Índice	Estadístico				
	CME	Valor F	Valor P	CV (%)	R ² ajustado
Margalef	0.185	0.188	0.830	32.8	0.059
Shannon-Wiener	0.081	1.613	0.218	25.0	0.041

CME, Cuadrado Medio del Error; CV, Coeficiente de Variación (%); R², Coeficiente de Determinación.

Respecto al índice de Shannon-Wiener, mostró valores promedio de 1.02 ± 0.06 , 1.24 ± 0.11 y 1.15 ± 0.10 para el Bosque alterado y los ecosistemas de Pino y Encino-Pino, respectivamente. Los valores para el índice de Margalef fueron de 1.34 ± 0.12 (Encino-Pino), 1.34 ± 0.17 (Pino) y 1.44 ± 0.10 (Bosque alterado). Ambos índices presentaron un comportamiento similar en los tres ecosistemas y por tanto, significa que existe una diversidad baja. En la Figura 4 se ilustran los índices de Shannon-Wiener y Margalef por ecosistema forestal.

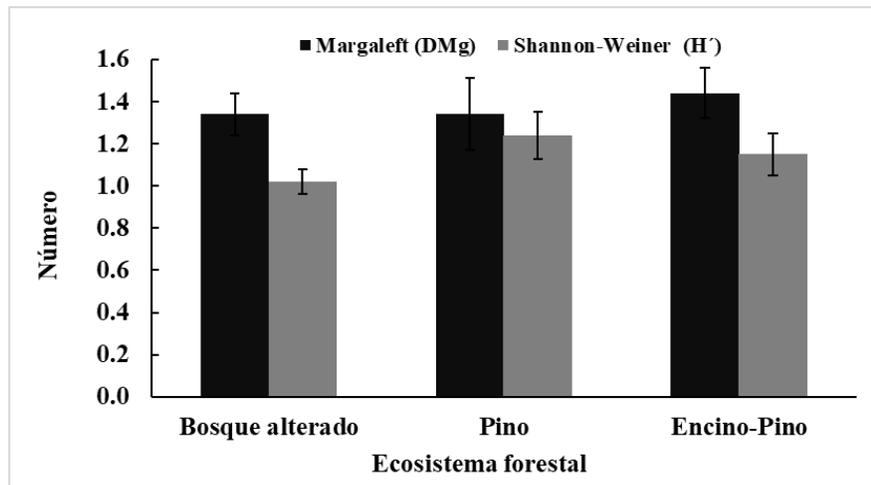


Figura 4. Índices de diversidad de Margalef y Shannon-Weiner por ecosistema forestal bajo estudio. Los valores graficados representan la media \pm error estándar, n=10.

Figure 4. Margalef and Shannon-Wiener diversity indices for the studied forest ecosystems. The plotted values represent the mean \pm standard error, n=10.

Similitud florística

Los resultados obtenidos del análisis de similitud mediante la técnica de Bray-Curtis, muestra un subconjunto entre los ecosistemas de Pino y el Bosque alterado con un valor de similitud de 0.51 en común. Por otra parte, el ecosistema de Encino-Pino mostró un valor relativamente bajo (0.20) (Figura 5).

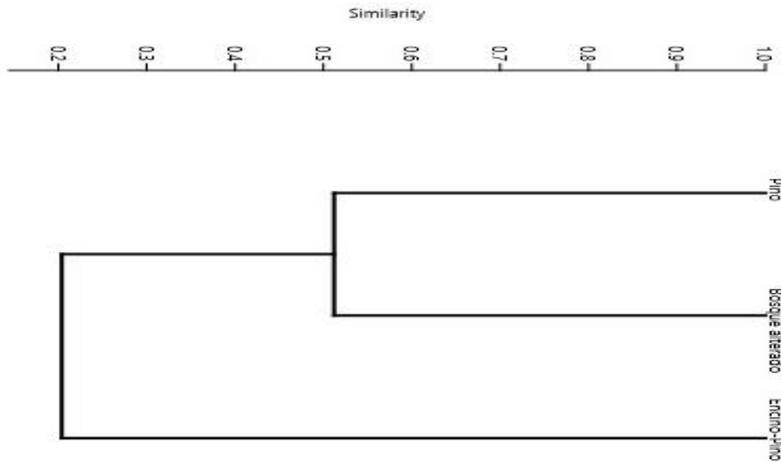


Figura 5. Dendrograma de ordenación Bray-Curtis de los ecosistemas de estudio.
Figure 5. Bray-Curtis ordination dendrogram of the studied ecosystems.

Variables estructurales

En el Cuadro 3, se presentan las características dasométricas para todos los individuos presentes por ecosistema. Los resultados indican que el Bosque alterado presenta la menor cantidad de individuos, pero el mayor diámetro normal medio. En cambio, el ecosistema de Pino, que mantiene las condiciones naturales menos alteradas según el IVI (Cuadro 4), conserva el mayor número de individuos.

Cuadro 3. Valores promedio (± error estándar, n = 10) de las variables dasométricas de las especies leñosas (pino y encino) observadas en las parcelas de los diferentes ecosistemas.

Table 3. Average values (± standard error, n = 10) of the dendrometric variables of woody species (pine and oak) observed in the plots of the different ecosystems.

Ecosistema	Característica				
	No. de individuos	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m ²)	Cobertura (m ²)
Encino-Pino	50 ± 2.00	32.2 ± 3.19	7.1 ± 0.95	3.5 ± 0.60	64.8 ± 2.37
Pino	125 ± 5.60	23.7 ± 1.69	5.2 ± 0.52	2.2 ± 0.27	54.3 ± 9.40
Bosque alterado	16 ± 0.32	35.2 ± 6.60	4.4 ± 1.83	5.5 ± 1.50	30.4 ± 12.41

Los datos son con referencias a parcelas de 2,500 m² en cada ecosistema

La especie *Pinus pseudostrabus* fue la que presentó mayor número de individuos (114) en el ecosistema de Pino (Cuadro 4), en el ecosistema de Bosque alterado (Cuadro 5) *Ceneathus fendleri* (132) y 28 individuos de *Crataegus* sp. en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6). *Juniperus pinchotii* presentó 81 individuos en el Bosque alterado (Cuadro 5), 72 en el ecosistema de Pino (Cuadro 4) y solo 9 en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6), siendo esta especie la más representativa, en general, en los tres ecosistemas, además de presentar altos valores del IVI en los ecosistemas de Pino y en el Bosque alterado. Del total de los 639 individuos registrados en los tres ecosistemas estudiados, el ecosistema de Pino representó el 44.8%, el Bosque alterado el 40.2% y el 15.0% en el ecosistema de Encino-Pino.

De acuerdo a los resultados del IVI, las especies con mayor valor por ecosistema fueron: *Pinus pseudostrabus* (25.59%) y *Pinus arizonica* (25.43%) en el ecosistema de Pino (Cuadro 4);

Ceanothus fendleri (24.08%) y *Juniperus pinchotii* (16.84%) en el Bosque alterado (Cuadro 5); *Quercus laceyi* (37.47%) y *Pinus pseudostrabus* (19.14%) en el ecosistema de Encino-Pino (Cuadro 6).

Cuadro 4. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el ecosistema de Pino ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 4. Structural parameters for the species identified in the Pine ecosystem, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Especie vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl	114	39.86	10	19.23	9.62	17.69	25.59
<i>Pinus arizonica</i> Engelm	7	2.45	3	5.77	36.99	68.07	25.43
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	72	25.17	10	19.23	2.82	5.2	16.53
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	43	15.03	8	15.38	0.12	0.22	10.21
<i>Mimosa</i> sp.	25	8.74	4	7.69	1.51	2.77	6.40
<i>Agave macroculmis</i>	13	4.55	6	11.54	0.72	1.32	5.80
<i>Quercus microphylla</i> Née	4	1.4	3	5.77	0.14	0.25	2.47
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	3	1.05	3	5.77	0.09	0.17	2.33
<i>Crataegus</i> sp.	2	0.7	2	3.85	1.19	2.19	2.24
<i>Pistacia mexicana</i> Kunth	1	0.35	1	1.92	0.69	1.27	1.18
<i>Berberis trifoliata</i> Hartw. ex Lindl	1	0.35	1	1.92	0.3	0.55	0.94
<i>Opuntia robusta</i> H.L.Wendl. ex Pfeiff	1	0.35	1	1.92	0.17	0.31	0.86
Total	286	100	52	100	54.3	100	100

Cuadro 5. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el Bosque alterado ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 5. Structural parameters for the species identified in the Altered Forest, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Especie vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendlerii</i>	132	51.36	10	20.83	0.12	0.03	24.08
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	81	31.52	9	18.75	0.89	0.24	16.84
<i>Quercus laceyi</i> Small	4	1.56	4	8.33	135.25	36.99	15.63
<i>Quercus polymorpha</i> Née	5	1.95	4	8.33	103.29	28.25	12.84
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl	2	0.78	2	4.17	91.28	24.97	9.97
<i>Crataegus</i> sp.	8	3.11	5	10.42	2.05	0.56	4.7
<i>Mimosa</i> sp.	8	3.11	5	10.42	0.28	0.08	4.54
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl	2	0.78	2	4.17	31.37	8.58	4.51
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	5	1.95	4	8.33	0.01	0	3.43

<i>Agave macroculmis</i>	6	2.33	1	2.08	1.06	0.29	1.57
<i>Quercus microphylla</i> Née	3	1.17	1	2.08	0	0	1.08
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg	1	0.39	1	2.08	0.01	0	0.83
Total	257	100	48	100	365.6	100	100

Cuadro 6. Parámetros estructurales para las especies identificadas en el ecosistema de Encino-Pino ordenados de manera descendente de acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI).

Table 6. Structural parameters for the species identified in the Oak-Pine ecosystem, arranged in descending order according to the Importance Value Index (IVI).

Especie vegetal	No. de individuos	Abundancia relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Área de copa (m ²)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Quercus laceyi</i> Kunth	19	19.79	8	21.05	46.37	71.55	37.47
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	24	25	8	21.05	7.36	11.36	19.14
<i>Crataegus</i> sp.	28	29.17	7	18.42	1.93	2.98	16.85
<i>Quercus polymorpha</i> Née	7	7.29	3	7.89	8.84	13.65	9.61
<i>Juniperus pinchotii</i> var. <i>erythrocarpa</i>	9	9.38	6	15.79	0.25	0.38	8.52
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	7	7.29	5	13.16	0.04	0.06	6.84
<i>Ceanothus fendleri</i> var. <i>fendleri</i>	2	2.08	1	2.63	0.02	0.03	1.58
Total	96	100	38	100	64.8	100	100

DISCUSIÓN

La composición vegetal documentada en el presente estudio corresponde a la esperada para el tipo de vegetación evaluada, dada la presencia de los individuos del género *Pinus* y *Quercus*. Estos resultados coinciden con los realizados por Camacho-Rubio *et al.* (2016), quienes mencionan que las especies de *Pinus* y *Quercus* suelen presentarse en los ecosistemas forestales en el noreste de México. Similarmente, Ávila-Flores *et al.* (2014), reportan valores de importancia altos para el género *Pinus*. Leyva-López *et al.* (2010), detallan que la dominancia de estos géneros no limita el desarrollo y establecimiento de otras especies, por lo que es normal observar diversidad de especies correspondientes a los géneros *Ceanothus*, *Juniperus* y/o *Crataegus* encontrados en los ecosistemas estudiados. Luna-Robles *et al.* (2020), concuerdan con lo anteriormente descrito y señalan que el establecimiento de especies de diversos géneros está asociado a los ecosistemas donde predominan las especies de *Pinus* y *Quercus*, e indican que las especies de estos géneros no aseguran el establecimiento de las especies de interés, sino que brindan la oportunidad de encontrar especies de poco interés para el manejo de los ecosistemas forestales. De León Mata *et al.* (2013), destacan que este tipo de ecosistemas representados por especies de los géneros *Pinus* y *Quercus* suelen localizarse en sitios que superan los 2,000 msnm en zonas montañosas en laderas con diferentes pendientes y exposiciones, los cuales pueden sufrir cambios por actividades antrópicas, resultando en modificaciones en su estructura, composición y diversidad (Gao *et al.*, 2020).

Las familias *Pinaceae* y *Fagaceae* se caracterizan principalmente por ser dominantes en las regiones montañosas del sur de Nuevo León (Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020). Sin embargo, los resultados encontrados en el presente estudio y lo enunciado anteriormente, varía debido a

que las familias *Rhamnaceae*, *Cupressaceae* y *Pinaceae* son las familias con mayor presencia de manera general en los tres ecosistemas. Huffman (2006), al estudiar la composición de especies en un ecosistema forestal, documenta que la especie de *Ceanothus fendleri* (*Rhamnaceae*) suele asociarse a comunidades donde predominan las coníferas, siendo plantas que suelen establecerse a un ritmo rápido, lo que se ve reflejado en el aumento de la abundancia en los ecosistemas que se desarrollan. Estos cambios en la composición de los ecosistemas suelen presentarse debido a que la estructura es dinámica y se modifica constantemente durante el crecimiento de los árboles (Hu *et al.*, 2020) y a las interacciones antrópicas que incluyen disturbios por tala y extracción de árboles por selección (Gadow *et al.*, 2012), lo que se refleja en el crecimiento y desarrollo de arbustos y herbáceas, que son indicadores de alteraciones en las comunidades forestales (Waddell *et al.*, 2020).

De acuerdo con Margalef (1973) y Magurran (2005), los valores del índice de diversidad (Figura 4) se consideran bajos (valor promedio = 1.14), ya que, según la clasificación establecida por dichos autores, se considera como diversidad baja cuando los valores son menores a 2, media entre 3 y 5, y alta cuando son superiores a 5. De acuerdo a los análisis estadísticos, los valores para dichos índices no presentan diferencias significativas entre los tres ecosistemas estudiados (Cuadro 2). Lo anterior se puede explicar debido a que la mayoría de los ecosistemas forestales en algún momento de su desarrollo fueron sometidos a manejo, lo que origina baja diversidad debido a los tratamientos silvícolas que se involucran (Hernández-Salas *et al.*, 2013), lo cual es consistente con diversos estudios realizados para ecosistemas forestales (García-Aranda *et al.*, 2012; Medrano-Meraz *et al.*, 2017; Méndez Osorio *et al.*, 2018). Este tipo de ecosistemas forestales, además suelen presentar una diversidad baja debido al gradiente elevacional en el que se desarrollan, donde los principales factores abióticos suelen ser el clima, la temperatura, la precipitación, pendiente (De León Mata *et al.*, 2013; Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2021) y tipo de suelo (McCain, 2005), lo que causa que se presentan cambios en la diversidad y estructura, aun cuando se trata de ecosistemas muy similares, ya que los requerimientos ecológicos de cada especie son diferentes (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2021). En el noreste de Nuevo León, en la Sierra Madre Oriental, los estudios florísticos en ecosistemas forestales que superan el rango elevacional de los 2000 m, con clima de tipo templado subhúmedo, precipitaciones entre 600 y 1200 mm y con una temperatura media anual de 14 a 18 °C, han presentado diversidad baja para ecosistemas con asociaciones de pino-encino (Buendía-Rodríguez *et al.*, 2019; Quijada *et al.*, 2020).

Los resultados del índice de Bray-Curtis (Figura 5) indica que existe una similitud media (Bosque alterado con Pino) y baja (Encino-Pino con el Bosque alterado). Este comportamiento suele asociarse a las características propias de los sitios, lo que hace que la similitud entre ecosistemas se comporte de esta manera (Domínguez Gómez *et al.*, 2018). González-Cubas *et al.* (2018), al aplicar índices de similitud y analizar cuatro bosques en el sur de estado de Nuevo León, documentaron que la similitud entre sitios asociados a bosques mixtos de coníferas alberga grupos de especies dependientes, encontrando un valor medio de 44%, que de acuerdo con Clarke & Warwick, (2001) y Hao *et al.* (2019), estos cambios están asociados directamente con la variación de los factores abióticos, que se ven reflejados en la distribución y abundancia de especies en un ecosistema.

Los valores de IVI registrados en el presente estudio, indican que en cada ecosistema bajo estudio es diferente. En el Bosque alterado, la especie de *Ceanothus fendleri* presentó un mayor valor (24.08%); en el ecosistema de Pino, *Pinus arizonica* y *P. pseudostrobus* obtuvieron los valores mayores (25.43% y 25.59%, respectivamente); y en el ecosistema de Encino-Pino, *Quercus laceyi* presentó la mayor dominancia (37.47%) seguido de *Pinus pseudostrobus* (19.14%) en relación con las demás especies presentes. El estudio comparativo entre ecosistemas forestales contiguos permitió observar las variaciones florísticas de composición y estructura que ocurren entre ecosistemas forestales que tienden a compartir especies de los mismos géneros, sin embargo, en términos generales, cada ecosistema presenta diversas especies, lo que sugiere puede deberse a las actividades antropogénicas a las que están

sometidos (Martínez-Antúnez *et al.*, 2013). Ayala *et al.* (2022), encontraron que en los ecosistemas forestales, el género de *Pinus* suele presentar mayor dominancia respecto a otros géneros. En este sentido, Hernández-Salas *et al.* (2013), concuerdan con estos hallazgos y concluyen que factores como la fisiografía, clima y suelos de cada área suelen jugar un papel fundamental en el desarrollo de ciertas especies con preferencias específicas para su establecimiento y desarrollo, lo que permite concluir que aun tratándose de ecosistemas que comparten características y especies, cada uno presenta diferencias en cuanto al Índice de Valor de Importancia.

CONCLUSIONES

Los ecosistemas forestales de la Sierra Madre Oriental tienen un papel muy importante, no solo por proveer a la región y comunidades de madera como materia prima para la industria, sino como sitios proveedores de servicios ambientales. Los resultados indican que, si bien este tipo de ecosistemas presentan una baja similitud y son poco heterogéneos, especies de los géneros *Pinus* y *Quercus* exhiben valores altos de importancia ecológica, siendo especies que no limitan el establecimiento y desarrollo de otras especies. Evaluar las diferencias en las comunidades forestales es esencial para valorar los cambios que pueden llegar a sufrir estas comunidades por actividades antrópicas y analizar los cambios que sufren a consecuencia del cambio climático en un periodo de tiempo largo. Los resultados de presente estudio contribuyen a tener un conocimiento más amplio sobre el estado actual de los ecosistemas forestales en el noreste de Nuevo León y a referir valores con respecto a la estructura de comunidades de este tipo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación de los proyectos con clave A1-S-44878 y 250732, de los cuales deriva la presente investigación y por el apoyo financiero para llevar a cabo los estudios de doctorado del primer autor.

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, Ó., & 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>.
- Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E., Vargas-Larreta, B., & Rodríguez, E. A. (2014). Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(1), 34–45. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2013.01.005>.
- Ayala, J. M. R., Calderón, O. A. A., Rodríguez, E. A., Tagle, M. A. G., Pérez, J. J., Larreta, B. V., & Rivasa, J. J. C. (2022). Vista de asociaciones y competencia entre géneros en parcelas permanentes establecidas en el norte de Durango. *E-CUCBA*, 18, 12–27. <http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/237/226>.
- Bhat, J. A., Kumar, M., Negi, A. K., Todaria, N. P., Malik, Z. A., Pala, N. A., Kumar, A., & Shukla, G. (2020). Species diversity of woody vegetation along altitudinal gradient of the Western Himalayas. *Global Ecology and Conservation*, 24, 01302e. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01302>.

- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349. <https://doi.org/10.2307/1942268>.
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). 372: The ANOVA and multiple comparisons for data with heterogeneous variances. *Biometrics*, 30(4), 719–724. <https://doi.org/10.2307/2529238>.
- Buendía-Rodríguez, E., Treviño-Garza, E. J., Eduardo, A. R., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., & Pompa-García, M. (2019). Structure of a forest ecosystem and its relationship with the carbon stock in Northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 4-25 <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>.
- Camacho-Rubio, A. E., González-Tagle, M. A., Solorio-Benavides, J. de D., Durán-Chávez, A. A., & Carmona, J. X. (2016). Relationship between necromass, woody species composition and possible implications of climate change in temperate forests. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2601–2614. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000902601&script=sci_arttext&tlng=en
- Canizales-Velázquez, P. A., Alanís-Rodríguez, E., García-García, S. A., Holguín-Estrada, V. A., & Collantes-Chávez, C. A. (2021). Estructura y diversidad de un bosque de galería urbano en el río Camachito, noreste de México. *Polibotánica*, 51, 91–105. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.6>.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278. <https://doi.org/10.3354/MEPS216265>.
- Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. In *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587/STATISTICAL-POWER-ANALYSIS-BEHAVIORAL-SCIENCES-JACOB-COHEN>.
- Corral-Rivas, J. J., Calderón-Aguirre, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., & Corral-Rivas, S. (2005). An analysis of the forest utilization effect on the structural diversity in «El Cielo» cloud forest, Tamaulipas, México. *Forest Systems*, 14(2), 217–228. <https://doi.org/10.5424/srf/2005142-00885>.
- De León Mata, G. D., Arévalo, A. G., Andrade Herrera, S., & Ruiz Marín, A. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30–40. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rln/article/view/209>.
- Domínguez Gómez, T. G., Hernández González, B. N., González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Alanís Rodríguez, E., & Alvarado, M. del S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 9–34. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>.
- Gadow, K. V., Zhang, C. Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Myklush, S., Hui, G. Y., Kiviste, A., & Zhao, X. H. (2012). *Forest structure and diversity* (T. Pukkala & K. von Gadow, Eds.; Vol. 23, pp. 29–83). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2202-6>.
- Gao, Y., Skutsch, M., Paneque-Gálvez, J., & Ghilardi, A. (2020). Remote sensing of forest degradation: a review. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaad7/meta>.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. In *Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México* (p. 98).
- García-Aranda, M. A., Estrada-Castillón, A. E., Cantú-Ayala, C. M., & Pando-Moreno, M. (2012). Clasificación de nueve sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México. *Botanical Sciences*, 90(1), 53–62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982012000100006&lng=es&tlng=es.
- García-García, S. A., Narváes-Flores, R., & Olivas-García, J. M. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

- Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53), 41–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>.
- González-Cubas, R., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Duque-Montoya, Á., & Gómez-Cárdenas, M. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 36–65. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V9I45.142>.
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Mora-Olivo, A. (2017). Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 137–146. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>.
- Hao, M., Corral-Rivas, J. J., González-Elizondo, M. S., Ganeshaiyah, K. N., Nava-Miranda, M. G., Zhang, C., Zhao, X., & Gadow, K. von. (2019). Assessing biological dissimilarities between five forest communities. *Forest Ecosystems*, 6(1), 3–30. <https://doi.org/10.1186/S40663-019-0188-9>.
- Hernández, F. J., Deras-Ávila, A. G., Deras-Ávila, N. I., & Colín, J. G. (2019). Influence of the seed tree method on the diversity of regeneration in a mixed forest in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 25(2), 219–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.066>
- 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. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–200. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- 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, Y. L. A. (2018). Growth dynamic of a tempered forest under management in the northwest of Mexico. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421767. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421767>.
- Hu, M., Lehtonen, A., Minunno, F., & Mäkelä, A. (2020). Age effect on tree structure and biomass allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Forest Science*, 77(3), 1-15. <https://doi.org/10.1007/S13595-020-00988-4>.
- Huffman, D. W. (2006). Production, losses, and germination of *Ceanothus fendreli* seed in an Arizona ponderosa pine forest. *Western North American Naturalist*, 66(3), 365–373. [https://doi.org/10.3398/1527-0904\(2006\)66](https://doi.org/10.3398/1527-0904(2006)66).
- INEGI. (2007). *Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional)*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236557>.
- Leyva-López, J. C., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. (2010). Patrones de diversidad de la regeneración natural en rodales mezclados de pinos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 16(2), 227–239. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2010.06.038>.
- Luna-Robles, E. O., Cantú-Silva, I., & Yáñez-Díaz, M. I. (2020). Efectos del manejo forestal en la composición y diversidad de la regeneración natural arbórea en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Polibotánica*, 50, 19–30. <https://doi.org/10.18387/POLIBOTANICA.50.2>.
- Magurran, A. E. (2005). Species abundance distributions: Pattern or Process? *Functional Ecology*, 19(1), 177–181. <https://www.jstor.org/stable/3599287>.
- Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31(19), R1174–R1177. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>.
- Manriques A, L. (2022). Biodiversidad de coníferas del estado de Nuevo León, México. *Revista de Prueba*, 4(8), 4–13. <https://ojs.biblio.uanl.mx/index.php/ojs/article/view/87>.
- Manzanilla-Quijada, G. E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., & Yerena, Y. J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 94–123. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>.

Recibido:
16/junio/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Margalef, R. (1973). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71. <https://digital.csic.es/handle/10261/284346>.
- Martínez-Antúnez, P., Wehenkel, C., Hernández-Díaz, J. C., González-Elizondo, M., Corral-Rivas, J. J., & Pinedo-Álvarez, A. (2013). Effect of climate and physiography on the density of tree and shrub species in Northwest Mexico. *Polish Journal of Ecology*, 61(2), 283–295. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133392896>.
- McCain, C. M. (2005). Elevation gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 86(2), 366–372. <https://doi.org/10.1890/03-3147>.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Press. Cambridge, Ed.; Cambridge University).
- Medrano-Meraz, M. de J., Hernández, F. J., Corral-Rivas, S., & Nájera-Luna, J. A. (2017). Tree diversity at different altitude levels in the El Salto, Durango region. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57–68. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n40/2007-1132-remcf-8-40-00057.pdf>.
- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C. A., Rodríguez, E. A., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & Pequeño Ledezma, 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. <https://doi.org/10.18845/RFMK.V13I33.2571>.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, Vol. I.* (CYTED (ed.); España). <http://entomologia.rediris.es/sea>.
- Quijada, G. E. M., Balderas, J. M. M., Garza, E. J. T., Calderón, Ó. A. A., Rodríguez, E. A., & Yamallel, J. I. Y. (2020). Diversity, structure and floristic composition of temperate forests of southern Nuevo León state. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>.
- Sánchez-Gutiérrez, F., Valdez-Hernández, J. I., Hernández-de-la-Rosa, P., Sánchez-Escudero, J., Sánchez, A. S., Castillejos-Cruz, C., & Brindis-Santos, A. I. (2021). Estructura y composición arbórea en un gradiente altitudinal del Área Natural Protegida Metzabok, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 12–22. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442021000100012&script=sci_arttext.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT-CONANP). (2013). *Áreas de protección de flora y fauna Maderas del Carmen*. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Maderas_del_Carmen_2013.pdf.
- Serrano, P. M. L., Nieva, D. J. V., Rivas, J. J. C., Reyes, J. B., & Antúnez, P. (2022). Diversidad e importancia ecológica de la vegetación arbórea en el Parque El Tecuán en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 34–53. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V13I74.1273>.
- Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., & Corral-Rivas, J. J. (2021). Effect of silvicultural treatments on forest diversity and structure in temperate forests under management in Durango, Mexico. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722082. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722082>.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach (No. Ed. 2). In *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. (Issue Ed. 2). McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Tapia, J., & Nívar, J. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 19–28. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49721457004.pdf>.

**ESTRUCTURA HORIZONTAL Y
DIVERSIDAD DE LOS BOSQUES DE
Pseudotsuga menziesii (Mirb) Franco
EN MÉXICO**

**HORIZONTAL STRUCTURE AND
DIVERSITY OF THE *Pseudotsuga
menziesii* (Mirb) Franco FORESTS IN
MEXICO**

Molina-Marchan, E.; R. Narvárez-Flores y A.S. Mojica-Guerrero

ESTRUCTURA HORIZONTAL Y DIVERSIDAD DE LOS BOSQUES DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco EN MÉXICO

HORIZONTAL STRUCTURE AND DIVERSITY OF THE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco FORESTS IN MEXICO



Estructura horizontal y diversidad de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en MéxicoHorizontal structure and diversity of the *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco forests in Mexico

Molina-Marchan, E.;
R. Narváez-Flores
y A.S. Mojica-Guerrero

ESTRUCTURA
HORIZONTAL Y
DIVERSIDAD DE LOS
BOSQUES DE *Pseudotsuga
menziesii* (Mirb) Franco EN
MÉXICO

HORIZONTAL STRUCTURE
AND DIVERSITY OF THE
Pseudotsuga menziesii (Mirb)
Franco FORESTS IN
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 63-80. Enero 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.57.4

Emanuel Molina-Marchan

<https://orcid.org/0000-0001-7202-3218>Raúl Narváez-Flores / rnarvaez@uach.mx<https://orcid.org/0000-0002-2270-4573>

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales
Km 2.5 Carretera Delicias a Rosales,
Campus Delicias, Delicias, Chih. México

Aldo Saúl Mojica-Guerrero

<https://orcid.org/0009-0002-8886-9925>

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales
Carretera Nacional 85, Km. 145, Linares, Nuevo León, C.P. 67700

RESUMEN: Evaluar la diversidad permite conocer el estado general de los sistemas ecológicos, el impacto del cambio climático, del manejo forestal y otras actividades antrópicas, se ha utilizado con fines prácticos de conservación, monitoreo y gestión de los bosques. El objetivo del estudio fue analizar la estructura, diversidad y similitud del estrato arbóreo de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* en México, especie enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, cuyas áreas son consideradas de Alto Valor de Conservación. El presente estudio comprendió 11 de los 14 estados donde se distribuye esta especie en México. Se analizó y procesó información de 28 comunidades de *Pseudotsuga*, obtenidas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, trabajos de investigación e información propia; la estructura horizontal se determinó con el Índice de Valor de Importancia (IVI), la diversidad con el índice de Shannon-Wiener (H') y Pielou (J), se determinaron las diferencias significativas en diversidad de H' con la prueba de t de Hutcheson, y la similitud florística se obtuvo con el índice de Morisita-Horn. A nivel nacional se registraron 9 familias, 14 géneros y 45 especies, el IVI de *Pseudotsuga* fluctúa entre 20.77 a 53.33; los valores de H' en general indican baja diversidad (<2.00) y alta equidad J (>0.70). El índice de Morisita presenta tres agrupaciones correspondientes a las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana, y refleja una alta semejanza dentro de cada provincia y media a baja entre regiones. El presente trabajo coadyuvará al desarrollo de estrategias de manejo en estos bosques para su monitoreo y conservación.

Palabras clave: Bosque de ayarín, ecología, conservación, especies efectivas, riqueza de especies, similitud de comunidades.

ABSTRACT: Assessing diversity allows us to know the general state of ecological systems, the impact of climate change, forest management and other anthropic activities, and has been used for practical purposes of conservation, monitoring and management of forests. The objective of the study was to analyze the structure, diversity and similarity of the tree stratum of *Pseudotsuga menziesii* forests in Mexico, a species listed in NOM-059-SEMARNAT-2010, whose areas are considered of High Conservation Value. The present study included 11 of the 14 states where this species is distributed in Mexico. Information from 28 *Pseudotsuga* communities was analyzed and processed, obtained from the National Forest and Soil Inventory, research works and own information; horizontal structure was determined with the Importance Value Index (IVI), diversity with the Shannon-Wiener (H') and Pielou (J) index, significant

differences in diversity were determined with the Hutcheson's t-test, and floristic similarity was obtained with the Morisita-Horn index. At the national level, 9 families, 14 genera and 45 species were recorded, the IVI of *Pseudotsuga* fluctuates between 20.77 and 53.33; H' values generally indicate low diversity (<2.00) and high J-equity (>0.70). The Morisita index presents three groupings corresponding to the physiographic provinces Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental and Faja Volcánica Transmexicana, and reflects a high similarity within each province and medium to low similarity between regions. This work will contribute to the development of management strategies for monitoring and conservation in these forests.

Key words: Douglas-fir Forest, ecology, conservation, effective species, species richness, community similarity.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de clima templado albergan la más alta diversidad florística con alrededor de 7000 especies, lo que representa la cuarta parte de la flora nacional (Rzedowski, 2006).

La evaluación de la diversidad y estructura permite conocer el estado actual y funcionalidad de los ecosistemas; así como la sucesión ecológica, impacto del cambio climático, manejo forestal y otras actividades antrópicas, y se ha utilizado con fines prácticos para la conservación, monitoreo y gestión de los bosques (Leitner y Turner, 2001; Spellerberg, 2005; López-Hernández *et al.*, 2017). Se ha determinado que la pérdida de la diversidad afecta la productividad de los bosques en sus bienes y servicios (Bridgeland *et al.*, 2010; Cardinale *et al.*, 2011); razón por la que se utiliza para evaluar la degradación de los ecosistemas (FAO, 2020).

La importancia de la biodiversidad para la sustentabilidad de los bosques se fundamenta en que al aumentar la diversidad y complejidad de la estructura existe mayor diversidad de hábitats y nichos ecológicos lo que incrementa las relaciones funcionales y resiliencia del ecosistema (Thompson, 2011). La estructura revela la importancia ecológica de cada especie y las que están mejor adaptadas en la comunidad estudiada (Lamprecht, 1990).

Recientemente se han desarrollado numerosos estudios sobre la diversidad y estructura en masas forestales de coníferas y latifoliadas de interés comercial para un aprovechamiento sustentable como los generados por (López-Hernández *et al.*, 2017; Monárrez-González *et al.*, 2018; Ramírez-Santiago *et al.*, 2019; Blancarte-Contreras *et al.*, 2022; Chávez-Aguilar *et al.*, 2022; Muñoz-Flores *et al.*, 2022).

Sin embargo, son escasos los estudios sobre especies en estatus o Áreas de Alto Valor de Conservación (AAVC) como son los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, especie "sujeta a protección especial", que habita en comunidades pequeñas y fragmentadas y actualmente cubre una superficie aproximada de 57,000 ha; misma que de acuerdo con Villanueva *et al.*, (2000) es sensible al cambio climático y empleada frecuentemente en estudios dendrocronológicos para la reconstrucción del clima.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la diversidad, estructura y semejanza florística de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* en México, con el fin de generar información para una mejor gestión y conservación de estos ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo comprende 28 comunidades de *Pseudotsuga menziesii* en las que generalmente se presenta como especie dominante o codominante, distribuidas en 11 Estados

de la República Mexicana dentro de la Sierra Madre Occidental (SMO), Sierra Madre Oriental (SMOR) y Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Tabla 1 y Figura 1). Estas comunidades se desarrollan en climas templados o templados-subhúmedos con precipitaciones mayores a 600 mm y temperatura media anual de 10 a 14 °C; en suelos poco profundos de tipo Litosol, Feozem y Regosol con altos porcentajes de materia orgánica y pH ligeramente ácidos; se encuentra principalmente en las exposiciones hacia el norte y pendientes superiores al 20% en altitudes de 2,400 a 3,200 m (Domínguez Álvarez. *et al.*, 2004; Encina-Domínguez *et al.*, 2008; Ventura-Ríos *et al.*, 2010; Guerra-De la Cruz *et al.*, 2012; Lavender y Hermann, 2014).

Para determinar el Índice de Valor de Importancia (IVI), riqueza, diversidad y semejanza del estrato arbóreo de los bosques de *Pseudotsuga mneziesii* en México, se analizó la información de siete conglomerados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2009-2014 escala 1:250000 (CONAFOR, 2014) correspondientes a los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila, el estudio se complementó con la evaluación y procesamiento de la información de 19 sitios obtenidos de 12 trabajos de investigación realizados por diversos autores en las principales entidades federativas donde se distribuye *Pseudotsuga mneziesii*, e información de dos bosques de *Pseudotsuga* en Chihuahua obtenida con la metodología del INFyS. Para la elección de todas las localidades se tomó como criterio que *Pseudotsuga mneziesii* registrara un Índice de Valor de Importancia $\geq 10\%$.

Tabla 1. Localidades seleccionadas para el análisis de la estructura y diversidad de *Pseudotsuga* en México
Table 1. Selected locations for the analysis of the structure and diversity of *Pseudotsuga* in Mexico.

Fuente de información	Estado	Paraje	Coordenadas			Altitud	Especies	H'	IVI <i>P. mneziesii</i>
			x	y	zona				
Información propia	Chih.	Cebadilla ¹	771737	3247393	12 R	2526	5	1.48	42.15
Información propia	Chih.	Cuenca San Julián ²	349764	2881439	13 R	2805	16	1.88	11.86
CONAFOR (2018)	Chih.	Ejido San Rafael ³	281167	3209388	13 R	2879	5	1.43*	42.13*
CONAFOR (2018)	Chih.	San Julián ⁴	352624	2879689	13 R	2718	7	1.88*	24.64*
CONAFOR (2018)	Dgo.	Guanaceví ⁵	357793	2869733	13 R	2973	6	1.65*	25.26*
CONAFOR (2018)	Dgo.	Tepehuanes ⁶	439287	2816145	13 R	2937	6	1.58*	28.51*
CONAFOR (2018)	Dgo.	Canelas ⁷	384878	2774895	13 R	2547	5	1.1*	42.15*
CONAFOR (2018)	Dgo.	Mezquital ⁸	575712	2537581	13 Q	2482	9	1.67*	26.23*
CONAFOR (2018)	Coah.	Saltillo ⁹	303186	2801667	14 R	2266	4	1.26*	49.43*
García-García <i>et al.</i> , (2020)	Chih.	Ej. Chinatú ¹⁰	334493	2903339	13 R	2680	10	1.96	26.14
Moreno-Valdez <i>et al.</i> , (2018a)	Dgo.	Santa Bárbara ¹¹	448167	2618338	13 R	2750	11	1.79	23.81
Domínguez-Calleros <i>et al.</i> , (2014)	Zac.	Los Castillo ¹²	596516	2589655	13 Q	S/E	8	1.58*	33.08*
Encina-Domínguez <i>et al.</i> , (2008)	Coah.	Sierra de Zapalinamé ¹³	309654	2804879	14 R	2847	9	1.22*	24.52
López-Sánchez <i>et al.</i> , (2017)	Coah.	Santa Rita ¹⁴	353988	2791690	14 R	2500	5	1.44*	12.23*
González-Cubas (2019)	Coah.	S. C. El Penitente ¹⁵	308145	2805071	14 R	2891	3	0.94	22.51
Aguirre-Calderón <i>et al.</i> , (2003)	N.L.	Cerro del Potosí ¹⁶	392180	2746878	14 R	3125	4	1.26*	28.60*
González <i>et al.</i> , (2018)	N.L.	El Rosal ¹⁷	419916	2646070	14 Q	2400	7	1.47	11.65
González-Cubas (2019)	Tam.	S. C. Del Nacimiento 1 ¹⁸	422056	2613994	14 Q	3117	4	0.84	46.17
González-Cubas (2019)	Tam.	S. C. Del Nacimiento 2 ¹⁹	422423	2614174	14 Q	3087	3	0.75	37.74

Villagómez-Loza y Bello-González (2018)	Gto.	Región Lerma-Santiago ²⁰	366557	2315304	14 Q	2814	3	S/E	S/E
Ventura-Ríos <i>et al.</i> , (2010a)	Hgo.	Móran ²¹	535417	2227809	14 Q	2600	8	S/E	S/E
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Pue.	Cuatexmola ²²	621792	2156457	14 Q	2925	5	S/E	53.68
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Pue.	La Caldera ²³	619127	2157438	14 Q	3040	6	S/E	45.58
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Pue.	Canoitas ²⁴	676467	2121984	14 Q	3127	8	S/E	21.64
Domínguez-Álvarez <i>et al.</i> , (2004)	Qro.	Pinal de Amoles ²⁵	428476	2338996	14 Q	2880	9	1.83*	22.14
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Tlax.	Zapata ²⁶	614370	2162818	14 Q	3000	8	S/E	53.97
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Tlax.	La Rosa ²⁷	613810	2159126	14 Q	2750	7	S/E	31.49
Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , (2012)	Tlax.	Villarreal ²⁸	616706	2162065	14 Q	2872	9	S/E	39.86

*Datos generados a partir de la información de los autores. El super índice indica el número de localidad en la Figura 1.

*Data generated from the information provided by the authors. The superscript indicates the locality number in Figure 1.

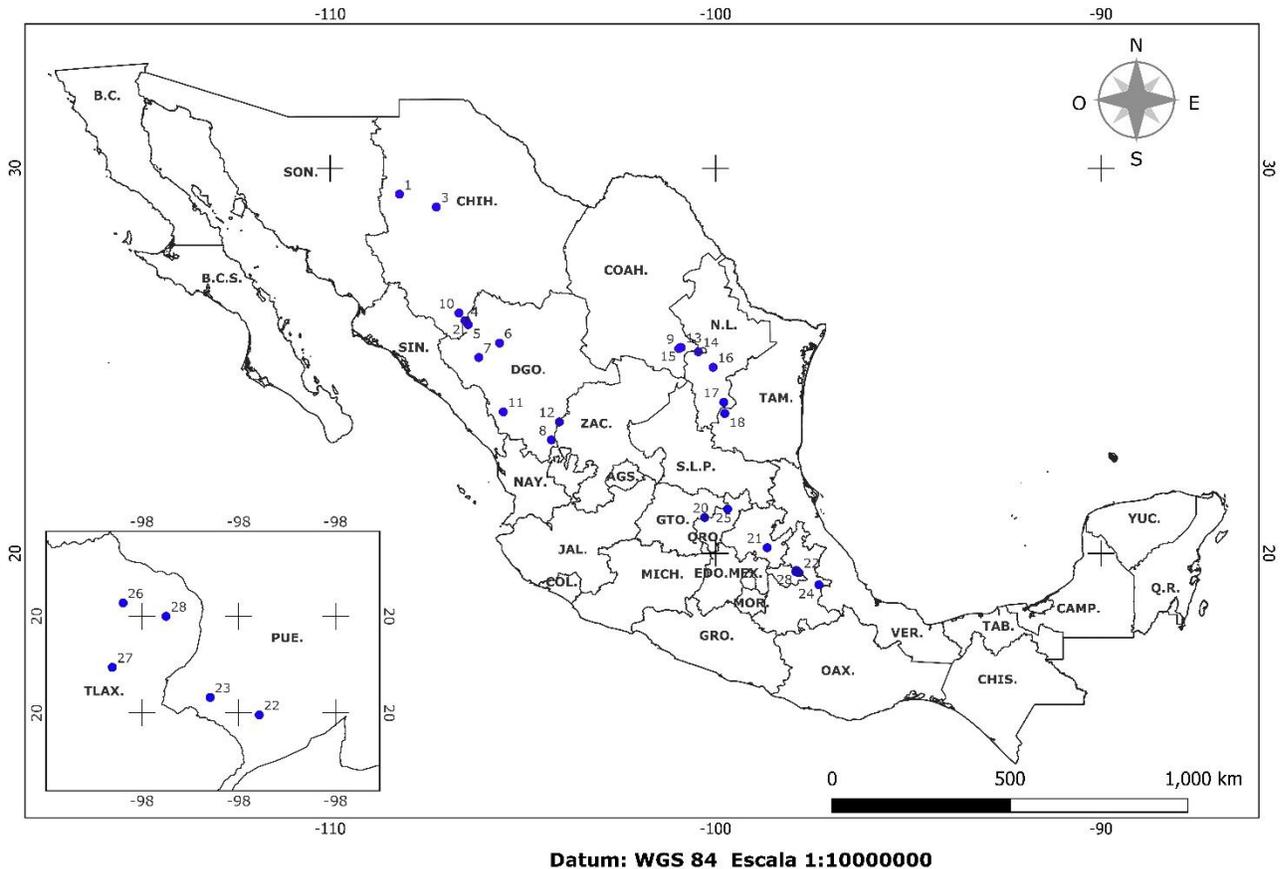


Figura 1. Comunidades de *Pseudotsuga menziesii* analizadas a nivel nacional.
Figure 1. *Pseudotsuga menziesii* communities analyzed at the national level.

Análisis de datos

El Índice de Valor de Importancia (IVI) habitualmente considera la abundancia, dominancia y frecuencia; y es un parámetro que nos permite conocer la importancia fitosociológica de las especies que pertenecen a una región o comunidad (Lozada-Dávila, 2010). Sin embargo, de acuerdo con Mostacedo y Fredericksen (2000) es válido calcularlo con dos variables cuando no es posible contar con los tres parámetros (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuación para obtener el Índice de Valor de Importancia.
Table 2. Equation to obtain the Importance Value Index.

Índice/Ecuación	Descripción
$IVI = \frac{Ar + Dr}{2}$	Ar: Abundancia relativa Dr: Dominancia relativa (área basal)

Para el análisis de la diversidad se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H') que comprende la riqueza de especies y la abundancia relativa de las mismas y su valor incrementa con el número de especies y la equidad de sus abundancias (Moreno, 2001b) (Tabla 3), los valores de este índice oscilan generalmente entre 1 y 5, resultados menores a 2 indican una diversidad baja, mientras que de 2 a 3.5 se considera una diversidad media y mayores a 3.5 son de alta diversidad (Margalef, 1972). La equidad de las abundancias relativas de las especies se generó con el índice de Pielou cuyos valores fluctúan entre 0 y 1, donde 1 representa el valor máximo de equidad (Magurran, 1988) (Tabla 3).

La diferencia significativa en la diversidad de estos bosques se determinó a través de comparaciones pareadas mediante la prueba de t de Hutcheson ($p \leq 0.05$) (Hutcheson, 1970) (Tabla 3), y con la diversidad verdadera de orden 1 (1D) expresada a través del exp (H') se determinó la amplitud de estas diferencias a través del número de especies efectivas, obtenidas de la siguiente manera: cuando el bosque A (BA) presenta una diversidad más alta que el bosque B (BB), entonces el cociente entre BA/BB será el resultado de la proporción en la que es mayor BA (Moreno *et al.*, 2011). Finalmente, la afinidad de la composición de especies del estrato arbóreo de los bosques de *Pseudotsuga* se obtuvo con el índice de similitud cuantitativo de Morisita-Horn (Morisita, 1959) (Tabla 3).

Tabla 3. Índices para calcular la diversidad y semejanza de comunidades de *Pseudotsuga menziesii*.
Table 3. Indices for calculating diversity and similarity of *Pseudotsuga menziesii* communities.

Índice	Ecuación	Descripción
Índice de Shannon-Wiener	$H' = - \sum_{i=1}^s pi \ln pi$	Pi: Abundancia relativa de la especie i ni: Total de individuos de la i-esima especie N: Suma de todos los individuos registrados
Índice de Pielou	$J = \frac{H'}{\ln(S)}$	H': Índice de Shannon-Wiener S: Riqueza de especies
Prueba t de Hutcheson	$t = (H'1 - H'2) / (\text{var}H'1 + \text{var}H'2)l/2$	H'1: Diversidad de la muestra 1 H'2: Diversidad de la muestra 2 varH'1: Varianza de la diversidad obtenida para la muestra 1 varH'2: Varianza de la diversidad obtenida para la muestra 2

Diversidad verdadera	${}^qD = \exp(H')$	$\exp(H')$: Exponencial del índice de Shannon
Índice Morisita-Horn	$I_{M-H} = \frac{2 \sum (an_i * bn_j)}{(da + db) aN * bN}$	an_i : Total de individuos de la i-esima especie del sitio A bn_j : Total de individuos de la j-esima especie del sitio B da : $\sum an_i^2 / aN^2$ db : $\sum bn_j^2 / bN^2$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza florística

En estos bosques se registraron 9 familias, 14 géneros y 45 especies, los estados que presentan la mayor riqueza de familias son Durango con seis, seguido de Chihuahua, Coahuila e Hidalgo con cinco, a diferencia de Guanajuato que solo presenta una (Tabla 4). Las familias más importantes en estos bosques fueron Pinaceae y Fagaceae con el 75.55% de especies, los géneros *Pinus* y *Quercus* presentaron 14 taxones cada uno, que en conjunto representan el 62.22% (Figura 2), estos resultados son similares a los reportados por Delgado-Zamora *et al.*, (2016) y Graciano-Ávila *et al.*, (2017). Lo anterior se debe a que en México los bosques de pino-encino ocupan la mayor superficie en estos ecosistemas (CONAFOR, 2021), y se consideran centros importantes de diversificación de estos géneros (Valencia, 2004); Sánchez-González, 2016).

En la SMO algunas de las especies comunes en bosques de *Pseudotsuga* son *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus durangensis* Martínez, *Quercus sideroxyla* Bonpl., *Quercus crassifolia* Bonpl., *Arbutus xalapensis* Kunth y *Cupressus lusitanica* Mill., y en lugares más húmedos se asocia con *Abies*, *Picea* y *Pinus strobiformis* Engelm. lo que es similar a lo registrado por (González-Elizondo *et al.*, 2007) (CONANP, 2017). En la SMOR *Pseudotsuga* convive generalmente con *Abies vejarii* Martínez, *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Cupressus arizonica* Greene, *Arbutus xalapensis*, *Quercus affinis* Scheidw. y *Quercus greggii* (A.DC.) Trel., lo que coincide con (Zavala-Chávez, 1998; Luna *et al.*, 2004); y en la Faja Volcánica Transmexicana los bosques de ayarín frecuentemente comparten hábitat con *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. y Cham., *Quercus laurina* Bonpl., *Quercus greggii*, *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. y Cham. y *Pinus hartwegii*.

La riqueza y composición de especies en las comunidades de *Pseudotsuga* son heterogéneas en las diferentes regiones montañosas donde se distribuye, debido principalmente a las condiciones de altitud, latitud, edafológicas, climáticas, fisiográficas, evolución geológica y actividades antrópicas mencionadas por Rzedowski (2006) y Challenger y Soberón (2008). Cabe señalar que los bosques de ayarín son relictos de relevancia ecológica por la riqueza florística y diversidad genética que representan las especies en estatus y endémicas que confluyen en estos hábitats especializados de las partes altas de las montañas, razones por las que estas áreas son consideradas de Alto Valor de Conservación.

En México de acuerdo con las localidades estudiadas el número de especies fluctúan entre cinco y 16, la mayoría de estas comunidades presentan menos de 10 taxones, valores similares a los reportados en bosques templados por Estrada-Valdés (2018); Méndez-Osorio (2018); Dávila-Lara *et al.*, (2019); Rodríguez-Pacheco *et al.*, (2023). En Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León se registraron bosques de baja riqueza debido la dominancia de las especies *Abies vejarii* y *Pseudotsuga menziesii*. Por otra parte, la localidad de Cuenca San Julián ubicada en el municipio de Guadalupe y Calvo alberga el mayor número de taxones con 16, esta región con precipitaciones mayores a 1000 mm, suelos fértiles, diversidad de topoformas y de gradientes

altitudinales con elevaciones mayores a los 3000 m, favorecen una alta riqueza florística de coníferas y latifoliadas y presenta la mayor superficie de bosque de ayarín en Chihuahua (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2013; CONAFOR, 2018; García-García *et al.*, 2019).

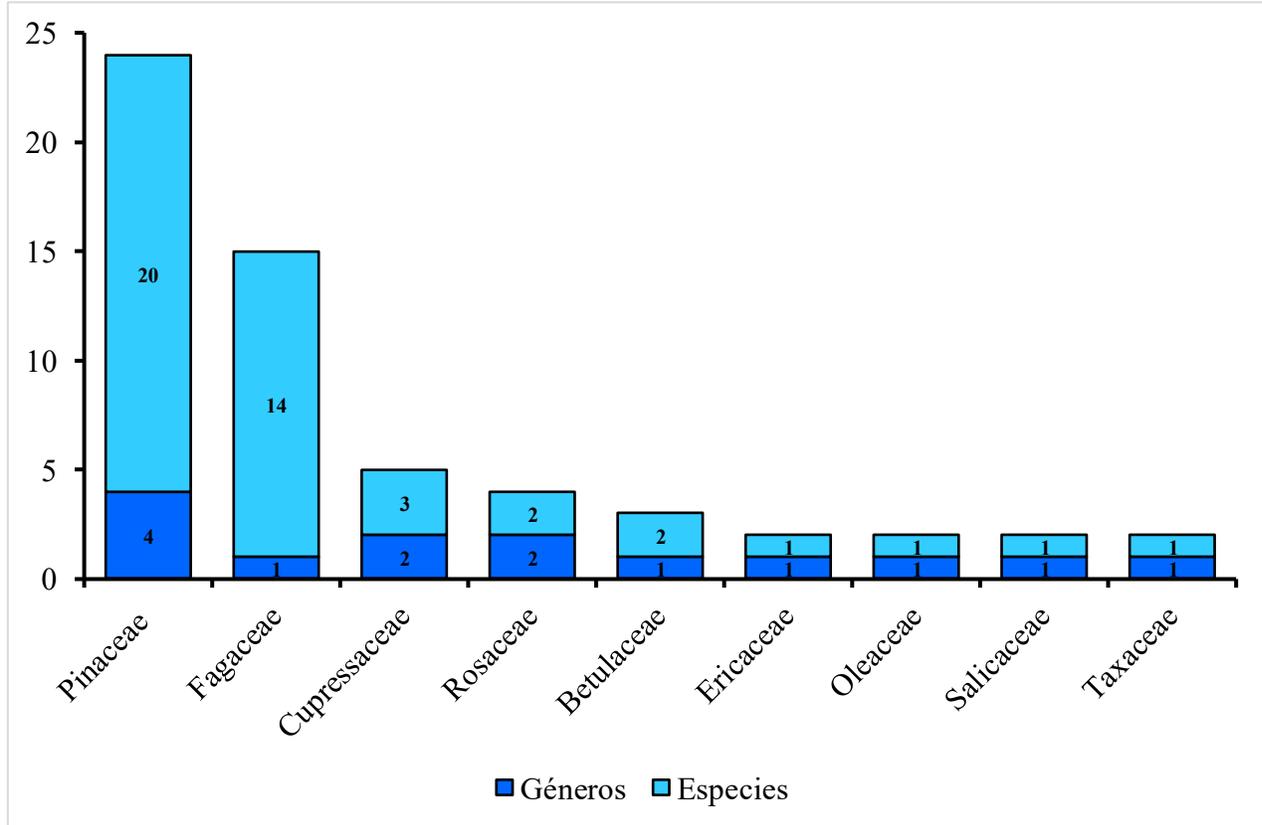


Figura 2. Familias presentes en las comunidades de *Pseudotsuga menziesii*.
Figure 2. Families present in the *Pseudotsuga menziesii* communities.

Tabla 4. Especies registradas en las entidades analizadas.
Table 4. Species recorded in the analyzed entities.

Familia	Género	Especie	Estado	NOM-059-SEMARNAT-2019
Pinaceae	<i>Abies</i>	<i>Abies concolor</i> (Gordon) Lindl. ex Hildebr.	Chih.	Pr
Pinaceae	<i>Abies</i>	<i>Abies durangensis</i> Martínez	Chih. Dgo.	
Pinaceae	<i>Abies</i>	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldtl. y Cham.	Hgo. Pue Qro. Tlax.	P
Pinaceae	<i>Abies</i>	<i>Abies vejarii</i> Martínez	Coah. N.L. Tam.	A
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Dgo. Qro.	
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	Qro.	
Ericaceae	<i>Arbutus</i>	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Chih. Dgo. Zac. Coah. Tam. Hgo. Pue. Qro. Tlax.	
Rosaceae	<i>Crataegus</i>	<i>Crataegus mexicana</i> Moc. y Sessé ex DC.	Hgo.	
Cupressaceae	<i>Cupressus</i>	<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Coah. N.L.	Pr

Cupressaceae	<i>Cupressus</i>	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Dgo. Zac.	Pr
Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Dgo.	
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Chih. Dgo. Hgo.	
Pinaceae	<i>Picea</i>	<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	Chih. Dgo.	P
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	Tlax.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Chih. Dgo.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Gto.	Pr
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus cooperi</i> C.E.Blanco	Dgo. Zac.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus durangensis</i> Martínez	Chih. Dgo. Zac.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Coah.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	Coah. N.L. Qro.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. y Cham.	Chih. Dgo.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus lumholtzii</i> B.L.Rob y Fernald	Chih.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus rudis</i> Endl.	Coah.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	Chih. Dgo. Coah. N.L. Gto.	Pr
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld. y Cham.	Hgo. Pue. Tlax.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltld. y Cham.	Qro.	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	N.L. Tam. Pue. Tlax	
Salicaceae	<i>Populus</i>	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	Chih.	
Rosaceae	<i>Prunus</i>	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Coah.	
Pinaceae	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	Chih. Dgo. Zac. Coah. N.L. Tam. Gto. Hgo. Pue. Qro. Tlax	Pr
Taxaceae	<i>Taxus</i>	<i>Taxus globosa</i> Schltld.	N.L.	Pr
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus affinis</i> Scheidw.	N.L.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus arizonica</i> Sarg.	Chih.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Dgo. Qro.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus crassipes</i> Bonpl.	Hgo.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus eduardii</i> Trel.	Zac.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus fulva</i> Liebm.	Chih.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus greggii</i> (A.DC.) Trel.	Coah. Qro.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hartwegii</i> Benth.	Zac.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus laeta</i> Liebm.	Dgo.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	Hgo. Pue. Tlax.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus rugosa</i> Née	Dgo. Hgo. Pue. Tlax.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus saltillensis</i> Trel.	Coah.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus sideroxylla</i> Bonpl.	Chih. Dgo. Zac.	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus tuberculata</i> Liebm.	Chih.	

Pr: sujeta a protección especial, A: amenazada; P: peligro de extinción.

Estructura horizontal

El Índice de Valor de Importancia (IVI) permite conocer la estructura horizontal y dinámica del bosque y muestra las especies más adaptadas y de mayor relevancia ecológica en una comunidad (Matteucci y Colma, 1982; Lamprecht, 1990). A nivel nacional en la provincia de la

Faja Volcánica Transmexicana en Puebla y Tlaxcala *Pseudotsuga menziesii* presentó los valores más altos de IVI, con cifras superiores al 50% (Figura 3), la segunda especie más relevante en estos Estados fue *Quercus laurina* con valores de 16.28 y 18.93%, respectivamente, la alta dominancia de *Pseudotsuga* refleja una mejor adaptación a las condiciones ambientales de estos hábitats e inhibe el establecimiento de otras especies. En Querétaro *Pseudotsuga* y *Quercus greggii* fueron las especies más relevantes con aproximadamente un 27% cada una.

En la región de la SMO en los estados de Chihuahua y Durango *Pseudotsuga menziesii* registra valores similares con 27.04 y 29.11% de IVI, en Chihuahua las especies de pino más representativas son *Pinus arizonica* (16.13%) y *Pinus strobiformis* (9.39%), y en Durango es *Pinus durangensis* con 8.60%; en ambas entidades la especie más relevante de encino es *Quercus sideroxyla* con un IVI del 10.62 y 21.09% respectivamente. En Zacatecas los taxones más importantes son *Quercus sideroxyla* con 35.82%, *Pseudotsuga menziesii* con 33.09% y *Quercus eduardii* con 12.19%. En esta provincia fisiográfica la competencia entre especies es más equilibrada, ya que ninguna presentó más del 40% del Índice de Valor de Importancia (Guzmán-Lucio, 2009), en esta región los valores de IVI muestran que existe una mayor heterogeneidad estructural del bosque (Zhang *et al.*, 2015; Tan *et al.*, 2017; Noulèkoun *et al.*, 2021).

A diferencia de las otras provincias fisiográficas, en la SMOR la especie dominante es *Abies vejarii*, con un IVI que oscila entre 35 y 55%, y *Pseudotsuga menziesii* es la especie codominante con valores de 20 a 41%, estas dos especies son las mejor adaptadas en estas comunidades y en conjunto representan el 55.82, 73.69 y 97.13% del valor de importancia total para Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas, respectivamente.

El género *Abies* es uno de los que con mayor frecuencia convive con *Pseudotsuga menziesii*, se presenta en todas las entidades federativas con excepción de Zacatecas. En Chihuahua y Durango se asocia principalmente con *Abies durangensis* (Moreno-Valdez *et al.*, 2018; García-García *et al.*, 2020); en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas con *Abies vejarii* (González Cubas, 2019) y en Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Querétaro con *Abies religiosa* (Domínguez Álvarez. *et al.*, 2004; Ventura-Ríos *et al.*, 2010; Guerra-De la Cruz *et al.*, 2012); otra especie común en estos bosques es *Pinus strobiformis*, lo que es similar a lo documentado por González-Elizondo *et al.*, (2012). Lo anterior, se debe a que comparten condiciones ecológicas similares en las partes altas de las montañas en zonas húmedas y sombrías con pendientes pronunciadas y exposiciones hacia el norte (Ledig *et al.*, 2000); (Aguirre-Calderón *et al.*, 2003) (Rzedowski, 2006), lo que propicia una mayor disponibilidad de nutrientes y alta humedad atmosférica y del suelo, debido a un menor déficit hídrico y evapotranspiración, por la menor insolación solar y bajas temperaturas (López-Gómez *et al.*, 2012).

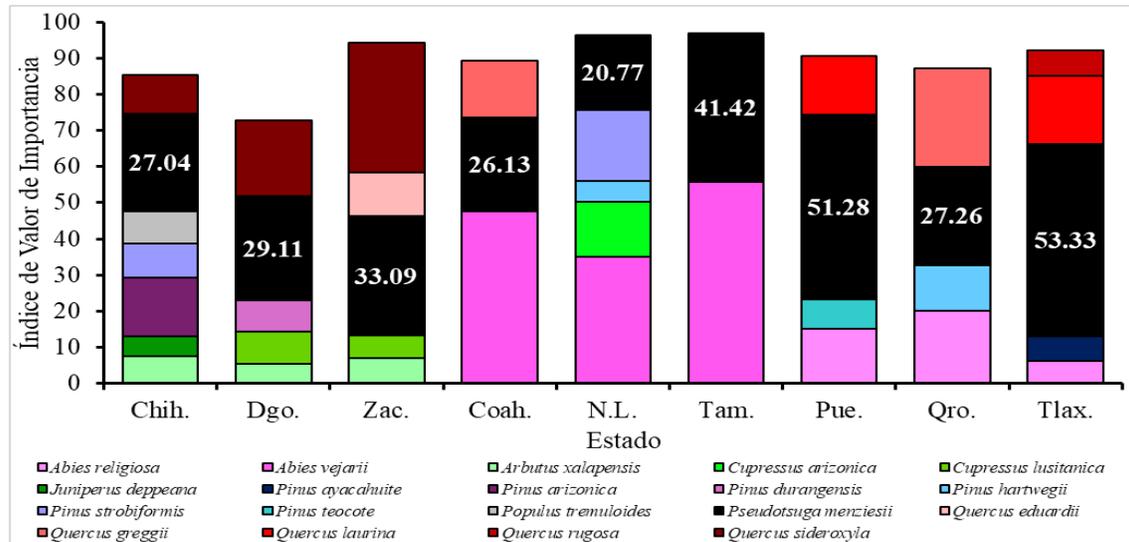


Figura 3. Índice de Valor de Importancia de las comunidades de *Pseudotsuga* a nivel estatal (la gráfica no contiene especies que registraron un valor menor al 5% del IVI en cada Estado).
Figure 3. Importance Value Index of *Pseudotsuga* communities at the state level (the graph does not include species with an IVI value less than 5% in each state).

Domínguez-Álvarez *et al.*, (2004) señalan que a nivel nacional *Pseudotsuga menziesii* no es la especie dominante en las comunidades donde habita; sin embargo, los resultados del presente estudio muestran, que existen localidades en Puebla, Tlaxcala, Tamaulipas, Chihuahua, Durango y Coahuila donde *Pseudotsuga menziesii* es la de mayor importancia (Tabla 1).

Índices de diversidad

A nivel Estatal el índice Shannon-Wiener (H') indica que existe una baja y media diversidad en el estrato arbóreo de las comunidades de *Pseudotsuga* con valores de H' que oscilan entre 0.80 y 2.23, estos valores de H' coinciden con los reportados en distintos bosques templados (Sullivan *et al.*, 2000; Battles *et al.*, 2001; Liang *et al.*, 2007; Crotteau *et al.*, 2013; Peter y Harrington, 2018; Holguín-Estrada *et al.*, 2021; Villela-Suárez *et al.*, 2021; López-Serrano *et al.*, 2022; Peláez-Mora *et al.*, 2022). El índice de Pielou (J) en Coahuila y Tamaulipas presentan los valores más bajos de equidad con 0.41 y 0.58, debido a que en estos bosques *Abies vejarii* y *Pseudotsuga menziesii* presentan una alta dominancia en sus abundancias relativas, a diferencia de las demás entidades donde existe una alta equidad con valores superiores al 0.70 (Tabla 5).

De acuerdo con la prueba de t (Hutcheson) se encontró que existe diferencia significativa de diversidad en los bosques analizados de *Pseudotsuga*; Chihuahua con H' de 2.24 y Durango con H' de 2.22 fueron los de mayor valor y mostraron diferencia significativa con los demás Estados. En general la baja diversidad de estos bosques puede deberse a que se localizan en las partes altas de la sierra y de acuerdo con Boyle (1996); Alvizu-Díaz (2004); Encina-Domínguez *et al.*, (2008); Botero-Arias (2011) la diversidad y riqueza de árboles disminuye conforme aumenta la altitud; otros factores que inciden son la sucesión natural, actividades antrópicas, mecanismos de adaptación y factores biofísicos.

Con los valores obtenidos de diversidad verdadera se comparó la magnitud de la diferencia significativa que hay en los bosques estudiados; Chihuahua con 9.36 especies efectivas es 1.75 veces más diverso que Nuevo León que ocupó el tercer lugar y 4.21 veces más que Tamaulipas que registró el menor valor (Tabla 5).

Tabla 5. Índices de diversidad y prueba de t de Hutcheson.
Table 5. Diversity indices and Hutcheson's t-test.

Estado	H'	índice de Pielou (J)	Diversidad verdadera	Prueba t de Hutcheson
Chih.	2.24	0.82	9.36	a
Dgo.	2.22	0.83	9.23	a
N.L.	1.67	0.76	5.33	b
Qro.	1.66	0.76	5.28	b
Zac.	1.58	0.76	4.86	c
Coah.	1.45	0.41	4.27	d
Tam.	0.80	0.58	2.22	e

Índice de similitud Morisita-Horn

De acuerdo con el índice cuantitativo de Morisita se formaron tres grupos que corresponden a las provincias fisiográficas SMOR, SMO y FVTM (Figura 4); las localidades de la SMOR forman un grupo con una afinidad mayor al 75%, Coahuila y Tamaulipas presentaron el valor más alto con 97%. En la SMO los Estados analizados muestran una semejanza aproximada del 70%; y en la FVTM Puebla y Tlaxcala tienen una similitud superior al 98%. Los altos valores de afinidad dentro de cada provincia posiblemente se deben a las condiciones biofísicas similares que existen en las mismas.

Por otra parte, existe una semejanza de 55% y 44% de la SMO y SMOR con la FVTM respectivamente, lo que probablemente se deba a la conectividad que existe entre estas cordilleras, sin embargo, el valor más bajo se presentó entre la SMO y SMOR con un 35%. Estos resultados difieren a los reportados por Vargas-Hernández *et al.*, (2003) quienes señalan una baja similitud entre regiones con un valor máximo de 13% entre la provincia SMOR y SMO, y un valor mínimo de 5% en el SMOR y FVTM.

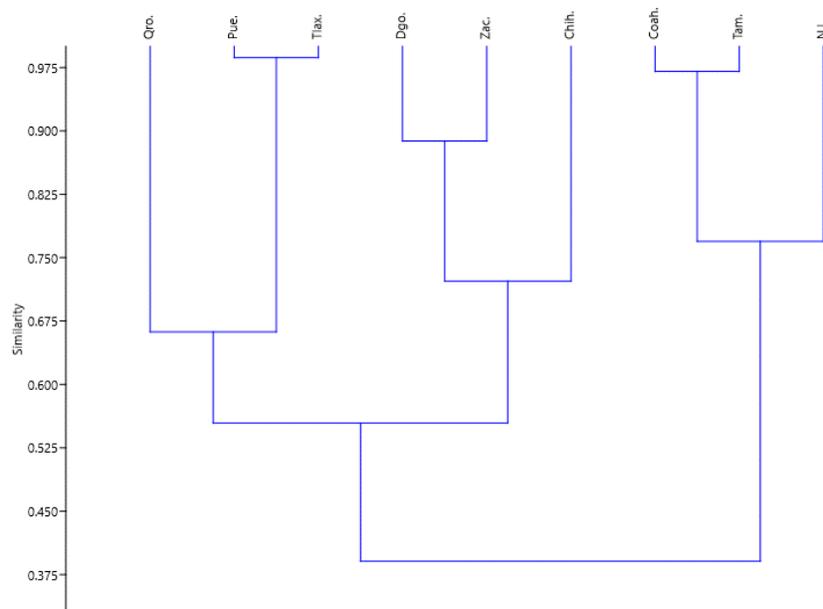


Figura 2. Índice de similitud de Morisita-Horn a nivel nacional en bosques de *Pseudotsuga menziesii*.
Figure 2. Morisita-Horn similarity index at the national level in *Pseudotsuga menziesii* forests.

CONCLUSIONES

Las comunidades de *Pseudotsuga menziesii* se distribuyen de manera discontinua en las partes altas de las montañas en hábitats especializados, conformados por diversas especies endémicas y/o en alguna categoría de riesgo, estos bosques son parte importante de la riqueza florística, genética y ecosistémica de México, y se consideran Áreas de Alto Valor de Conservación. Existe heterogeneidad en la estructura, composición, diversidad y similitud entre las diferentes provincias fisiográficas, presentándose la mayor diversidad en los estados de Chihuahua y Durango, lo que favorece una mayor variedad de hábitats y nichos ecológicos, y por consecuencia un mejor funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas. La evaluación y monitoreo de las actividades antrópicas y cambio climático en la composición, estructura y funcionamiento de estos bosques es trascendental para una mejor gestión y conservación de estas áreas, y así mantener o mejorar la calidad y cantidad de los servicios ambientales que proporcionan a la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento por las observaciones, recomendaciones y aportaciones proporcionadas por los diversos revisores, mismas que fueron de gran ayuda para mejorar la calidad de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Kramer, H., & Akça, A. (2003). Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, 6(2), 219–225. <https://doi.org/http://eprints.uanl.mx/1220/1/analisisecosistemas.pdf>
- Alvizu Díaz, P. E. (2004). *Complejidad y respuesta funcional de la vegetación de páramo a lo largo de gradientes altitudinales* [Doctoral]. Universidad de los Andes.
- Battles, J. J., Shlisky, A. J., Barrett, R. H., Heald, R. C., & Allen-Diaz, B. H. (2001). The effects of forest management on plant species diversity in a Sierran conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 211–222. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00463-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00463-1)
- Blancarte-Contreras, E., Corral-Rivas, S., Domínguez-Gómez, T. G., Lujan-Soto, J. E., Goche-Télles, J. R., & Montiel-Antuna, E. (2022). Improving the Physical, Mechanical and Energetic Characteristics of Pine Sawdust by the Addition of up to 40% Agave durangensis Gentry Pellets. *Energies*, 15(10), 3711. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15103711>
- Botero Arias, M. A. (2011). *Estructura de las comunidades de mamíferos carnívoros en un gradiente altitudinal en el estado de Oaxaca, México* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/173
- Boyle, B. L. (1996). *Changes on altitudinal and latitudinal gradients in Neotropical montane forests* [Doctoral degree]. Washington University.
- Bridgeland, W. T., Beier, P., Kolb, T., & Whitham, T. G. (2010). A conditional trophic cascade: Birds benefit faster growing trees with strong links between predators and plants. *Ecology*, 91(1), 73–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/08-1821.1>
- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, 98(3), 572–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.3732/ajb.1000364>

- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). *Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad* (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad., Ed.; Vol. 1).
- Chávez-Aguilar, G., Pérez-Suárez, M., Gayosso-Barragán, O., López-López, M. Á., & Ángeles-Pérez, G. (2022). El manejo forestal acelera la acumulación de biomasa aérea en un bosque templado del centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 29(1), 15–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.014>
- CONAFOR. (2014). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009 – 2014. Informe de resultados*. <https://snmf.cnf.gob.mx/principalesindicadoresforestalesciclo-2009-2014/>
- CONAFOR. (2018). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de resultados 2009 – 2014*.
- CONAFOR. (2021). *Estado que guarda el sector forestal en México. Bosques para el bienestar social y climático*.
- CONANP. (2017). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Cerro Mohinora* (1st ed.).
- Crotteau, J. S., Varner, J. M., & Ritchie, M. W. (2013). Post-fire regeneration across a fire severity gradient in the southern Cascades. *Forest Ecology and Management*, 287, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.022>
- Dávila-Lara, M. A., Aguirre-Calderón, O. A., Jurado-Ybarra, E., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M. A., & Trincado-Villagrán, G. F. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18). <https://doi.org/https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2112>
- Delgado-Zamora, D. A., Heynes-Silerio, S. A., Mares-Quinones, M. D., Piedra-Leandro, N. L., Retana-Rentería, F. I., Rodríguez-Corral, K., Villanueva-Hernández, A. I., González-Elizondo, M. del S., & Ruacho-González, L. (2016). Diversidad y estructura arbórea de dos rodales en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 94–107.
- Domínguez Álvarez., F. A., Vargas Hernández., J. J., López Upton., J., Ramírez Vallejo., P., & Guízar Nolazco., E. (2004). Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. *Anales Del Instituto de Biología*, 75(2), 191–203. <https://doi.org/http://revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/14656>
- Domínguez Álvarez, F. A., Vargas Hernández, J. J., López Upton, J., Ramírez Vallejo, P., & Guízar Nolazco, E. (2004). Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. *Anales Del Instituto de Biología*, 75(2), 191–203.
- Domínguez-Calleros, P. A., Chávez-Flores, G. A., Rodríguez-Téllez, E., Corral-Rivas, J. J., Goche-Telles, J. R., & Díaz-Vázquez, M. A. (2014). Caracterización silvícola de *Pseudotsuga menziesii* en la reserva de la biosfera “La Michilía.” *Madera y Bosques*, 20(2), 23–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2014.202161>
- Encina-Domínguez, J. A., Encina-Domínguez, F. J., Mata-Rocha, E., & Valdes-Reyna, J. (2008). Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 83, 13–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.17129/botsci.1785>
- Estrada-Valdés, G. (2018). *Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y composición de un bosque templado del Estado de México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/95196>
- FAO. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. FAO and UNEP. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- García-García, S. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., Treviño-Garza, E. J., & Graciano-Ávila, G. (2020). Contenido de carbono y estructura horizontal de un bosque templado en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.800>

- García-García, S. A., Narváez-Flores, R., Olivas-García, J. M., & Hernández-Salas, J. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>
- Gobierno del Estado de Chihuahua. (2013). *Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación del Estado de Chihuahua, escala 1:50,000* (Secretaría de Desarrollo Rural Dirección de Desarrollo Forestal, Ed.).
- González C., R., Treviño G., E. J., González T., M. A., Duque M., Á., & Gómez C., M. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 36–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>
- González Cubas, R. (2019). *Evaluación del estado actual de las poblaciones de Abies vejarii Martínez en el noreste de México* [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- González Elizondo, M. S., González Elizondo, M., Tena Flores, J. A., Ruacho González, L., & López Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351–403.
- González-Cubas, R. (2019). *Evaluación del estado actual de las poblaciones de Abies vejarii Martínez en el noreste de México* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/19611/>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Márquez-Linares. M. A. (2007). *Vegetación y ecorregiones de Durango* (Plaza y Valdés Editores-Instituto Politécnico Nacional, Ed.).
- 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/https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Guerra-De la Cruz, V., López-Domínguez, J. C., López-Upton, J., Bautista-Sampayo, C., & Hernández-García, L. (2012). Estructura silvícola de poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Tlaxcala y Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(13), 73–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.490>
- Guzmán-Lucio, M. A. (2009). *Distribución, sistemática, y algunos aspectos ecológicos del mezquite Prosopis spp. (L.) en el estado de Nuevo León, México* [Tesis de doctorado]. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Holguín-Estrada, V. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., Yerena-Yamalle, J. I., & Pequeño-Ledezma, M. Á. (2021). Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722123>
- Hutcherson, K. (1970). “A test for comparing diversities based on the shannon formula.” *Journal of Theoretical Biology*, 29(1), 151–154. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-5193\(70\)90124-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-5193(70)90124-4)
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. (Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Ed.). <http://www.worldcat.org/title/silvicultura-en-los-tropicos-los-ecosistemas-forestales-en-los-bosques-tropicales-y-sus-especies-arboreasposibilidades-y-metodos-para-un-aprovechamiento-sostenido/oclc/503255833>
- Lavender, D. P., & Hermann, R. K. (2014). *Douglas-fir: The Genus Pseudotsuga* (Forestry Research Publications Office, Ed.). <https://ir.library.oregonstate.edu/concern/defaults/sf268560k>
- Ledig, F. T., Mápula-Larreta, M., Bermejo-Velázquez, B., Reyes-Hernández, V., Flores-López, C., & Capó-Arteaga, M. A. (2000). Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño*, 71–88.

- Leitner, W., & Turner, W. R. (2001). Measurement and Analysis of Biodiversity. In *Encyclopedia of Biodiversity* (Vol. 4, pp. 123–144). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02385-2>
- Liang, J., Buongiorno, J., Monserud, R. A., Kruger, E. L., & Zhou, M. (2007). Effects of diversity of tree species and size on forest basal area growth, recruitment, and mortality. *Forest Ecology and Management*, 243(1), 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.028>
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453–457. <https://doi.org/10.17129/botsci.473>
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-González, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla. *Madera y Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- López-Sánchez, J. Á., Méndez-González, J., Zermeño-González, A., Cerano-Paredes, J., & García-Aranda, M. A. (2017). Impacto de descortezadores en el incremento radial de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Amp; Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 82–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i41.27>
- López-Serrano, P. M., Vega-Nieva, D. J., Corral-Rivas, J. J., Briseño-Reyes, J., & Antúnez, P. (2022). Diversidad e importancia ecológica de la vegetación arbórea en el Parque El Tecuán en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 34–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1273>
- Lozada-Dávila, J. R. (2010). Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 77–88.
- Luna, I., Morrone, J., & Espinosa, D. (2004). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. UNAM-CONABIO.
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press.
- Margalef, R. (1972). *Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity*. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación* (Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía (22), Ed.).
- Méndez-Osorio, C. (2018). *Estructura y composición de especies arbóreas en bosques templados de la sierra madre del sur, México* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/16796/>
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González-Elizondo, M. del S. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421569>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. Manual y tesis SEA* (U. y S. Cooperación Iberoamericana, Ed.; Vol. 1).
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745>
- Moreno-Valdez, M. E., Domínguez-Gómez, T. G., Alvarado, M. del S., Colín, J. G., Corral-Rivas, S., & González-Rodríguez, H. (2018a). Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 70–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.180>
- Moreno-Valdez, M. E., Domínguez-Gómez, T. G., Alvarado, M. del S., Colín, J. G., Corral-Rivas, S., & González-Rodríguez, H. (2018b). Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 70–93. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.180>

- Morisita, M. (1959). Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Memories Faculty Of Science Kyushu University Series E Biology*, 3, 65–80.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)*.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Barrera-Ramírez, R., Gómez-Cárdenas, M., & Hernández-Ramos, J. (2022). Selección de árboles superiores de *Pinus pseudostrobus*, altamente productores de resina en Michoacán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3334>
- Noulèkoun, F., Birhane, E., Mensah, S., Kassa, H., Berhe, A., Gebremichael, Z. M., Adem, N. M., Seyoum, Y., Mengistu, T., Lemma, B., Hagazi, N., & Abrha, H. (2021). Structural diversity consistently mediates species richness effects on aboveground carbon along altitudinal gradients in northern Ethiopian grazing exclosures. *Science of The Total Environment*, 776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145838>
- Peláez-Mora, R., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Estructura forestal y análisis de suelos en un programa de pago por servicios ambientales en la cuenca del río Nazas. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 87. <https://doi.org/https://doi.org/10.33064/iycaua2022873741>
- Peter, D. H., & Harrington, T. B. (2018). Effects of forest harvesting, logging debris, and herbicides on the composition, diversity and assembly of a western Washington, USA plant community. *Forest Ecology and Management*, 417, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.045>
- Ramírez-Santiago, R., Ángeles-Pérez, G., Hernández-de La Rosa, P., Cetina-Alcalá, V. M., Plascencia-Escalante, O., & Clark-Tapia, R. (2019). Efectos del aprovechamiento forestal en la estructura, diversidad y dinámica de rodales mixtos en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531818>
- Rodríguez-Pacheco, A., Palacios Rangel, M. I., Mohedano Caballero, L., & Villanueva Morales, A. (2023). Estructura y diversidad arbórea de un bosque de pino-encino en Huiztlatzala, Guerrero, México. *Polibotánica*, 55, 25–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.18387/polibotanica.55.3>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México, México* (Limusa S. A., Ed.; 1st ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez-González, A. (2016). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107–120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Spellerberg, I. (2005). *Monitoring ecological change* (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Sullivan, T. P., Sullivan, D. S., & Lindgren, P. M. F. (2000). Small mammals and stand structure in young pine, seed-tree, and old-growth forest, southwest Canada. *Ecological Applications*, 10(5), 1367–1383.
- Tan, S., Wang, R., Gong, X., Cai, J., & Shen, G. (2017). Scale dependent effects of species diversity and structural diversity on aboveground biomass in a tropical forest on Barro Colorado Island, Panama. *Biodiversity Science*, 25(10), 1054–1064. <https://doi.org/10.17520/biods.2017155>
- Thompson, I. (2011). Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*, 62(238), 25–30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3925424>
- Valencia, A., S., (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 75, 33–53.
- Vargas-Hernández, J., López-Upton, J., Reyes-Hernández, V. J., Domínguez-Álvarez, F. A., & Mapula-Larreta, M. (2003). *Natural populations of Douglas-fir in Mexico: current status and needs for conservation*. J Beaulieu, ed. *Silviculture and the conservation of genetic resources for sustainable forest management: proceedings of the symposium of*

Recibido:
6/julio/2023

Aceptado:
8/enero/2024

- the North American forest commission, forest genetic resources and silviculture working groups, and the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)*. (pp. 26–36).
- Ventura-Ríos, A., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., & Guerra-de la Cruz, V. (2010a). Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el centro de México. Implicaciones para su conservación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 107. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.2.107>
- Villagómez Loza, M. A., & Bello González, M. A. (2018). *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *glauca* (Beissn.) Franco: nuevo registro para Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 66–73. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.208>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 25(88), 5–36.
- Villela-Suárez, J. M., Geraldine García-Espinoza, G., Marroquín-Castillo, J. J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Alanís-Rodríguez, E. (2021). Composición y diversidad arbórea de un bosque de coníferas en el suroeste de Chihuahua, México. *E-CUCBA*, 9(17), 96–103. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.217>
- Zavala-Chávez, F. (1998). Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*, 8, 47–64.
- Zhang, Y., Chen, H. Y. H., & Coomes, D. (2015). Individual size inequality links forest diversity and above-ground biomass. *Journal of Ecology*, 103(5), 1245–1252. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12425>

EFEECTO DE LA ALTITUD, ORIENTACIÓN Y PENDIENTE DEL TERRENO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE MACROMICETOS EN UN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO EN LA COSTA DE OAXACA, MÉXICO

EFFECT OF ALTITUDE, ORIENTATION AND TERRAIN SLOPE ON THE DISTRIBUTION OF MACROFUNGI IN A TROPICAL DECIDUOUS FOREST IN THE OAXACA COAST, MEXICO

**Villarruel-Ordaz, J.L.; G. Valera-Venegas; R. Garibay-Orijel; J. Álvarez-Manjarrez;
L.D. Maldonado-Bonilla y A.C. Sánchez-Espinosa**

**EFEECTO DE LA ALTITUD, ORIENTACIÓN Y PENDIENTE DEL TERRENO SOBRE LA
DISTRIBUCIÓN DE MACROMICETOS EN UN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO EN
LA COSTA DE OAXACA, MÉXICO**

**EFFECT OF ALTITUDE, ORIENTATION AND TERRAIN SLOPE ON THE
DISTRIBUTION OF MACROFUNGI IN A TROPICAL DECIDUOUS FOREST IN THE
OAXACA COAST, MEXICO**



Efecto de la altitud, orientación y pendiente del terreno sobre la distribución de macromicetos en un bosque tropical caducifolio en la costa de Oaxaca, México

Effect of altitude, orientation and terrain slope on the distribution of macrofungi in a tropical deciduous forest in the Oaxaca coast, Mexico

Villarruel-Ordaz, J.L.;
G. Valera-Venegas;
R. Garibay-Orijel;
J. Álvarez-Manjarrez;
L.D. Maldonado-Bonilla
y A.C. Sánchez-Espinosa

EFFECTO DE LA ALTITUD,
ORIENTACIÓN Y
PENDIENTE DEL TERRENO
SOBRE LA DISTRIBUCIÓN
DE MACROMICETOS EN
UN BOSQUE TROPICAL
CADUCIFOLIO EN LA
COSTA DE OAXACA,
MÉXICO

EFFECT OF ALTITUDE,
ORIENTATION AND
TERRAIN SLOPE ON THE
DISTRIBUTION OF
MACROFUNGI IN A
TROPICAL DECIDUOUS
FOREST IN THE OAXACA
COAST, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 81-105. Enero 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.57.5

José Luis Villarruel-Ordaz / jospetardo@hotmail.com

Instituto de Genética, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca

Gricelda Valera-Venegas

Instituto de Recursos, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca

Roberto Garibay-Orijel

*Laboratorio de Sistemática y Ecología de Micorrizas, Instituto de Biología,
UNAM, Cdmx*

Julieta Álvarez-Manjarrez

Laboratorio de Micología Integral, Instituto de Biología, UNAM, Cdmx

Luis David Maldonado-Bonilla

Cátedras CONAHCYT, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca

Ana Claudia Sánchez-Espinosa

Instituto de Genética, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca

RESUMEN: Los hongos macroscópicos, dada su extraordinaria diversidad y capacidad de adaptación a diversos sustratos, desempeñan funciones ecológicas cruciales en los ecosistemas. No obstante, su desarrollo está fuertemente condicionado por la interacción de factores ambientales. La comprensión de esos factores y su impacto en la distribución de los hongos es esencial para entender su dinámica ecológica. Con el fin de conocer cómo se distribuyen estos organismos bajo ciertos factores topográficos, se llevó a cabo un análisis de la riqueza de macromicetos en un bosque tropical caducifolio en la costa de Oaxaca, considerando los hábitos eco-nutricionales y el sustrato donde se desarrollan, en respuesta a la altitud, pendiente y orientación del terreno.

El estudio consistió en realizar una revisión de una base de datos de campo de 251 muestras biológicas que representan 169 especies de hongos macroscópicos registradas en la Unidad de Manejo Ambiental para la Conservación de la Vida Silvestre "Jardín Botánico-Puerto Escondido". La revisión permitió determinar la forma de vida (parásita, mutualista micorrícica, saprobia) y las preferencias de sustrato (lignícola, húmicola, terrícola, parásito entomopatógeno) de cada uno de los especímenes. Para conocer las características topográficas de los sitios donde fueron recolectados los ejemplares, se diseñaron mapas de altitud, pendiente y exposición solar en los cuales se posicionaron las coordenadas geográficas registradas en la base de datos de cada una de las muestras de estudio.

Los resultados revelan un predominio de la forma de vida saprobia en este bosque tropical caducifolio, con una marcada preferencia por sustratos edáficos. Además, más del 50% de las especies analizadas mostraron una tendencia por coexistir en laderas con pendientes medianas y suaves, orientadas hacia el norte y a altitudes que oscilan entre los 120 y 140 m.

El estudio resalta las complejas interacciones entre la diversidad de macromicetos, sus preferencias nutricionales en relación con la altitud, pendiente y orientación del terreno. Se provee información relevante que puede ser utilizada en estrategias de

manejo y conservación de recursos, ubicando los sitios con mayor riqueza de especies dentro de la zona de estudio.

Palabras clave: Macromicetos, bosque tropical caducifolio, parámetros topográficos, patrones de distribución, formas de vida, preferencias de sustrato.

ABSTRACT: Macrofungi, with their extraordinary diversity and ability to adapt to various substrates, play crucial ecological roles in ecosystems. However, their development is strongly influenced by the interaction of several environmental factors. Understanding these factors and their impact on the distribution of fungi is essential to understand their ecological dynamics. To obtain data how these organisms are distributed under certain topographic factors, an analysis of the species richness of macrofungi was carried out in a tropical deciduous forest on the coast of Oaxaca, taking both the eco-nutritional habits and substrate on which, they develop in response to altitude, slope and terrain orientation.

A review was conducted of a field database of 251 biological samples representing 169 species of macrofungi registered in the Environmental Management Unit for the Conservation of Wildlife "Jardín Botánico-Puerto Escondido". The review was used to assigned a life form (parasitic, mutualistic micorrhiza, saprotrophic) and substrate preferences (lignicolous, humicolous, terricolous, entomopathogenic parasite). To understand the topographic characteristics of the collection sites, maps of altitude, slope and solar exposure were designed in which the geographical coordinates recorded in the database for each study sample were plotted.

The results reveal a predominance of saprotrophic life form in this tropical deciduous forest, with a marked preference for edaphic substrates. In addition, more than 50% of the species analyzed show a tendency to coexist on moderate to gentle slopes, oriented to the north, and at altitudes ranging from 120 to 140 m.

This study highlights the complex interactions between the diversity of macroscopic fungi, their nutritional preferences and their relationship with altitude, slope, and terrain orientation.

Relevant information is provided that can be used in resource management and conservation strategies, by identifying sites within the study area with the greatest species richness.

Key words: Macromycetes, deciduous tropical forest, topographic parameters, distribution patterns, life forms, substrate preferences.

INTRODUCCIÓN

Los hongos son reconocidos como un grupo muy exitoso desde la perspectiva ecológica. La variedad de roles que desempeñan resulta fundamental para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas, ya que su participación contribuye de manera significativa a la resiliencia y salud general de los mismos (Caiafa *et al.*, 2017; Niego *et al.*, 2023). Esa diversidad de funciones toma mayor relevancia si se considera que son el segundo grupo más diverso de eucariotas en el planeta (Purvis & Hector, 2000), y de acuerdo con las estimaciones más aceptadas, su número oscila entre los 2.2 a 3.8 millones de especies (Hawksworth & Lücking, 2017).

Para subsistir y desarrollarse, los hongos obtienen sus nutrientes a través de tres vías distintas las cuales se denominan hábitos eco-nutricionales o formas de vida (Aiartagueña *et al.*, 2016). Los simbioses mutualistas, en especial las especies que forman ectomicorrizas, son comúnmente consideradas como organismos edáficos, ya que es en el suelo donde interactúan con las raíces de las plantas para obtener nutrientes y contribuir al crecimiento y salud de muchas especies arbóreas. Las especies que son parásitas tienen requerimientos nutricionales muy diversos; las formas patógenas infectan animales regulando sus poblaciones, o parasitando plantas lo cual afecta de forma negativa su desarrollo. En las especies saprobias los requerimientos nutricionales son más complejos pues el sustrato puede ser de origen animal o vegetal, por ejemplo, hojarasca, detritos disueltos en el suelo y madera, llamados respectivamente, humícolas, terrícolas y lignícolas; en estos últimos, incluyendo los que se nutren de celulosa (lignocelulósicos) (Montoya *et al.*, 2010). Este gremio se encarga de

degradar la materia orgánica muerta, jugando un rol fundamental en el reciclado de nutrientes y en la formación de suelos.

Los macromicetos son muy sensibles a las condiciones ambientales y su diversidad, abundancia y distribución dentro de un ecosistema determinado esta influenciada por diversos factores. Parámetros como la pendiente del terreno, la exposición a la luz solar, la disponibilidad de recursos y la altitud impactan de manera directa. Más aún, la interacción compleja de esos factores crea un mosaico de microambientes que, a su vez, moldea las comunidades fúngicas (Hu *et al.*, 2022; Mazzola *et al.*, 2008; Pinna *et al.*, 2010).

En el estado de Oaxaca se han realizado algunos estudios sobre la distribución de macromicetos en respuesta a ciertos parámetros ecológicos (Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2020; Vázquez-Mendoza, 2008, 2012), permitiendo comprender un poco más la dinámica de los hongos (Díaz-Moreno *et al.*, 2005); no obstante, para la costa de Oaxaca, ese tipo de estudios son nulos y los pocos trabajos que existen están enfocados a cuantificar la diversidad de especies. Como resultado de esos trabajos se sabe que a la fecha se han registrado 198 especies de hongos macroscópicos (Raymundo *et al.*, 2022; Villarruel-Ordaz *et al.*, 2021). Uno de los principales tipos de vegetación que se presenta en la región costa de Oaxaca es el Bosque Tropical Caducifolia (BTC), el cual se caracteriza por un estrato arbóreo que tira sus hojas durante una marcada temporada seca (Challenger & Soberón, 2008); sin embargo, el conocimiento que existe sobre la diversidad de macromicetos asociados a este tipo de vegetación en la costa de Oaxaca es escaso, y la limitada comprensión que poseemos sobre los hongos tropicales en general resalta la necesidad de llevar a cabo investigaciones que contribuyan a establecer patrones de distribución, y de este modo enriquecer nuestra percepción de su función ecológica. Los hongos requieren de condiciones precisas para desarrollarse; la diversidad y distribución de especies depende de la combinación de ciertos factores, por consiguiente, para comprender un poco más dicho fenómeno se planteó analizar la riqueza de especies de macromicetos en un BTC de la costa de Oaxaca, considerando el sustrato y los hábitos eco-nutricionales, así como la respuesta a la combinación de factores topográficos como la altitud, exposición a la luz solar y la pendiente del terreno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de estudio fue la Unidad de Manejo Ambiental para la Conservación de Vida Silvestre “Jardín Botánico Puerto Escondido” (UMA-JBPE) de la Universidad del Mar; la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 239 de la Carretera Federal 131 Sola de Vega-Puerto Escondido, en el municipio de San Pedro Mixtepec, Distrito de Juquila, Oaxaca. Se sitúa entre las coordenadas N 15°54'14.75", 15°55'1.06" y O 97°04'52.93", 97°04'29.21", a una altitud entre 80 y 145 m s. n. m (Figura 1a).

Su relieve está constituido por lomeríos suaves a pronunciados y pequeñas cañadas con pendientes fuertes a muy escarpadas, pero predominan las áreas planas a muy onduladas. Los tipos de suelos que se reportan son feozems, leptosoles y regosoles eútricos. Se presenta un clima cálido subhúmedo (Aw) con lluvias en verano de cuatro meses y sequía por el resto del año con temperatura promedio de 27 °C. El tipo de vegetación que existe es el BTC en donde destacan especies de las familias Anacardiaceae, Asteraceae, Burseraceae, Cactaceae, Fabaceae, Malpighiaceae y Rubiaceae, entre otras (INEGI, 2004, 2007, 2013a).

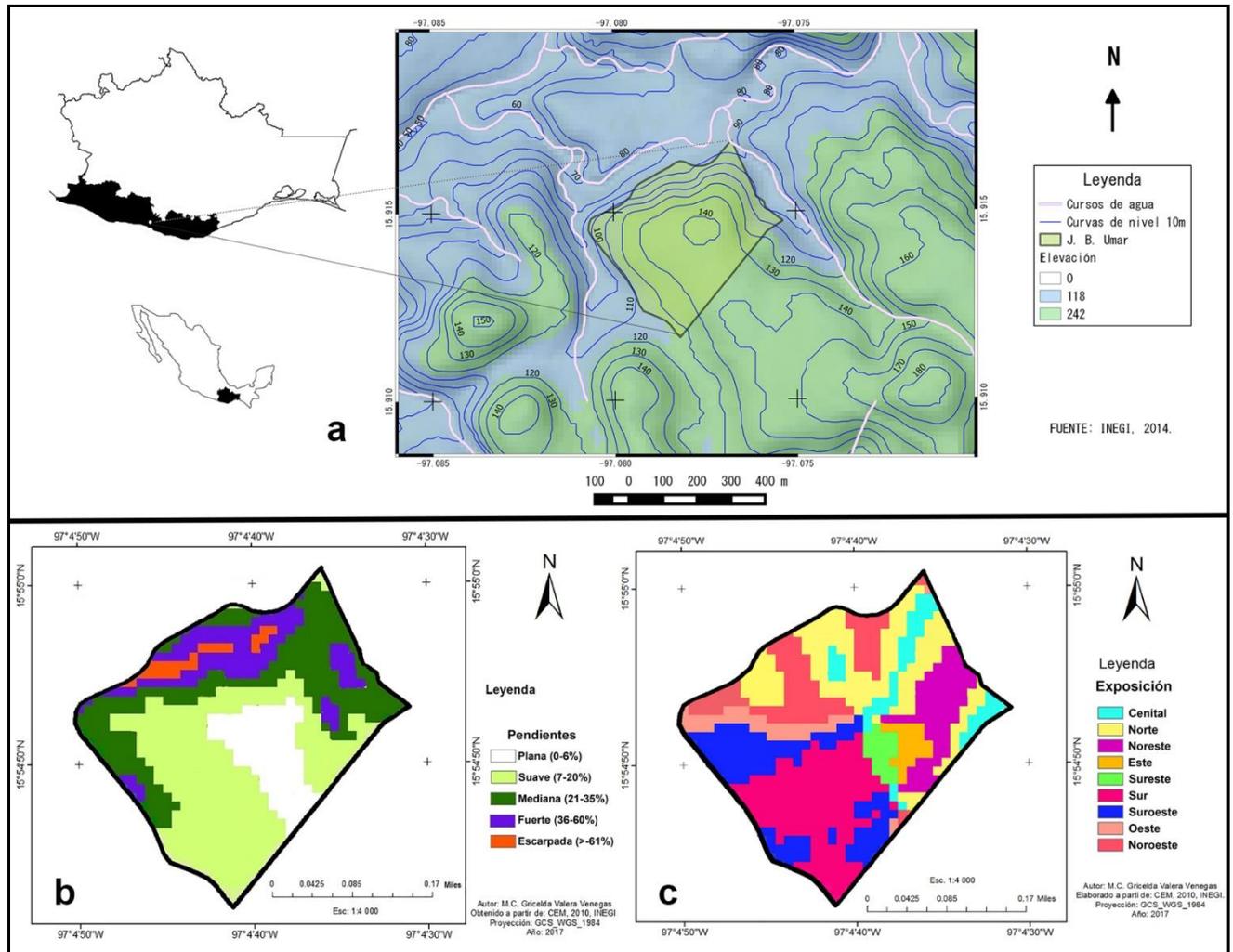


Figura 1. Ubicación geográfica de la UMA-JBPE. a: mapa de relieve y altitud; b: pendientes del terreno; c: orientación de la superficie.

Figure 1. Geographical location of UMA-JBPE. a: relief and altitude map; b: terrain slopes; c: surface orientation.

Recopilación de datos y mapeo

Se trabajó con un total de 251 muestras de macromicetos, los cuales fueron recolectados por el primer autor realizando recorridos aleatorios dentro de la zona de estudio durante la temporada de lluvias de los años 2007 al 2020. Los ejemplares están registrados en una base de datos de campo y depositados en el Laboratorio de Colecciones Biológicas de la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido (LCB-UMAR). A partir de la revisión de la base de datos se obtuvo información de los especímenes sobre el sustrato de preferencia, así como las coordenadas geográficas de donde fue recolectado, las cuales fueron determinadas en su momento con un geoposicionador Garmin eTrex Vista HCX a una resolución de ± 5 m.

Se elaboraron mapas de altitud, pendiente y exposición solar a partir de un análisis espacial del área en Quantum GIS Wien versión 2.8.1. de código libre. Se utilizó una porción del Continuo de Elevaciones 3.0 (CEM 3.0 resolución 15 m), y datos de referencia como vías terrestres y causes de ríos y arroyos, así como cartografía temática de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V (INEGI, 2013b, 2013a) (Figura 1a-c). Las características topográficas de los sitios donde fueron recolectados los ejemplares de estudio se determinaron posicionando las

coordenadas geográficas de cada espécimen registradas en la base de datos en los mapas topográficos previamente elaborados.

Toda la información recopilada de la base de datos de campo y del mapeo de las coordenadas geográficas de los especímenes se encuentra disponible en el anexo 1.

Análisis de datos

Se generó una matriz de datos considerando el número de especies registradas por preferencia de sustrato (humícolas, lignícolas, terrícolas, entomopatógenos) y el número de especies presentes en cada una de las variables topográficas (pendiente, orientación y altitud). Se realizó un análisis de correlación entre las variables con la función COEF.DE.CORREL (PEARSON) de la paquetería de Excel (Microsoft Office Profesional Plus 2016).

RESULTADOS

Riqueza específica

La revisión de la base de datos de los especímenes depositados en el LCB-UMAR permitió conocer la existencia de 169 morfoespecies, incluidas cinco con la connotación de “afinis” y cuatro más identificadas a nivel de familia. Solo el 42% de las especies están determinadas taxonómicamente por sus características morfológicas, 14 de ellas complementadas con una identificación molecular (Villarruel-Ordaz *et al.*, 2021). Las especies identificadas se distribuyen en dos divisiones diferentes, 14 especies pertenecen a la división Ascomycota y 155 a Basidiomycota. Se reconocen cinco clases con 18 órdenes, siendo los mejor representados los Agaricales con 43 géneros y 102 especies, Polyporales con 19 géneros y 25 especies y Xylariales con cuatro géneros y 11 especies. Sobresalen los géneros *Agaricus*, *Geastrum*, *Lepiota*, *Leucoagaricus*, *Leucocoprinus*, *Marasmius*, *Psatyrella* y *Xylaria*, todos ellos con más de cinco especies (Anexo 1).

Hábitos eco-nutricionales y preferencias de sustrato

De acuerdo a la preferencia de sustrato registrada en la base de datos de los especímenes estudiados, 20.5% de las especies se desarrollaron sobre la hojarasca (humícolas), 32.3% en madera (lignícolas), 45.8% crecieron en el suelo (terrícolas) y solo 1.1% sobre larvas de insectos (entomopatógenos). La forma de vida que predominó en la zona de estudio fue el saprotrofismo con 93.5% de las especies, le siguieron las micorrícicas, las cuales representaron 4.1%, y por último las parásitas con 2.3% (Figura 2).

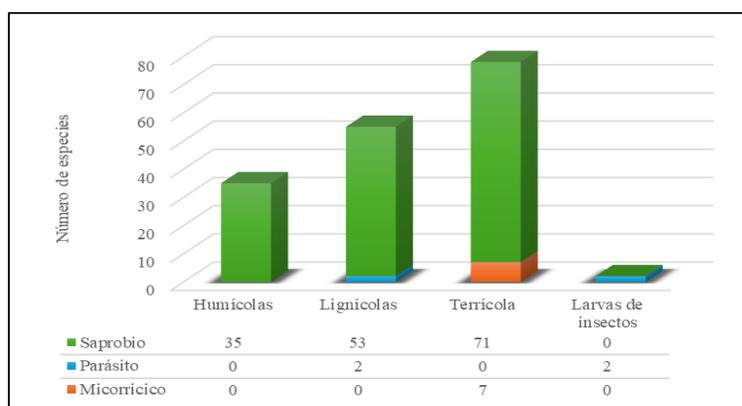


Figura 2. Relación del número de especies de acuerdo con el hábito eco-nutricional y la preferencia del sustrato en la UMA-JBPE.

Figure 2. Relationship of the number of species according to eco-nutritional habit and substrate preference in UMA-JBPE.

Variables topográficas

Sobre el mapa de la superficie de la UMA-JBPE se determinaron cinco categorías de pendientes: escarpadas (> de 51%), fuertes (36-50%), medianas (21-35%), suaves (7-20%) y planas (0-6%); las tres últimas, son las más representativas en la zona de estudio (Figura 1b). Alrededor del 73% de las especies registradas se distribuyeron en las pendientes medianas y suaves, y representan el 42.5% y 30.6% respectivamente. Le siguieron las pendientes planas con 13.8%, mientras que las pendientes fuertes presentaron la menor cantidad con solo 12.9% de los registros. Con base en la preferencia de sustrato, las especies terrícolas constituyeron el grupo predominante con el 48.7% de los registros, seguidas por las lignícolas con 30.1%. Se observó la presencia de especies humícolas, con el 20.1% de los registros, y un último grupo más especializado que representa 1% de las especies sobre larvas de insectos (Figura 3).

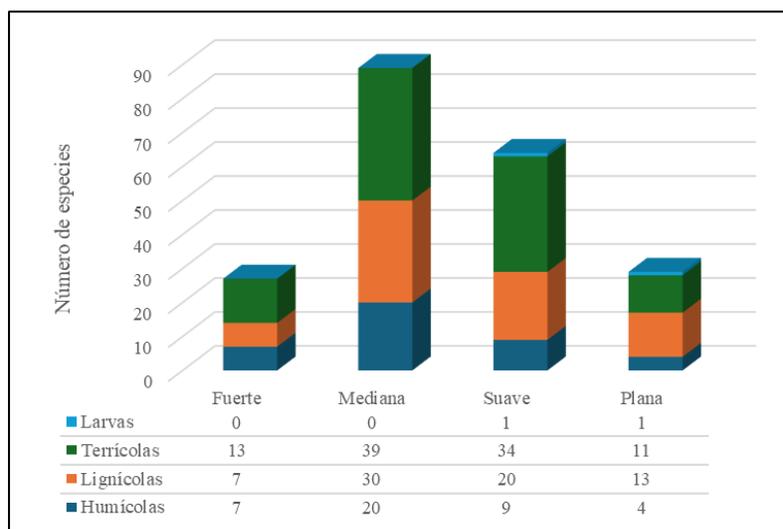


Figura 3. Distribución de especies de acuerdo a las preferencias nutricionales en relación a las diferentes pendientes observadas en la UMA-JBPE.

Figure 3. Distribution of species according to nutritional preferences in relation to different slopes observed in UMA-JBPE.

En cuanto a la orientación de los sitios de recolecta, se determinaron nueve tipos en la superficie de la UMA-JBPE: cenital, norte, sur, este, oeste, noreste, noroeste, sureste y suroeste (Figura 1c), siendo las áreas en dirección norte, noreste y noroeste, las que acumularon alrededor del 70% de los registros; mientras que las áreas con una orientación sur, suroeste y sureste, tuvieron una cantidad menor, con solo 2.7% del total de especies. Se observó una mayor proporción de especies con preferencia por sustratos terrícolas (46.3%) en comparación con las especies lignícolas (32.4%) y humícolas (20.2%). Esta tendencia es la misma en todas las condiciones de orientación analizadas, con la excepción de la parte del terreno con orientación sur y sureste, donde se registró una cantidad igual o incluso mayor de especies lignícolas. Cabe destacar que, en estas dos orientaciones, el porcentaje de especies es bastante reducido (Figura 4).

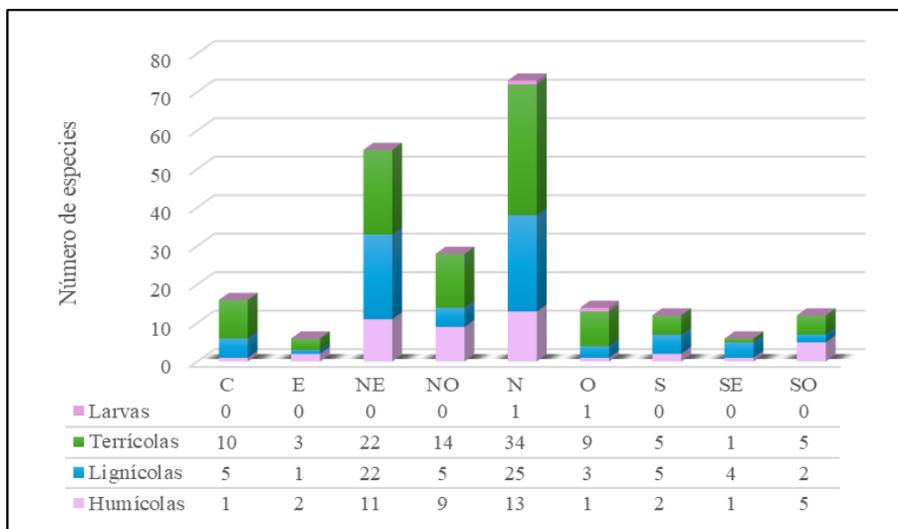


Figura 4. Distribución del número de especies por preferencias nutricionales en relación a la exposición solar. C: cenital, E: Este, NE: noreste, NO: noroeste, N: norte, O: oeste, S: sur, SE: sureste, SO: suroeste.

Figure 4. Distribution of the number of species based on nutritional preferences in relation to solar exposure. C: zenith, E: East, NE: northeast, NW: northwest, N: north, W: west, S: south, SE: southeast, SW: southwest.

Con relación a la altitud, la riqueza de especies aumentó a medida que se asciende. El intervalo altitudinal de 130 a 140 m sobresalió por contener 45.9% del total de registros. Se observó un descenso gradual en la concentración de especies a medida que disminuye la altitud, en donde el intervalo de 120 a 130 m presentó alrededor del 21% de las especies. Posteriormente, los intervalos altitudinales de 110 a 120 m y de 100 a 110 m registraron el 12.4% y 13.8% de las especies, respectivamente. De manera consistente con las tendencias observadas en las pendiente y orientación del terreno, se mostró preferencia por el sustrato terrícola con un predominio a lo largo de todo el intervalo altitudinal, representando el 44.0% del total de especies, seguida por las lignícolas con 33.4%, y posteriormente las humícolas con 21.5%. En último lugar se encontraron las especies entomopatógenas, con una presencia mínima del 0.9% (Figura 5).

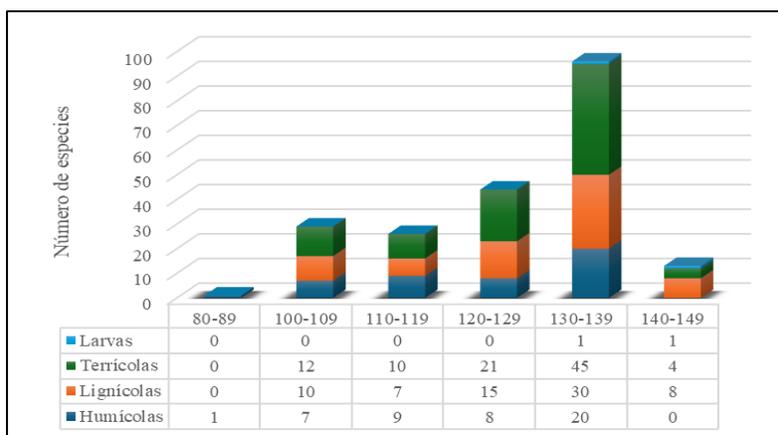


Figura 5. Distribución de especies tomando en cuenta la preferencia de sustrato y la relación a los intervalos de altitud.

Figure 5. Distribution of species taking into account substrate preference and its relation to altitude intervals.

Coefficientes de correlación

Para establecer la relación entre los elementos topográficos evaluados, se llevó a cabo un análisis que involucró el número de especies registradas en las cuatro categorías de preferencias de sustrato: terrícolas, lignícolas, humícolas y entomopatógenas. Este análisis se realizó en función de las variables de estudio, que incluyeron la pendiente, orientación y altitud.

Los coeficientes obtenidos en este análisis revelan una correlación positiva entre estas variables.

Los valores más altos de correlación se observaron en los siguientes casos:

1. Entre pendientes medianas a suaves y orientación norte, con coeficientes de 0.987 y 0.983 respectivamente.
2. Entre pendiente mediana y un intervalo de altitud de 120 a 140 m, con coeficientes de 0.991 y 0.989 respectivamente.
3. Finalmente, entre orientación norte y un intervalo de altitud de 120 a 140 m, con coeficientes de 1.00 y 0.992 de manera respectiva.

DISCUSIÓN

Diversidad de especies

Uno de los retos que enfrentan los estudios relacionados con los hongos en su entorno natural, radica en la dificultad asociada a la identificación certera de las especies. En numerosos casos, resulta imprescindible lograr una determinación precisa. Algunos estudios preliminares han revelado que aproximadamente el 70% de las especies encontradas en bosques tropicales pueden ser clasificadas en morfoespecies basadas solo en sus características macroscópicas (Braga-Neto *et al.*, 2008), no obstante, el bajo porcentaje de determinación taxonómica a nivel de especie observada en este trabajo (42% de las morfoespecies reconocidas), refleja la falta de investigaciones sistemáticas sobre la funga macroscópica tropical; la cual pudiera servir de referencia (Guzmán, 1998; Villarruel-Ordaz *et al.*, 2021). Los trabajos sobre diversidad de hongos indican que los trópicos concentran una enorme variedad de especies (O'Brien *et al.*, 2005; Tedersoo *et al.*, 2014), por lo que se sugiere poner mayor énfasis en el desarrollo de este tipo de estudios que ayuden a revertir el escaso conocimiento que se tiene de la diversidad fúngica en general. Los estudios sobre la diversidad a través del inventario de especies, son fundamentales para comprender la dinámica de los ecosistemas ya que proporcionan información vital para identificar patrones de distribución, como han señalado diversos autores (Braga-Neto *et al.*, 2008; Cannon & Kirk, 2007; Cifuentes & Guzmán, 1981; Guzmán & Piepenbring, 2011; Lodge, 2001; Sunum *et al.*, 2015; Viña, 2014), quienes han observado que géneros como *Xylaria*, *Agaricus*, *Lepiota*, *Psathyrella*, *Marasmius* y *Marasmiellus*, entre otros, tienden a ser muy representativos en regiones tropicales, una tendencia que también se observó en nuestra área de estudio (Anexo 1).

Formas de vida y preferencias de sustrato

El hábito eco-nutricional que predominante en la UMA-JBPE es el saprotrofismo, con 159 especies registradas (Figura 2). Este resultado concuerda con investigaciones previas llevadas a cabo en zonas tropicales, las cuales han indicado que la diversidad de especies saprobias es más amplia en ecosistemas tropicales que en regiones templadas (Caiafa *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2022; Lodge & Cantrell, 1995; Tedersoo *et al.*, 2014; Viña, 2014). Es necesario considerar cuáles son las preferencias de sustrato que exhiben los macromicetos saprobios. Montoya *et al.*, (2010) llevaron a cabo un análisis de la diversidad de especies saprobias en una región tropical de Colombia, en el cual consideraron seis categorías de sustratos, siendo las especies que se desarrollan sobre madera muerta (lignícolas) las que presentaron una mayor diversidad. Es evidente que ese patrón está muy relacionado con la disponibilidad de recursos presentes en el entorno, y ésta a su vez, influenciada por la estructura del dosel, ya que las plantas son quienes aportan la mayor cantidad de materia orgánica. En ese sentido, el BTC se caracteriza por el

desprendimiento de sus hojas a lo largo de un período de 5 a 7 meses (Pennington & Sarukhán, 2005), lo que constituye una enorme fuente de biomasa en forma de hojarasca y pequeñas ramas. Esto podría suponerse que el sustrato preferencial para las especies saprobias es el húmico, sin embargo, las condiciones climáticas influyen de manera significativa, dando como resultado una velocidad de descomposición de la materia orgánica cuatro veces mayor que en áreas de climas templados (Álvarez-Sánchez, 2001; Guariguata & Kattan, 2002).

En este trabajo se adoptaron tres categorías de preferencia nutricional para las especies saprobias: húmicas, lignícolas y terrícolas. Se determinó que en la zona de estudio 71 especies mostraron preferencia hacia los nutrientes disueltos en el suelo, seguidas por aquellas que se alimentan de material lignocelulósico (lignícolas) y por último las que degradan la hojarasca (Figura 2). Estos datos soportan la idea de que la descomposición veloz de la hojarasca resulta en una disponibilidad limitada de este tipo de sustrato para muchas especies de micromicetos, lo cual estaría impulsando la necesidad de recurrir a otras fuentes de nutrientes, como el suelo para las especies edáficas o los restos de madera para las especies lignícolas.

La presencia de especies húmicas está condicionada por la composición de la comunidad de plantas, lo cual se debe a la selectividad de ciertos grupos taxonómicos. Por ejemplo, los géneros *Marasmius* y *Marasmiellus* presentan correspondencia con la distribución de algunas plantas fanerógamas (Readhead, 1989), y aunque se han identificado ciertos patrones de asociación entre los hongos saprobios y el sustrato de hojas proveniente de diferentes familias de plantas, la información cualitativa en torno a este tema es limitada (Braga-Neto *et al.*, 2008). En la zona de estudio, aproximadamente una quinta parte de las especies húmicas registradas pertenecen a esos dos géneros, y es muy probable que sigan algún patrón de asociación con las especies vegetales de mayor presencia en la UMA-JBPE, como son: *Vachellia farneciana* (L.) Wight Arn., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Heliocarpus pallidus* Rose, *Comocladia mollissima* Kunth, *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Spondias purpurea* L., entre muchas otras más propias de la vegetación secundaria de la selva baja caducifolia.

El análisis de los hongos lignícolas presenta una complejidad notable debido a la diversidad de nichos que ocupan. Algunas especies presentes en el área de estudio como *Daldinia eschscholtzii* (Ehrenb.) Rehm, *Schizophyllum commune* Fr., *Fabiosporus sanguineus* (L.) Zmitr. y otras tantas de la familia Polyporaceae con cuerpos reproductores grandes y perennes, se han adaptado a sobrevivir en restos leñosos expuestos al sol y en ambientes secos (Bässler *et al.*, 2010), mientras que otras muestran preferencia por áreas sombrías y húmedas. Además, factores como el tamaño del material leñoso, su grado de descomposición y la presencia de otros hongos, influyen en su microhábitat (Aizteagueña *et al.*, 2016; Lodge & Cantrell, 1995). La combinación de características afecta la disponibilidad de nutrientes y da como resultado una variación en la comunidad de hongos que coloniza dicho entorno. De cualquier modo, evaluar la actividad fisiológica y cuantificar la abundancia de especies en sustratos como hojarasca, suelo o restos leñosos, es una tarea compleja como lo señalan Baldrian *et al.* (2013).

Otro grupo eco-nutricional registrado para la UMA-JBPE es el de las especies micorrícicas, con tan solo siete especies (Figura 2). Es importante destacar que en este trabajo se limitó a la información registrada en la base de datos consultada sobre los hongos macroscópicos epigeos que forman ectomicorrizas. Esta restricción podría subestimar la proporción real de hongos con esa forma de vida en el ecosistema. La proporción de hongos que forman ectomicorrizas podría ser más elevada de lo que se sugiere en este estudio si se considera que, en bosques saludables, el número de hongos micorrícicos podría igualar o incluso superar a las especies saprobias en términos de riqueza específica (Hu *et al.*, 2022; Montoya *et al.*, 2010). Es importante mencionar que la mayoría de la información que se tiene sobre las micorrizas se basa en estudios realizados en regiones templadas, donde se encuentra una mayor proporción de hongos ectomicorrícicos como lo señala Tedersoo *et al.* (2014). No se descarta la posibilidad de que muchas de las especies que fueron registradas como saprobias con preferencia por sustratos

edáficos, en realidad estuvieron estableciendo relaciones mutualistas con plantas. Algunas especies de géneros como *Sebacina*, *Trechispora*, *Naucoria*, *Clavulina* y *Geastrum* han sido citadas como hongos ectomicorrícicos (Pérez-Moreno & Read, 2004; Rinaldi *et al.*, 2008), sin embargo, en el presente estudio algunas especies de esos géneros fueron registradas como saprobias. Resulta imperativo explorar alternativas metodológicas para determinar de manera más precisa la forma de vida de las especies fúngicas (Álvarez-Manjarrez *et al.*, 2021; Garibay-Orijel *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2011).

El gremio menos representado en la UMA-JBPE es el de los hongos parásitos de plantas e insectos, los cuales tienen preferencia por sustratos vivos (Figura 2). En el área de estudio se registró a *Ophiocordyceps sobolifera* (Hill ex Watson) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora, y a una especie aun no identificada de *Cordyceps* sp., creciendo sobre larvas de insectos. Las diferentes especies de *Cordyceps* muestran una alta especificidad hacia ciertos grupos de insectos, la cual puede deberse a las características físicas y bioquímicas del hospedante, así como a las adaptaciones evolutivas del hongo (Benjamin *et al.*, 2004; Del Valle & Robledo, 2019; Viña, 2014).

En el caso de los hongos parásitos de plantas, es esencial resaltar que diversas especies catalogadas como saprobias han demostrado tener la capacidad de actuar como parásitos facultativos durante ciertas etapas de su ciclo vital. Dentro de los órdenes Hymenochaetales y Polyporales, se ha observado que numerosas especies crecen de manera parasitaria en árboles vivos; y una vez que el árbol fallece, los hongos muestran la capacidad de adoptar un comportamiento saprobio (Cooke & Whipps, 1980; Stokland *et al.*, 2012; Valenzuela *et al.*, 2004). En la zona de estudio *Earliella scabrosa* (Pers.) Gilb. & Ryvarden y *Fabiosporus sanguineus* (L.) Zmitr. mostraron ese comportamiento, lo cual corrobora lo reportado por Gilbert *et al.* (2008). Es probable que ese fenómeno sea más común de lo que se ha documentado hasta ahora.

Variables topográficas

Tanto la inclinación como la orientación de las laderas desempeñan un papel fundamental como factores determinantes de las condiciones microclimáticas, lo que a su vez afecta el desarrollo de las poblaciones fúngicas (Caiafa *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018; Hu *et al.*, 2022). Estos factores desempeñan un papel fundamental en la comprensión de las variaciones en el movimiento superficial e interno del escurrimiento y la humedad del suelo, lo cual es crítico para el desarrollo de los hongos, como lo han demostrado varios estudios (Aiztazagueña *et al.*, 2016; Mazzola *et al.*, 2008; Pinna *et al.*, 2010; Serrada, 2011; Viña, 2014). En la UMA-JBPE, las pendientes demostraron ser una variable significativa en la distribución de especies. La mayor riqueza de especies se observó en las pendientes medianas, seguida de las suaves, con un total de 89 y 64 especies (Figura 3). En estas pendientes, los géneros mejor representados fueron *Lepiota* y *Marasmius*, con 12 y 10 especies, respectivamente (Anexo 1).

En terrenos con pendientes pronunciadas, el agua tiende a moverse más rápido hacia las partes bajas lo que ocasiona un aumento en la escorrentía superficial, esto significa que el agua fluye sobre la superficie en lugar de infiltrarse en el suelo (Reyna *et al.*, 2010; Shaxson & Barber, 2005). Esta condición genera que la concentración de humedad y disponibilidad de agua sea menor en las partes más altas de las laderas, de manera particular aquellas con pendientes fuertes y escarpadas, lo cual explicaría el por qué en el área de estudio la diversidad de especies es menor en ese tipo de pendientes, ya que la capacidad de retención de agua condiciona la fructificación de los hongos; además, en los terrenos con pendientes muy pronunciadas, los riesgos de erosión son más elevados y por lo tanto una menor capacidad de retención de nutrientes. En el otro extremo, las porciones del terreno con pendientes planas acumulan una mayor cantidad de agua en el suelo lo cual puede tener un efecto limitante sobre la fructificación de las especies como lo han demostrado Pinna *et al.* (2010). Esto explicaría la baja diversidad de especies que se observó en las pendientes planas en la UMA-JBPE.

La orientación del terreno también tiene un efecto limitante en la distribución de la macrofunga. Este parámetro ecológico es complejo y puede estar influenciado por otros factores como el tiempo de exposición al sol, el viento, y otros factores climáticos. En el hemisferio norte, las laderas con exposición sur reciben mayor cantidad de radiación solar y tienden a ser más cálidas y secas; mientras que las laderas con orientación norte están menos expuestas a la insolación y suelen ser más frescas y húmedas (López-Gómez *et al.*, 2012). En la zona de estudio las laderas que tienen orientación hacia el norte presentaron una mayor riqueza de especies (Figura 4), lo cual sugiere que la luz solar es un factor que influye en la temperatura y la humedad del suelo, lo que a su vez afecta las condiciones para el crecimiento y la reproducción de las especies fúngicas.

La altitud constituye un factor ligado al relieve del terreno, lo que conlleva a la necesidad de tener en cuenta esta interacción al tratar de identificar patrones relacionados con dicho parámetro. A pesar del limitado intervalo altitudinal que se presenta en la UMA-JBPE, 80 m en la parte más baja y 145 m la parte más alta, es especialmente notable el intervalo de 130 a 140 m s.n.m. donde se registró la mayor cantidad de especies (Figura 5). Existen diversos estudios que han resaltado patrones específicos de distribución en función de la altitud (Gómez-Hernández *et al.*, 2012, 2016; Martínez, 2021; Vásquez Díaz & Esquivel Vásquez, 2021; Vásquez Mendoza, 2008; Villarruel-Ordaz & Cifuentes, 2007). En esos trabajos se hace mención de otros factores igualmente influyentes, tales como el tipo de vegetación, el tipo de suelo presente, la pendiente del terreno y la temperatura ambiental, entre otros. El patrón observado en la zona de estudio confirma la persistente pauta decreciente en términos de diversidad a medida que disminuye la altitud.

Correlación entre las variables

El análisis de los coeficientes de correlación entre la altitud, la pendiente, la orientación del terreno y las preferencias nutricionales en términos de la riqueza de especies, reveló una relación positiva entre la pendiente y la orientación como lo han señalado otros autores (Aiarzagueña *et al.*, 2016; Mazzola *et al.*, 2008; Pinna *et al.*, 2010; Serrada, 2011; Viña, 2014). Los valores más altos de correlación se observaron en las pendientes medianas y suaves con una orientación norte. Esta combinación de factores ejerció una influencia significativa en la riqueza de especies. Además, se encontró una correlación positiva entre la orientación y la altitud. Las laderas con orientación norte y un intervalo de altitud de 120 a 140 m presentaron una mayor diversidad de especies, mientras que, las laderas con pendientes medianas y un intervalo de altitud de 120 a 140 m. condicionaron la presencia de 63 especies de macromicetos. Los resultados demostraron que la relación entre la altitud, la pendiente y la orientación del terreno influye de manera directa en la riqueza y las preferencias nutricionales de las especies estudiadas, con implicaciones importantes para la comprensión de la biodiversidad en la zona. La correlación de las variables consideradas en el presente estudio determinó que, de las 169 especies analizadas, 94 especies se distribuyen en un intervalo de altitud de los 120 a 140 m, principalmente en laderas que tienen una pendiente mediana y suave y con una exposición a la luz solar determinada por la orientación norte, noreste y noroeste. La forma de vida que predomina es el saprotrofismo, igual que lo reportado en otros bosques tropicales (Caiafa *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2022; Lodge & Cantrell, 1995; Tedersoo *et al.*, 2014; Viña, 2014). En estas condiciones la mayoría de las especies tiene preferencia por un sustrato edáfico, seguido por las lignícolas y por último las humícolas.

CONCLUSIONES

El saprotrofismo es el hábito predominante en la zona de estudio, el cual está estrechamente relacionado con la abundante materia orgánica presente en el Bosque Tropical Caducifolio (BTC) y las condiciones climáticas que lo caracterizan. Las especies saprobias terrícolas fueron las más representativas, seguidas por las saprobias lignocelulósicas y por último las humícolas.

Las pendientes medianas y suaves con orientación norte y a un intervalo de altitud de 120-140 m son los sitios donde se presenta la mayor riqueza de especies. Estos datos tienen implicaciones significativas en la comprensión de la biodiversidad de macromicetos en la UMA-JBPE ya que son relevantes para las estrategias de manejo y conservación de los recursos naturales.

En general, los resultados del estudio sugieren que la Unidad de Manejo Ambiental para la Conservación de Vida Silvestre “Jardín Botánico Puerto Escondido” es un ecosistema con una importante diversidad de macromicetos. La combinación de factores ambientales, como el clima, el tipo de vegetación y el relieve, juegan un papel fundamental en la distribución y preferencias nutricionales de las especies registradas.

Se recomienda realizar estudios más detallados sobre la influencia de los factores ambientales en la diversidad de macromicetos, incluyendo variables como la temperatura, la humedad, el pH del suelo y la composición de la vegetación, así como promover la conservación de los bosques tropicales, ya que son ecosistemas que albergan una gran diversidad biológica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al profesor Charles Litwin por la asesoría en la traducción del resumen. De igual manera a todo el personal operativo de la UMA-JBPE por el apoyo durante las recolectas de los ejemplares biológicos, así como también a los estudiantes de la carrera de Biología de la Universidad del Mar quienes acompañaron durante los recorridos dentro de la zona de estudio. A la Secretaría de Educación Pública por el financiamiento a través del programa para el Fomento a la Generación y Aplicación e Innovadora del Conocimiento y del Fortalecimiento de los Cuerpos Académicos en Formación. Agradecemos a la Universidad del Mar por el apoyo a los proyectos internos con Clave de Unidad Programática 2IG1805, 2IG1904 y 2IG2102

LITERATURA CITADA

- Aiartzagüeña, L., Picón, R., Sarrionandía, E., & Salcedo, I. (2016). Patrones fenológicos de fructificación de los macromicetos del País Vasco. *Zizak*, 12, 9–21.
- Álvarez-Sánchez, J. (2001). Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 11–27. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401843>
- Álvarez-Manjarrez, J., Rodríguez, A. U. S., Villarruel-Ordaz, J. L., Ortega-Larrocea, M. del P., & Garibay-Orijel, R. (2021). Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas. *Acta Botánica Mexicana*, 128, e1906. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1906>
- Baldrian, P., Větrovský, T., Cajthaml, T., Dobiášová, P., Petránková, M., Šnajdr, J., & Eichlerová, I. (2013). Estimation of fungal biomass in forest litter and soil. *Fungal Ecology*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2012.10.002>
- Bánki, O., Roskov, Y., Döring, M., Owen, G., & et al. (2023). *Catalogue of Life Checklist (Annual Checklist 2023)*. Catalogue of Life. <https://doi.org/10.48580/dfs>
- Bässler, C., Muller, J., Dziock, F., & Brandl, R. (2010). Effects of resource availability and climate on the diversity of wood-decaying fungi. *Journal of Ecology*, 98, 822–832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01669.x>
- Benjamin, R. K., Blackwell, M., Chapela, I. H., Humber, R. A., Jones, K. G., Klepzig, K. D., & et al. (2004). Insect and other arthropod associated fungi. En M. S. Foster, G. F. Bill, & G. M. Muller (Eds.), *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods* (pp. 395–433). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012509551-8/50021-0>
- Braga-Neto, R., Luizão, R. C. C., Magnusson, W. E., Zuquim, G., & De Castilho, C. V. (2008). Leaf litter fungi in a Central Amazonian forest: The influence of rainfall, soil and

- topography on the distribution of fruiting bodies. *Biodiversity and Conservation*, 17(11), 2701–2712. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9247-6>
- Caiafa, M. V., Gómez-Hernández, M., Williams-Linera, G., & Ramírez-Cruz, V. (2017). Functional diversity of macromycete communities along an environmental gradient in a Mexican seasonally dry tropical forest. *Fungal Ecology*, 28, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.04.005>
- Cannon, P., & Kirk, P. (2007). *Fungal families of the world* (10a ed.). CABI.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En J. Soberón, G. Haffter, & J. Lorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. (pp. 87–108). CONABIO.
- Chen, Y., Yuan, Z., Bi, S., Wang, X., Ye, Y., & Svenning, J. C. (2018). Macrofungal species distributions depend on habitat partitioning of topography, light, and vegetation in a temperate mountain forest. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31795-7>
- Cifuentes, J., & Guzmán, G. (1981). Descripción y distribución de hongos tropicales (Agaricales) no conocidos previamente en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 16, 35–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.33885/sf.1981.2.537>
- Cooke, R. C., & Whipps, J. (1980). The evolution of modes of nutrition in fungi parasitic on terrestrial plants. *Biological Reviews*, 55, 341–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1980.tb00697.x>
- Del Valle, M., & Robledo, G. L. (2019). Hongos patógenos de insectos *Cordyceps pseudomilitaris*, *Cordyceps takaomontana*. Serie 41. En G. J. Scrocchi & C. Szumik (Eds.), *Universo Tucumano* (p. 11). Fundación Miguel Lillo-CONICET.
- Díaz-Moreno, R., Marmolejo, J. G., & Valenzuela, R. (2005). Flora micológica de bosques de pino y pino-encino en Durango, México. *Ciencia UANL*, VIII(3), 362–369.
- Garibay-Orijel, R., Morales-Marañón, E., Domínguez-Gutiérrez, M., & Flores-García, A. (2013). Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1), 153–169. <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- Gilbert, G. S., Gorospe, J., & Ryvarden, L. (2008). Host and habitat preferences of polypore fungi in Micronesian tropical flooded forests. *Mycological Research*, 112(6), 674–680. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.11.009>
- Gómez-Hernández, M., Williams-Linera, G., Guevara, R., & Lodge, D. J. (2012). Patterns of macromycete community assemblage along an elevation gradient: Options for fungal gradient and metacommunity analyse. *Biodiversity and Conservation*, 21(9), 2247–2268. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0180-3>
- Gómez-Hernández, M., Williams-linera, G., Lodge, D. J., Guevara, R., Ruiz-Sanchez, E., & Gandara, E. (2016). Phylogenetic diversity of macromycetes and woody plants along an elevationa gradient in Eastern Mexico. *Biotropica*, 48(5), 577–585. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/btp.12332>
- Guariguata, M. R., & Kattan, G. H. (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional.
- Guzmán, G. (1998). Inventorying the fungi of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 7, 369–84. <https://doi.org/10.1023/A:1008833829473>
- Guzmán, G., & Piepenbring, M. (2011). *Los hongos de Panamá: introducción a la identificación de los macroscópico*. Instituto de Ecología, A. C.
- Hawksworth, D. L., & Lücking, R. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *The Fungal Kingdom*, 79–95. <https://doi.org/10.1128/9781555819583.ch4>
- Hu, J. J., Zhao, G. P., Tuo, Y. L., Qi, Z. X., Yue, L., Zhang, B., & Li, Y. (2022). Ecological factors influencing the occurrence of macrofungi from eastern mountainous areas to the central plains of Jilin province, China. *Journal of Fungi*, 8, 871. <https://doi.org/10.3390/jof8080871>
- INEGI. (2004). *Síntesis de información geográfica del estado de Oaxaca*.
- INEGI. (2007). *Guía para la interpretación de cartografía edafológica*.

- INEGI. (2013a). *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0. Resolución 15 m.* <https://inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2013b). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie V (continuo nacional). Catálogo de metadatos geográficos.*
- Lodge, D. J. (2001). Diversidad mundial y regional de hongos. En H. M. Hernández, A. N. García Aldrete, F. Álvarez, & M. Ulloa (Eds.), *Enfoques contemporáneos para el estudio de la Biodiversidad.* (pp. 291–304). Instituto de Biología, UNAM. <https://www.researchgate.net/publication/265003567>
- Lodge, D. J., & Cantrell, S. (1995). Fungal communities in wet tropical forests: variation in time and space. *Canadian Journal of Botany*, 73(Suppl. 1). <https://doi.org/10.1139/b95-402>
- López-Gómez, V. Í., Zedillo-Velleyra, P., Anaya-Hong, S. Y., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453–457. <https://doi.org/10.17129/botsci.473>
- Martínez, D. (2021). *Biodiversidad y distribución de macromicetos a través de un gradiente altitudinal en el volcán de San Vicente El Salvador* [Tesis de Licenciatura, Universidad del El Salvador]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35236.40328>
- Mazzola, M., Kin, A., Morici, E., Babinec, F., & Tamborini, G. (2008). Efecto del gradiente altitudinal sobre la vegetación de las Sierras de Lihue Calel (La Pampa, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 43(1–2), 103–1119.
- Montoya, S., Gallego, J. H., Sucerquia, Á., Peláez, B., Betancourt, O., & Arias, D. (2010). Macromicetos observados en bosques del departamento de Caldas: Su influencia en el equilibrio y la conservación de la biodiversidad. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, 14(2), 57–73.
- Niego, A. G. T., Rapior, S., Thongklang, N., Raspé, O., Hyde, K. D., & Mortimer, P. (2023). Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services. En *Fungal Biology Reviews* (Vol. 44). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.11.002>
- O'Brien, H. E., Parrent, J. L., Jackson, J. A., Moncalvo, J. M., & Vilgalys, R. (2005). Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 5544–5550. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.5544-5550.2005>
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies* (3a.). Fondo de Cultura Económica-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez-Moreno, J., & Read, D. J. (2004). Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29(5), 239–247.
- Pinna, S., Gévry, M. F., Côté, M., & Sirois, L. (2010). Factors influencing fructification phenology of edible mushrooms in a boreal mixed forest of Eastern Canada. En *Forest Ecology and Management* (Vol. 260, Número 3, pp. 294–301). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.024>
- Purvis, A., & Hector, A. (2000). Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 405(6783), 212–219. <https://doi.org/10.1038/35012221>
- Raymundo T., Valenzuela R., León-Avenidaño H. et al. (2022). Hongos. En: *La biodiversidad en Oaxaca. Estudio de Estado. Vol. II* (pp. 45-61), CONABIO.
- Readhead, S. A. (1989). A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. *Canadian Journal of Botany*, 67, 3003–3062. <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/b89-384>
- Reyna, T., Lábaque, M., & Reyna, S. M. (2010). Determinación de escorrentía superficial considerando la infiltración en periodos largos. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 10(1), 5–22.
- Rinaldi, A. C., Comandini, O., & Kuyper, T. W. (2008). Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal diversity*, 33, 1–45.

Recibido:
4/septiembre/2023

Aceptado:
15/enero/2024

- Rodríguez-Gutiérrez, I., Garibay-Orijel, R., Santiago-Morales, B., & Lindig-Cisneros, R. (2020). Comparación entre las abundancias de esporomas y ectomicorrizas del género *Laccaria* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(1), 913340. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3340>
- Serrada, R. (2011). Apuntes de Selvicultura. En *Universidad Politécnica de Madrid*. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Smith, M. E., Henkel, T. W., Catherine Aime, M., Fremier, A. K., & Vilgalys, R. (2011). Ectomycorrhizal fungal diversity and community structure on three co-occurring leguminous canopy tree species in a Neotropical rainforest. *New Phytologist*, 192(3), 699–712. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03844.x>
- Stokland, J. N., Siitonen, J., & Jonsson, B. G. (2012). *Biodiversity in dead wood*. Cambridge University Press.
- Sunum, R., Quezada, M., & Bustamante, D. (2015). Fructificación de *Marasmius* Fr. en respuesta a factores climáticos en remanentes de selva de la Ecorregión Lachuá, Alta Verapaz. *Revista Científica*, 25(2), 59–75. <https://doi.org/10.54495/rev.cientifica.v25i2.91>
- Tedersoo, L., Bahram, M., Pöhlme, S., Kõjag, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., Villarreal, L., Vasco-Palacios, A. M., Thu, P., Suija, A., Smith, M., Sharp, C., Erki, S., Saitta, A., Rosas, M., & et al. (2014). Ecology. Disentangling global soil fungal diversity. *Science (New York, N.Y.)*, 346(6213), 1078. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1185>
- Valenzuela, R., Raymundo, T., & Palacios, M. (2004). Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el Eje Neovolcánico Transversal. *Polibotánica*, 18, (33–51).
- Vásquez Díaz, R. A., & Esquivel Vásquez, R. E. (2021). Biodiversidad y distribución altitudinal de macromycetes en el Cerro La Palma, Chalatenango, El Salvador. *Revista Comunicaciones Científicas Y Tecnológicas*, 5(1), 60–80.
- Vázquez-Mendoza, S. (2008). *Ecología de comunidades de macromicetos a lo largo de un gradiente altitudinal en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca*. [Maestría en Ciencias]. Instituto Politécnico Nacional.
- Vázquez-Mendoza, S. (2012). *Patrones ecológicos de macromicetos lignícolas respecto a la altitud en el sur de México* [Doctor en Ciencias]. Instituto Politécnico Nacional.
- Villarruel-Ordaz, J. L., & Cifuentes, J. (2007). Macromicetos de la Cuenca del Río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación la Magdalena Contreras, México, D.F. *Revista Mexicana de Micología*, 25, 59–68.
- Villarruel-Ordaz, J. L., Garibay-Orijel, R., Maldonado-Bonilla, L. D., Alvarez-Manjarrez, J., Sánchez-Espinosa, A. C., Machorro-Sámamo, S., Valera-Venegas, G., & Marín-González, P. G. (2021). Tropical dry forest macromycetes in the coastal region of Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2021.92.3733>
- Viña, N. A. (2014). *Evaluación de la riqueza de especies de macrohongos en la estrategia de restauración del corredor Barbas-Bremen, Filandia-Quindío* [Grado]. Universidad ICESI.

Anexo 1. Listado taxonómico de las especies registradas en la UMA-JBPE.

La validez de los nombres científicos está basada en el Catálogo de la vida (Bánky *et al.*, 2023).

EXPO: Exposición; C: Cenital; O: Oeste; N: Norte; NE: Noreste; NO: Noroeste; E: Este; SE: Sureste; SO: Suroeste; S: Sur

ALT: Altitud (m s.n.m.); PEND: Pendiente; F: Fuerte; M: Mediana; S: Suave; P: Plana.

SUS: Sustrato; T: Terrícola; H: Humícola; L: Lignícola; L ins: Larvas de insectos. FVIDA: Forma de vida; Sap: Saprobio; Par: Parásito; Mic: Micorrícico.

Appendix 1. Taxonomic list of species recorded in UMA-JBPE.

The validity of scientific names is based on the Catalogue of Life (Bánky *et al.*, 2023).

EXPO: Exposure; C: Zenith; W: West; N: North; NE: Northeast; NW: Northwest; E: East; SE: Southeast; SW: Southwest; S: South.

ALT: Altitude (m above sea level); PEND: Slope; S: Steep; M: Moderate; G: Gentle; P: Flat.

SUS: Substrate; T: Terrestrial; H: Humicolous; L: Lignicolous; L ins: Insect larvae. FVIDA: Life form; Sap: Saprophyte; Par: Parasite; Mic: Mycorrhizal.

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA		
Ascomycota	Leotiomycetes	Rhytismatales	Pezizellaceae	Calycina	<i>Calycina citrina</i> (Hedw.) Gray	NE	100-110	F	T	Sap		
	Sordariomycetes	Hypocreales	Cordycipitaceae	Cordyceps	<i>Cordyceps</i> sp. 01	O	130-140	S	L ins	Par		
			Ophiocordycipitaceae	Ophiocordyceps	<i>Ophiocordyceps sobolifera</i> (Hill ex Watson) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora	N	140-145	P	L ins	Par		
		Xylariales	Hypoxyloaceae	Annulohypoxyton		<i>Annulohypoxyton truncatum</i> (Starbäck) Y.M. Ju, J.D. Rogers & H.M. Hsieh	N, C	120-140	M; S	L	Sap	
				Daldinia		<i>Daldinia eschscholtzii</i> (Ehrenb.) Rehm	N; SE	130-145	P; S	L	Sap	
				Hypoxyton		<i>Hypoxyton haematostroma</i> Mont.	N	130-140	S	L	Sap	
					<i>Hypoxyton rubiginosum</i> (Pers.) Fr.	N	140-145	P	L	Sap		
			Xylariaceae	Xylaria			<i>Xylaria filiformis</i> (Alb. & Schwein.) Fr.	N	120-130	M	L	Sap
							<i>Xylaria polymorpha</i> (Pers.) Grev.	N	130-140	S	L	Sap
						<i>Xylaria</i> sp. 01	N; S	130-145	P; S	L	Sap	
						<i>Xylaria</i> sp. 02	S	130-140	S	L	Sap	
					<i>Xylaria</i> sp. 03	NE	120-130	M	L	Sap		
			<i>Xylaria</i> sp. 04	S	130-140	S	L	Sap				
			<i>Xylaria</i> sp. 05	N	110-120	F	L	Sap				

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i>	<i>Agaricus caribaeus</i> Pegler	N; NE; S	110-140	F; M; S	T	Sap
					<i>Agaricus aff. porphyropos</i>	N	110-120	M	T	Sap
					<i>Agaricus</i> sp. 01	NE	110-120	M	T	Sap
					<i>Agaricus</i> sp. 02	NO	130-140	M	H	Sap
					<i>Agaricus</i> sp. 03	N	110-120	F	T	Sap
					<i>Agaricus</i> sp. 04	NO	130-140	S	T	Sap
				<i>Chlorophyllum</i>	<i>Chlorophyllum</i> sp. 01	C; NE	100-130	M	T	Sap
				<i>Cystolepiota</i>	<i>Cystolepiota</i> sp. 01	NE	130-140	S	T	Sap
				<i>Lepiota</i>	<i>Lepiota</i> sp. 01	N	110-120	M	H	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 02	N	120-130	M	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 03	NE	100-110	F	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 04	N; S	100-140	F; S	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 05	N	120-130	M	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 06	NO	130-140	M	H	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 07	S	130-140	S	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 08	N	110-120	F	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 09	N	110-120	F	H	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 10	O; NE; SO	130-140	F; S; P	T	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 11	NE	100-110	M	H	Sap
<i>Lepiota</i> sp. 12	NO	130-140	S		T	Sap				
<i>Lepiota</i> sp. 13	C; E	130-140	S		T	Sap				

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	Agaricaceae	<i>Lepiota</i>	<i>Lepiota</i> sp. 14	N	120-130	M	L	Sap
					<i>Lepiota</i> sp. 15	O	130-140	S	T	Sap
				<i>Leucoagaricus</i>	<i>Leucoagaricus lilaceus</i> Singer	C	130-140	S	T	Sap
					<i>Leucoagaricus</i> sp. 01	NE	100-110	M	H	Sap
					<i>Leucoagaricus</i> sp. 02	C	130-140	S	T	Sap
					<i>Leucoagaricus</i> sp. 03	O; N	120-140	M; S	H	Sap
					<i>Leucoagaricus</i> sp. 04	SO	130-140	P	H	Sap
					<i>Leucocoprinus</i>	<i>Leucocoprinus birnbaumii</i> (Corda) Singer	N	110-120	F	L
				<i>Leucocoprinus fragilissimus</i> (Ravenel ex Berk. & M.A. Curtis) Pat.		NE	100-110	M	T	Sap
				<i>Leucocoprinus scissus</i> Justo, Bizzi & Angelini		E	130-140	S	H	Sap
				<i>Leucocoprinus</i> sp. 01		NE; NO	120-140	M; S	H	Sap
				<i>Leucocoprinus</i> sp. 02		N	140-145	P	T	Sap
				Macrolepiota	<i>Macrolepiota excoriata</i> (Schaeff.) Wasser	NE	130-140	F	T	Sap
				Crepidotaceae	Crepidotus	<i>Crepidotus</i> sp. 01	N; NE	100-145	M; P	L
			<i>Crepidotus</i> sp. 02			NE	130-140	F	L	Sap
			Entolomataceae	Leptonia	<i>Leptonia</i> sp. 01	N	130-140	M	T	Sap
					<i>Leptonia</i> sp. 02	N	130-140	M	T	Sap
					<i>Leptonia</i> sp. 03	NO	130-140	S	T	Sap
					<i>Leptonia</i> sp. 04	NO	130-140	S	L	Sap
			Hygrophoraceae	Hygrocybe	<i>Hygrocybe cantharellus</i> (Schwein.) Murrill	N	120-130	M	T	Sap
			DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	Hygrophoraceae	<i>Hygrocybe</i>	<i>Hygrocybe</i> sp. 01	C; O	130-140	S	T	Sap
					<i>Hygrocybe</i> sp. 02	N	120-130	M	T	Sap
			Hymenogastraceae	<i>Naucoria</i>	<i>Naucoria</i> sp. 01	NE	100-110	F	T	Sap
			Inocybaceae	<i>Inocybe</i>	<i>Inocybe</i> sp. 01	O	130-140	S	T	Mic
			Inserta sedis	<i>Clitocybe</i>	<i>Clitocybe</i> sp. 01	SO	130-140	P	H	Sap
				<i>Cystoderma</i>	<i>Cystoderma</i> sp. 01	S	130-140	S	T	Sap
				<i>Lepista</i>	<i>Lepista</i> sp. 01	C	130-140	P	T	Sap
				<i>Neopaxillus</i>	<i>Neopaxillus dominicanus</i> Angelini & Vizzini	N; O; C; S; SO	120-140	M; S; P	T	Sap
				<i>Tricholosporum</i>	<i>Tricholosporum</i> sp. 01	N	120-130	M	H	Sap
					<i>Tricholosporum</i> sp. 02	N; S	100-140	M; S	H	Sap
				<i>Trogia</i>	<i>Trogia cantharelloides</i> (Mont.) Pat.	N; O; SO	120-140	S	L	Sap
			Lyophyllaceae	<i>Calocybe</i>	<i>Calocybe carnea</i> (Bull.) Donk	NO	130-140	S	T	Sap
					<i>Calocybe gambosa</i> (Fr.) Donk	N; E	120-140	M; S	T	Sap
					<i>Calocybe</i> sp. 01	C; NO	130-140	S; P	T	Sap
				<i>Gerhardtia</i>	<i>Gerhardtia</i> sp. 01	NE	100-110	M	H	Sap
				<i>Lyophyllum</i>	<i>Lyophyllum</i> sp. 01	C	130-140	P	T	Sap
				<i>Tephroclybe</i>	<i>Tephroclybe</i> sp. 01	NE	100-110	M	T	Sap
			Lycoperdaceae	<i>Calvatia</i>	<i>Calvatia cyathiformis</i> (Bose) Morgan	NE; NO; O	100-140	M; S	T	Sap
					<i>Calvatia rugosa</i> (Berk. & M.A. Curtis) D.A. Reid	N	120-130	M	T	Sap

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA	
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	Lycoperdaceae	<i>Calvatia</i>	<i>Calvatia</i> sp. 01	C	130-140	S	T	Sap	
					<i>Calvatia</i> sp. 02	SO	130-140	S	H	Sap	
				<i>Lycoperdon</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	N	140-145	P	T	Sap	
			Marasmiaceae	<i>Marasmius</i>	<i>Crinipellis</i>	<i>Crinipellis</i> sp. 01	NE	100-110	M	L	Sap
					<i>Marasmius</i> aff. <i>corrugatiformis</i>	NE	130-140	S	H	Sap	
					<i>Marasmius stramineiceps</i> Wannathes, Desjardin & Lumyong	NE	100-110	M	L	Sap	
					<i>Marasmius congregatus</i> Mont.	NE	130-140	S	H	Sap	
					<i>Marasmius haematocephalus</i> (Mont.) Fr.	N; NE	110-130	M; S	H	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 01	NE	110-120	M	L	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 02	NE	120-130	M	H	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 03	N; S	110-140	F; S	H	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 04	C	130-140	P	L	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 05	N	130-140	M	H	Sap	
					<i>Marasmius</i> sp. 06	N	120-130	M	T	Sap	
			Mycenaceae	<i>Hemimycena</i>	<i>Hemimycena</i> sp. 01	NO	130-140	S	T	Sap	
					<i>Mycena</i>	<i>Mycena</i> sp. 01	N	120-130	M	T	Sap
						<i>Mycena</i> sp. 02	NO	130-140	S	T	Sap
			Omphalotaceae	<i>Collybiopsis</i>	<i>Collybiopsis gibbosa</i> (Corner) R.H. Petersen	O	80-90	S	H	Sap	
				<i>Marasmiellus</i>	<i>Marasmiellus</i> sp. 01	N	110-120	F	H	Sap	
				<i>Micromphale</i>	<i>Micromphale</i> sp. 01	NO; NE	100-140	M	H	Sap	

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	Pleurotaceae	<i>Hohenbuehelia</i>	<i>Hohenbuehelia portegna</i> (Speg.) Singer	SO	130-140	P	L	Sap
				<i>Pleurotus</i>	<i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn	C; SE; NO	130-140	M; S; P	L	Sap
			Pluteaceae	<i>Pluteus</i>	<i>Pluteus</i> sp. 01	N	130-140	M	T	Sap
					<i>Pluteus</i> sp. 02	SO	130-140	P	T	Sap
				<i>Volvariella</i>	<i>Volvariella bombycina</i> (Schaeff.) Singer	NO	130-140	S	L	Sap
					<i>Volvariella</i> sp. 01	NO	120-130	M	H	Sap
					<i>Volvariella</i> sp. 02	E; NO	130-140	S	T	Sap
				<i>Volvopluteus</i>	<i>Volvopluteus gloiocephalus</i> (DC.) Vizzini, Contu & Justo	NE	110-120	M	T	Sap
			Psathyrellaceae	<i>Candolleomyces</i>	<i>Candolleomyces</i> aff. <i>cacao</i>	N; E	110-140	F; S	H	Sap
					<i>Candolleomyces candolleanus</i>	N	110-120	F	H	Sap
				<i>Parasola</i>	<i>Parasola plicatilis</i> (Curtis) Redhead, Vilgalys & Hopple	N	120-130	M	T	Sap
				<i>Psathyrella</i>	<i>Psathyrella</i> sp. 01	NE	110-120	M	T	Sap
					<i>Psathyrella</i> sp. 02	N	120-145	M; P	T	Sap
					<i>Psathyrella</i> sp. 03	N	130-140	M	T	Sap
					<i>Psathyrella</i> sp. 04	SE	130-140	P	H	Sap
					<i>Psathyrella</i> sp. 05	N	130-140	S	T	Sap
			Pterulaceae	<i>Pterula</i>	<i>Pterula</i> sp. 01	N	130-140	M	L	Sap
					<i>Pterula</i> sp. 02	NO	130-140	M	T	Sap
			Strophariaceae	<i>Agrocybe</i>	<i>Agrocybe</i> sp. 01	NO	130-140	S	T	Sap
				<i>Pholiota</i>	<i>Pholiota</i> sp. 01	O	130-140	S	T	Sap
Schizophylaceae	<i>Schizophyllum</i>	<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	N; NE	120-140	F; M; P	L	Sap			

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Auriculariales	Auriculariaceae	<i>Auricularia</i>	<i>Auricularia fuscossuccinea</i> (Mont.) Henn.	NE	130-140	S	L	Sap
					<i>Auricularia mesenterica</i> (Dicks.) Pers.	O	130-140	S	L	Sap
					<i>Auricularia nigricans</i> (Sw.) Birkebak, Looney & Sánchez-García	NE	100-110	M	L	Sap
			Inserta sedis	<i>Protomerulius</i>	<i>Protomerulius</i> sp. 01	NO	130-140	M	H	Sap
		Boletales	Boletaceae	<i>Boletus</i>	<i>Boletus</i> sp. 01	N	130-140	M	T	Mic
			Boletinellaceae	<i>Phlebopus</i>	<i>Phlebopus mexicanus</i> Cifuentes, Cappello, T.J. Baroni & B. Ortiz	NE	100-110	M	T	Mic
					<i>Phlebopus beniensis</i> (Singer & Digilio) Heinem. & Rammeloo	N	110-120	M	T	Mic
			Gyroporaceae	<i>Gyroporus</i>	<i>Gyroporus castaneus</i> (Bull.) Quéf.	N	130-140	M	T	Mic
			Tapinellaceae	<i>Tapinella</i>	<i>Tapinella panuoides</i> (Fr.) E.-J. Gilbert	S	130-140	S	L	Sap
		Cantharellales	Hydnaceae	<i>Clavulina</i>	<i>Clavulina</i> sp. 01	NE	130-140	S	T	Sap
		Corticiales	Corticaceae	Inserta sedis	<i>Corticioide-liso</i> sp. 01	N	140-145	P	L	Sap
					<i>Corticioide-poroide</i> sp. 02	N	120-130	M	L	Sap
		Geastrales	Geastraceae	<i>Geastrum</i>	<i>Geastrum javanicum</i> Lév.	SO	120-130	S	H	Sap
					<i>Geastrum lageniforme</i> Vittad.	C; NO	130-140	F; S	H	Sap
					<i>Geastrum minimum</i> Schwein.	N	140-145	P	T	Sap
					<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	NE; NO	110-140	M; S	T	Sap
					<i>Geastrum</i> sp. 01	NO	130-140	M	H	Sap
<i>Geastrum</i> aff. <i>violaceum</i>	N; NE				110-140	S	H	Sap		

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Gloeophyllales	Gloeophyllaceae	<i>Gloeophyllum</i>	<i>Gloeophyllum striatum</i> (Fr.) Murrill	N; NE	100-120	F; M	L	Sap
		Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	<i>Hymenochaete</i>	<i>Hymenochaete</i> sp. 01	NE	110-120	M	L	Sap
				<i>Phylloporia</i>	<i>Phylloporia spathulata</i> (Hook.) Ryvarden	N	120-130	M	T	Sap
			Inserta sedis	<i>Trichaptum</i>	<i>Trichaptum</i> sp. 01	NE	100-110	M	L	Sap
		Polyporales	Cerrenaceae	<i>Cerrena</i>	<i>Cerrena hydnoides</i> (Sw.) Zmitr.	NE	100-110	M	L	Sap
			Fomitopsidaceae	<i>Rhodofomitopsis</i>	<i>Rhodofomitopsis feei</i> (Fr.) B.K. Cui, M.L. Han & Y.C. Dai	N	130-140	S	L	Sap
			Ganodermataceae	<i>Cristataspora</i>	<i>Cristataspora</i> sp. 01	N	130-140	S	L	Sap
			Inserta sedis	<i>Fabisporus</i>	<i>Fabisporus sanguineus</i> (L.) Zmitr.	C	120-130	M	L	Sap
			Irpicaceae	<i>Flavodon</i>	<i>Flavodon flavus</i> (Klotzsch) Ryvarden	NE	100-110	M	L	Sap
				<i>Irpex</i>	<i>Irpex</i> sp. 01	NE	100-110	M	L	Sap
			Panaceae	<i>Cymatoderma</i>	<i>Cymatoderma</i> sp. 01	N; NE; NO	100-140	F; M	T	Sap
					<i>Cymatoderma</i> sp. 02	N; SE	130-140	S; P	T	Sap
				<i>Panus</i>	<i>Panus neostrigosus</i> Drechsler-Santos & Wartchow	NE	100-110	M	H	Sap
			Polyporaceae	<i>Corioloopsis</i>	<i>Corioloopsis</i> sp. 01	NE	120-130	M	L	Sap
				<i>Crassisporus</i>	<i>Crassisporus microsporus</i> B.K. Cui & Xing Ji	E; NE	100-140	M; S	L	Sap
				<i>Earliella</i>	<i>Earliella scabrosa</i> (Pers.) Gilb. & Ryvarden	N	120-145	M; P	L	Par
		<i>Favolus</i>		<i>Favolus tenuiculus</i> P. Beauv.	N	130-140	M	L	Sap	
		<i>Fomes</i>		<i>Fomes</i> sp. 01	O	130-140	S	L	Par	
		<i>Foraminispora</i>		<i>Foraminispora rugosa</i> (Berk.) Costa-Rez., Drechsler-Santos & Robledo	NE; SO	100-130	M; S	T	Sap	

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	EXPO.	ALT.	PEND.	SUS.	FVIDA
Basidiomycota	Agaricomycetes	Polyporales	Polyporaceae	<i>Ganoderma</i>	<i>Ganoderma martinicense</i> Welti & Courtec.	N; NE; SE	110-140	F; M; P	L	Sap
				<i>Inserta sedis</i>	<i>Poliporoide</i> sp. 01	N	120-130	M	T	Sap
					<i>Poliporoide</i> sp. 02	SE	130-140	P	L	Sap
				<i>Lentinus</i>	<i>Lentinus berteroi</i> (Fr.) Fr.	N	120-140	M	L	Sap
					<i>Lentinus crinitus</i> (L.) Fr.	NE	110-120	M	L	Sap
					<i>Lentinus tricholoma</i> (Mont.) Zmitr.	N; NE; C; NO	120-140	F; M; S	L	Sap
					<i>Lentinus velutinus</i> Fr.	N; NE; SO; O	120-140	F; M; S	T	Sap
				<i>Polyporus</i>	<i>Polyporus</i> sp. 01	S	130-140	S	L	Sap
				<i>Trametes</i>	<i>Trametes</i> aff. <i>variegata</i>	NE; NO	120-140	M	L	Sap
					<i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel	N; NE	120-145	M; P	L	Sap
		Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i>	<i>Russula</i> sp. 01	NE	130-140	S	T	Mic
		Sebacinales	Sebacinaceae	<i>Sebacina</i>	<i>Sebacina schweinitzii</i> (Peck) Oberw.	N; NE	120-130	M	H	Sap
		Thelephorales	Thelephoraceae	<i>Thelephora</i>	<i>Thelephora versatilis</i> Ram.-Lóp. & Villegas	N; NO	100-130	F; M	T	Mic
		Trechisporales	Hydnodontaceae	<i>Trechispora</i>	<i>Trechispora pallescens</i> (Bres.) K.H. Larss.	N; NE; NO; SO	100-140	F; M; P; S	H	Sap
		Dacrymycetes	Dacrymycetales	Dacrymycetaceae	<i>Dacrymyces</i>	<i>Dacrymyces spathularia</i> (Schwein.) Alvarenga	N	120-130	M	T
Tremellomycetes	Tremelales	Tremellaceae	<i>Tremella</i>	<i>Tremella wrightii</i> Berk. & M.A. Curtis	N	110-130	F; M	T	Sap	

PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LAS RAÍCES DE ÁRBOLES NATIVOS Y SU POSIBLE EFECTO SOBRE LA ESTABILIDAD DEL SUELO EN DURANGO

MECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NATIVE TREE ROOTS AND THEIR POSSIBLE EFFECT ON SOIL STABILITY IN DURANGO

Bejar-Pulido, S.J.; F.J. Hernández; I. Cantú-Silva; H. González-Rodríguez; E.O. Luna-Robles y T.G. Domínguez-Gómez

PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LAS RAÍCES DE ÁRBOLES NATIVOS Y SU POSIBLE EFECTO SOBRE LA ESTABILIDAD DEL SUELO EN DURANGO

MECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NATIVE TREE ROOTS AND THEIR POSSIBLE EFFECT ON SOIL STABILITY IN DURANGO



Propiedades mecánicas y químicas de las raíces de árboles nativos y su posible efecto sobre la estabilidad del suelo en Durango

Mechanical and chemical properties of native tree roots and their possible effect on soil stability in Durango

Bejar-Pulido, S.J.;
F.J. Hernández;
I. Cantú-Silva;
H. González-Rodríguez;
E.O. Luna-Robles
y T.G. Domínguez-Gómez

PROPIEDADES
MECÁNICAS Y QUÍMICAS
DE LAS RAÍCES DE
ÁRBOLES NATIVOS Y SU
POSIBLE EFECTO SOBRE
LA ESTABILIDAD DEL
SUELO EN DURANGO

MECHANICAL AND
CHEMICAL PROPERTIES
OF NATIVE TREE ROOTS
AND THEIR POSSIBLE
EFFECT ON SOIL
STABILITY IN DURANGO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 107-124. Enero 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.57.6

Silvia Janeth Bejar-Pulido / siljan2411@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5163-704X>

Francisco Javier Hernández

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

Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico SN, Forestal
C.P. 34942. El Salto, Durango, México

Israel Cantú-Silva

<https://orcid.org/0000-0001-8996-0881>

Humberto González-Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0003-0798-0825>

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera
Nacional núm. 85 Km 145. C.P. 67700. Linares, Nuevo León, México

Erik Orlando Luna-Robles

<https://orcid.org/0000-0001-5133-0403>

Tilo Gustavo Domínguez-Gómez

<https://orcid.org/0000-0002-6106-007X>

Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico SN, Forestal
C.P. 34942. El Salto, Durango, México

RESUMEN: En México los desastres naturales relacionados con sedimentos, como los desprendimientos, deslizamientos y aluviones, generalmente son inducidos por actividades antropogénicas como la construcción de caminos, que modifican, la cubierta vegetal, características del suelo, la densidad de las raíces y la estabilidad de los taludes. El objetivo de esta investigación fue evaluar las características mecánicas y químicas de raíces de especies forestales arbóreas (*J. deppeana*, *Q. sideroxylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi*) presentes en cortes de talud de la carretera principal que conecta la zona urbana con la zona rural del municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Se colectaron 30 muestras de raíces por especie y fueron divididas en tres categorías diamétricas (CD) (CD I = 0.1-3.0 mm, CD II = 3.1-6.0 mm y CD III = 6.1-10 mm). Las propiedades mecánicas (fuerza máxima de quiebre [F_{max}], fuerza de tensión [T_s] y módulo de elasticidad [E_{root}]) se analizaron con una maquina universal *Instron SATEC* a una velocidad constante de 10 mm/min. La cantidad de celulosa, lignina y hemicelulosa se determinó por medio del método de Van-Soest. Los resultados mostraron diferencias significativas entre especies para todas las propiedades analizadas. Particularmente *J. deppeana* presentó valores más altos de F_{max} , T_s y E_{root} de 402.80 N, 34.06 N mm², 1283.45N mm², así como de los contenidos de celulosa (40.29%), hemicelulosa (12.57%) y lignina (37.63%). La caracterización mecánica y química de las raíces de las especies forestales evaluadas provee información importante que puede ser considerada en actividades de mantenimiento y rehabilitación de taludes.

Palabras clave: suelo; fijación; fuerza de tensión; especies forestales; celulosa

ABSTRACT: In Mexico, natural disasters related to sediments, such as landslides, landslides and alluviums, are generally induced by anthropogenic activities such as

road construction, which modify the vegetation cover, soil characteristics, root density and soil stability. slopes. The objective of this research was to evaluate the mechanical and chemical characteristics of roots of tree forest species (*J. deppeana*, *Q. sideroxylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi*) present in slope cuts of the main road that connects the urban area with the rural area of the municipality of Pueblo Nuevo, Durango. 30 root samples per species were collected and divided into three diameter categories (CD) (CD I = 0.1-3.0 mm, CD II = 3.1-6.0 mm and CD III = 6.1-10 mm). The mechanical properties (maximum breaking force [F_{max}], tensile strength [T_s] and elastic modulus [E_{root}]) were analyzed with an *Instron SATEC* universal machine at a constant speed of 10 mm/min. The amount of cellulose, lignin and hemicellulose was determined using the Van-Soest method. The results showed significant differences between species for all the properties analyzed. Particularly *J. deppeana* presented higher values of F_{max} , T_s and E_{root} of 402.80 N, 34.06 N mm², 1283.45 N mm², as well as the contents of cellulose (40.29%), hemicellulose (12.57%) and lignin (37.63%). The mechanical and chemical characterization of the roots of the evaluated forest species provides important information that can be considered in slope maintenance and rehabilitation activities.

Key words: soil; fixation; tensile strength; forest species; cellulose

INTRODUCCIÓN

En México los desastres naturales relacionados con sedimentos, como los desprendimientos, deslizamientos y aluviones, generalmente son inducidos por actividades antropogénicas como la construcción de caminos, que modifican, la cubierta vegetal, características del suelo, la densidad de las raíces y la estabilidad de los taludes (Vergani *et al.*, 2012; Stokes *et al.*, 2014; Abdi, 2018). Aunado a lo anterior, la presencia de fenómenos hidrometeorológicos y eventos geofísicos son considerados como los principales detonantes de la inestabilidad del suelo (Mora-Ortiz & Rojas-González, 2012).

Cabe señalar que gran parte de los diferentes asentamientos humanos y caminos urbanos y rurales de la Sierra Madre Occidental presentan sensibilidad de ser afectadas por la inestabilidad de taludes debido al típico relieve accidentado (González-Elizondo *et al.*, 2012). Además, la situación geográfica de México lo expone a fenómenos hidrometeorológicos del Pacífico, que lo hace más susceptible a los procesos de remoción de masas (De la Rosa & Valdés-Rodríguez, 2021).

Una alternativa para mantener la estabilidad de los taludes más económica, ecológica y sustentable es la implementación de la bioingeniería de suelos (Stokes *et al.*, 2014; Sánchez-Castillo *et al.*, 2017; Valdés-Rodríguez *et al.*, 2020). Es considerada una práctica efectiva, donde la vegetación desempeña un papel importante, brindando múltiples beneficios tales como la intercepción de la precipitación, aumento de la evapotranspiración, reducción de la humedad del suelo, disminución de la erosión, las raíces refuerzan al talud contra fallas, mejora de la infiltración y permeabilidad del suelo, entre otros (Gray & Sotir, 1996; Vergani *et al.*, 2012; Chao *et al.*, 2017; García & Vidal, 2021; Vallarino *et al.*, 2021). No obstante, la elección correcta de las especies a utilizar en pendientes no suele ser fácil, ya que se requiere de información sobre la ecología de las plantas y su eficiencia para fijar y reforzar el suelo, por lo que la determinación de las variables químicas y mecánicas de las raíces son una herramienta que puede ser consideradas en la bioingeniería de suelos (Vallarino *et al.*, 2021).

El sistema radicular desempeña diversas funciones mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y modifica la estructura y la resistencia del suelo a la erosión (Guo *et al.*, 2016), además, es el componente con mayor interacción con el anclaje y fijación del suelo, la cual varía de acuerdo a las características morfológicas (tipo y forma de raíz), mecánicas (fuerza máxima de quiebre, fuerza de tensión y módulo de elasticidad), químicas (contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina), profundidad del suelo, densidad de raíces y nivel de penetración (Valdés, 2016) de las raíces que presentan las especies empleadas en la

revegetación del talud (Fernández-Villarreal *et al.*, 2022; Genet *et al.*, 2010; Ruan *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2016). Por lo anterior, se propone como objetivo la evaluación de las características mecánicas y químicas de raíces de especies forestales arbóreas presentes en cortes de talud de la carretera principal que conecta la zona urbana con la zona rural del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, con el fin de proponer una posible estrategia sostenible sobre que especies podrían mejorar la estabilidad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en El Salto, Durango, perteneciente a la cadena montañosa de la Sierra Madre Occidental, localizado entre las coordenadas 23° 43' 22" N y 105° 24' 36" W. Específicamente, en el tramo carretero El Salto-La Peña, con una altitud de 2500-2800 msnm. La precipitación media anual es de 1300 mm, y temperatura media anual de 3 a 18°C. Los principales tipos de clima son C (E) (M): semifrío húmedo, C (E) (W2): semifrío subhúmedo, C (W2): templado subhúmedo; con lluvias durante el verano (García, 2004). La vegetación se encuentra dominada por bosques de Pino-Encino.

Muestreo

El muestreo empleado fue dirigido hacia las raíces finas de especies arbóreas nativas de *Juniperus deppeana* Steud, *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl, *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus cooperi* C.E. Blanco, de mayor representatividad ecológica y económica que están presentes sobre los cortes de taludes del tramo carretero El Salto-La Peña.

Para realizar las pruebas mecánicas de las raíces, primeramente, se identificaron de los sistemas radiculares expuestos las raíces vivas que entraran en las siguientes categorías diamétricas (CD): I) de 0.1 a 3.0 mm, II) 3.1 a 6.0 mm y III) de 6.1 a 10 mm, una vez identificadas se colectaron 30 muestras (10 por CD) de 10 cm de longitud de cada especie seleccionada, sin daños físicos aparentes (Sánchez-Castillo *et al.*, 2017).

Para el análisis químico del contenido de fibras se aumentó el número de muestras (60) hasta alcanzar el peso seco mínimo requerido (2 g) por CD. Las muestras de las raíces colectadas fueron llevadas al laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto para su preparación y análisis mecánico. Para la determinación de los componentes químicos las raíces fueron secadas en una estufa de secado marca Felisa®, Model FE-292AD a una temperatura de 60°C durante 24 horas y posteriormente trasladadas al laboratorio de Nutrición de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

La fuerza máxima de quiebre de las raíces de cada especie se determinó en la máquina *Universal Instron SATEC* con capacidad máxima de carga de 60 toneladas, aplicando una velocidad constante de 10 mm/min¹. Los datos se visualizaron en el programa Merlin. Primeramente, los extremos de las raíces sin corteza se reforzaron con cilindros de resina epóxica similar a lo realizado por Ammann *et al.* (2009) lo cual permite una transferencia limpia de fuerza desde los dispositivos de sujeción a la raíz sin resbalones o daños (Figura 1).



Figura 1. Muestras de raíz preparadas con extremos radiculares moldeados en resina sintética.
Figure 1. Root samples prepared with root tips embedded in synthetic resin.

Conociendo la fuerza máxima de quiebre (F_{max}) de las raíces de cada una de las CD de cada especie, se estimó la fuerza de tensión (T_s) expresada en $N\ mm^2$ y el módulo de elasticidad $N\ mm^2$ (E_{root}) que indica la rigidez de la raíz, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$T_s = F_{max} / \pi(D/2)^2$$

$$E_{root} = \frac{F_{max}/A_0}{\Delta L/L_0}$$

dónde:

- F_{max} = fuerza máxima de quiebre (N)
- D = diámetro promedio de la raíz (mm)
- A_0 = área de la sección transversal (mm^2)
- ΔL = cambio en la longitud de la raíz (mm)
- L_0 = longitud inicial de la raíz (mm)

La determinación de los contenidos de fibras se desarrolló por medio del método de Van-Soest *et al.* (1991), por el fraccionamiento secuencial de la pared celular, obteniendo la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina (Fernández-Villarreal *et al.*, 2022).

Análisis estadístico

Los datos de las propiedades mecánicas (F_{max} , T_s y E_{root}) y químicas (celulosa, hemicelulosa y lignina) cumplieron con los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Levene), por lo que se realizó un análisis de varianza con arreglo bifactorial, para determinar si existen diferencias significativas entre los factores y su interacción con un nivel de significancia de 0.05. Para diferenciar los valores medios se utilizó la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). Asimismo, se aplicó un análisis de regresión para determinar si el diámetro de las raíces de las cuatro especies está correlacionado con la fuerza de tensión y el módulo de elasticidad. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS Statistics Versión 22 (International Business Machines (IBM), 2013).

RESULTADOS

Propiedades mecánicas de las raíces

En la Tabla 1 se observan los estadísticos descriptivos del A_0 y F_{max} en las unidades muestreadas, en donde el valor medio más alto del A_0 los presentó *P. durangensis* y el menor *J. deppeana*, mientras que el valor medio más alto y bajo de la F_{max} se presentó en *J. deppeana* y *P. cooperi*, respectivamente.

Tabla 1. Valores mínimos (min), máximos (max) media, desviación estándar (DS) y varianza del área de la sección transversal (A_0) y fuerza máxima de quiebre (F_{max}) de las raíces en las unidades muestreadas.

Table 1. Minimum (min), maximum (max), mean, standard deviation (SD), and variance values of the cross-sectional area (A_0) and maximum breaking force (F_{max}) of the roots in the sampled units.

Especie	Variable	Min	Max	Media	DS	Varianza
<i>J. deppeana</i>	A_0 (mm ²)	1.35	60.68	18.58	18.03	325.26
	F_{max} (Kgf)	6.74	88.16	41.07	25.42	646.50
<i>Q. sideroxylla</i>	A_0 (mm ²)	1.43	60.68	18.69	16.11	259.74
	F_{max} (Kgf)	9.28	78.85	33.37	27.59	761.41
<i>P. durangensis</i>	A_0 (mm ²)	2.01	68.08	24.53	19.03	362.26
	F_{max} (Kgf)	15.33	63.64	37.35	16.70	279.06
<i>P. cooperi</i>	A_0 (mm ²)	3.27	49.64	19.52	14.60	213.40
	F_{max} (Kgf)	9.56	40.52	23.26	11.68	136.55

De acuerdo con el análisis de varianza, las propiedades mecánicas, F_{max} , T_s y E_{root} de las raíces, mostraron diferencias altamente significativas entre especies y diámetros de las raíces, así como en su interacción ($p < 0.01$) (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza entre especies, categorías diamétricas y su interacción para F_{max} , T_s y E_{root} de las raíces de cuatro especies forestales.

Table 2. Analysis of variance between species, diameter categories, and their interaction for F_{max} , T_s , and E_{root} of the roots of four forest species.

Fuentes de variación	Variables	gl	CM	F	Prob. de F
Especie	F_{max}	3	169847.0	126.7	<0.01
	T_s	3	1804.0	24.1	<0.01
	E_{root}	3	5549840.8	57.5	<0.01
Diámetro de las raíces	F_{max}	2	2163322.7	1613.4	<0.01
	T_s	2	5895.1	78.6	<0.01
	E_{root}	2	1930324.7	20.0	<0.01
Especie*Diámetro de las raíces	F_{max}	6	102439.7	76.4	<0.01
	T_s	6	396.5	5.3	<0.01
	E_{root}	6	1578086.3	16.4	<0.01

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey entre especies señala que *J. deppeana* y *P. durangensis* presentaron promedios significativamente similares ($p>0.05$) entre sí, siendo las más resistentes al quiebre; en contraste, *Q. sideroxylla* y *P. cooperi*, resultaron significativamente diferentes ($p\leq 0.05$) y menores en F_{\max} a las demás especies ($p\leq 0.05$). En relación con la T_s y al E_{root} , *J. deppeana* presentó los valores más altos y fue significativamente diferente a las demás especies ($p\leq 0.05$), en contraste con *P. cooperi*, especie reportada con los valores más bajos. A su vez, la T_s y el E_{root} fueron significativamente similares entre *P. durangensis* y *Q. sideroxylla*, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios \pm desviación estándar para F_{\max} , T_s y E_{root} ($n=120$) de las raíces de las especies evaluadas.
Table 3. Mean values \pm standard deviation for F_{\max} , T_s , and E_{root} ($n=120$) of the roots of the evaluated species.

Espece	F_{\max} (N)	T_s (N mm ²)	E_{root} (N mm ²)
<i>J. deppeana</i>	402.80 \pm 249.35 a	34.06 \pm 18.22 a	1283.45 \pm 708.12 c
<i>Q. sideroxylla</i>	327.34 \pm 270.61 b	22.20 \pm 12.75 b	619.36 \pm 484.41 b
<i>P. durangensis</i>	366.30 \pm 163.82 a	23.82 \pm 15.42 b	506.82 \pm 270.59 ab
<i>P. cooperi</i>	228.19 \pm 114.60 c	15.28 \pm 5.92 c	283.33 \pm 98.41 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p\leq 0.05$).

Por otra parte, la diferenciación de medias para las propiedades mecánicas por CD muestra que F_{\max} y la T_s fueron significativamente diferentes en cada una de las especies estudiadas, mientras que el E_{root} solamente se presentaron diferencias significativas entre las CD de *P. durangensis* y *P. cooperi*. Particularmente la CD I de *J. deppeana* y la CD III de *Q. sideroxylla* del E_{root} fueron superiores a las CD complementarias. A su vez, se observa que la F_{\max} incrementa con el diámetro, la T_s disminuye y el E_{root} no presenta una tendencia definida en cada una de las especies (Figura 2).

La comparación de medias de la interacción de factores se presenta en la Tabla 4, donde las CD III de las especies *J. deppeana* y *Q. sideroxylla* presentaron las más alta F_{\max} y además fueron significativamente similares. La F_{\max} de *P. cooperi* con CD II, *Q. sideroxylla* con CD II, *P. durangensis* con CD I y *J. deppeana* con CD I no presentaron diferencias significativas entre ellas. La menor F_{\max} de quiebre se registró entre las interacciones de las especies *Q. sideroxylla* con CD I y *P. cooperi* con CD I (Tabla 4).

En relación con la T_s , los resultados indican la formación de cuatro grupos de interacciones significativamente diferentes. El primer grupo, representando las interacciones con menor fuerza de tensión lo componen la CD III de las especies *J. deppeana*, *Q. sideroxylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi*; CD II de *Q. sideroxylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi* y la CD I de *P. cooperi*. El segundo grupo lo forman las interacciones de la CD II de *J. deppeana* y CD I de *P. cooperi*. El tercer grupo está conformado por la CD II de *J. deppeana* y CD I de *Q. sideroxylla* y *P. durangensis*. A su vez, la T_s más alta se dio en la CD I de *J. deppeana*, interacción que forma el cuarto grupo (Tabla 4).

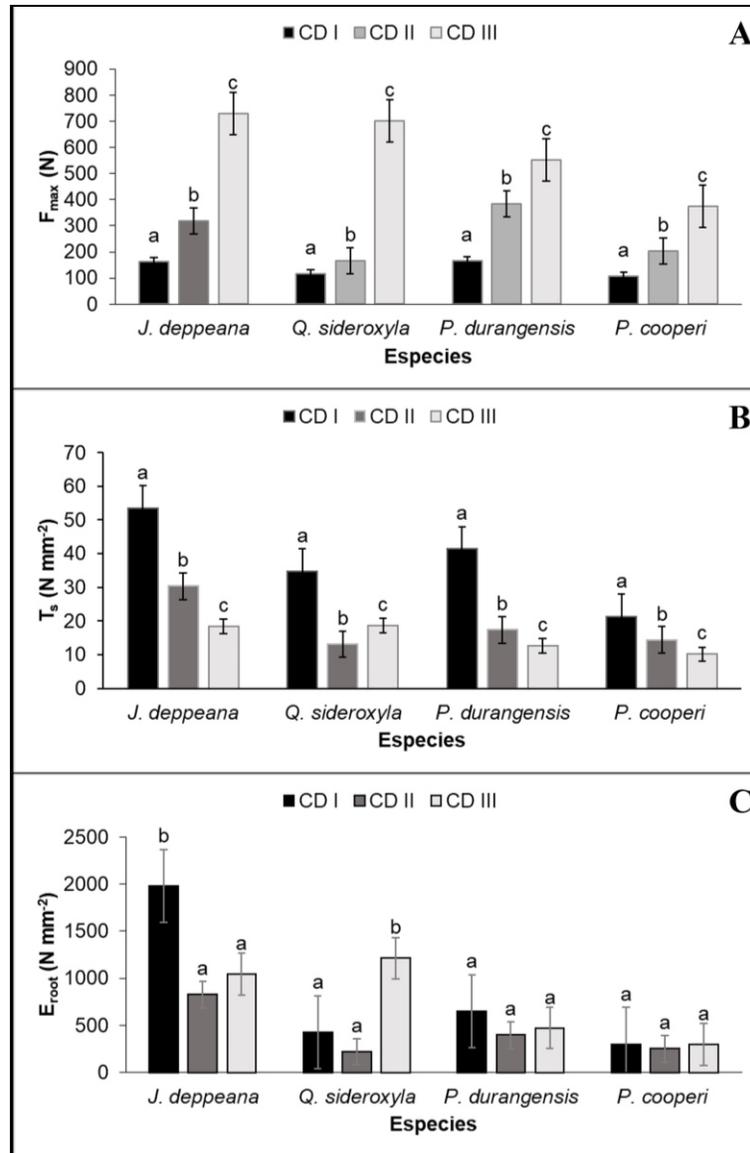


Figura 2. Propiedades mecánicas de las raíces de cuatro especies forestales; A) F_{max} , B) T_s y C) E_{root} por categoría diamétrica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figure 2. Mechanical properties of the roots of four forest species; A) F_{max} , B) T_s , and C) E_{root} by diameter category. Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

Los resultados de la interacción del E_{root} indican que la CD I de *J. deppeana* registro el valor más alto. El grupo formado por la CD II y III de *J. deppeana* y CD III de *Q. sideroxylla*, fueron significativamente similares entre ellas, precediendo a la anterior de mayor E_{root} . A su vez, el grupo de la CD II y III de *J. deppeana* y CD I de *P. durangensis* presentaron el tercer mayor E_{root} . El menor E_{root} se registró en las tres CD de *P. cooperi*, CD II de *Q. sideroxylla* y la CD II de *P. durangensis* (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias de la interacción de factores (especies*CD) de la F_{max} , T_s y E_{root} .
Table 4. Comparison of means for the interaction of factors (species*CD) for F_{max} , T_s , and E_{root} .

Especie/CD	Propiedades mecánicas		
	F_{max} (N)	T_s (N mm ²)	E_{root} (N mm ²)
Jd/CD I	161.60 b	53.39 d	1979.44 e
Jd/CD II	317.14 c	30.33 bc	825.61 bcd
Jd/CD III	729.66 f	18.46 a	1045.31 cd
Qs/CD I	115.36 a	34.70 c	425.29 ab
Qs/CD II	166.35 b	13.15 a	221.45 a
Qs/CD III	700.31 f	18.74 a	1211.34 d
Pd/CD I	165.14 b	41.37 c	651.91 abc
Pd/CD II	382.98 d	17.39 a	397.40 a
Pd/CD III	550.79 e	12.70 a	471.15 ab
Pc/CD I	105.96 a	21.28 ab	301.21 a
Pc/CD II	203.76 b	14.42 a	252.31 a
Pc/CD III	374.85 d	10.14 a	296.49 a

La relación entre diámetro y T_s de las especies se presenta en las Figuras 3 y 4, donde la tendencia de los datos muestra que la T_s disminuye conforme incrementa el diámetro de las raíces en todas las especies, mientras que considerando el E_{root} , dicha tendencia, solo ocurre en las especies de *P. durangensis* y *J. deppeana*. La máxima relación entre la inversa de los diámetros de las raíces de las especies y la T_s se observó en *P. durangensis* ($R^2=0.935$), seguida de *P. cooperi* ($R^2=0.876$), *J. deppeana* ($R^2=0.743$) y *Q. sideroxylla* ($R^2=0.709$). En general, la relación entre E_{root} y diámetro en las cuatro especies presentó coeficientes de determinación (R^2) bajos.

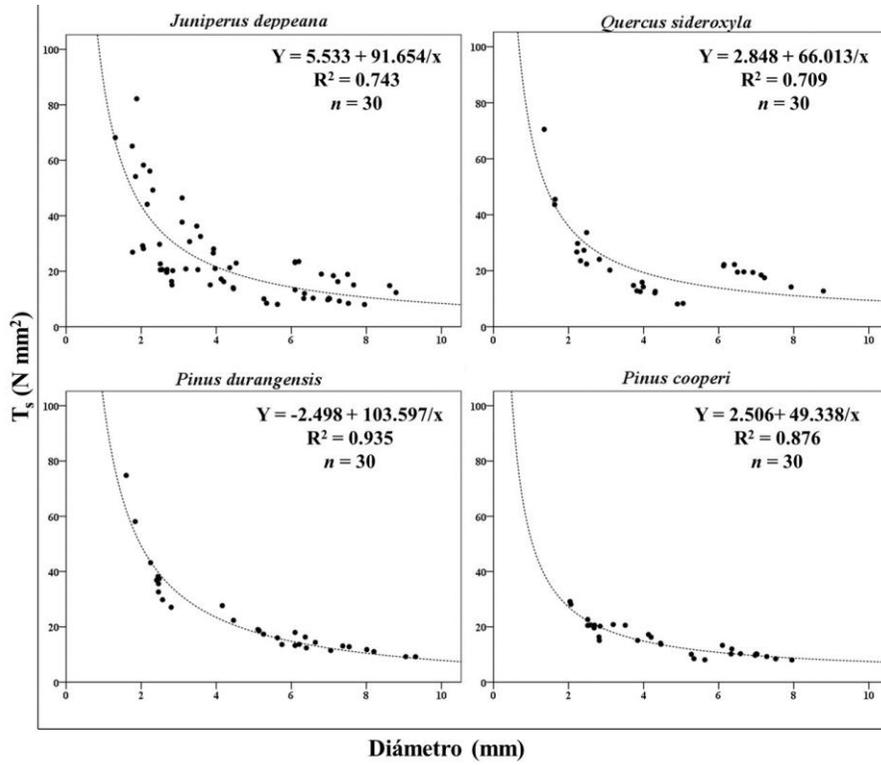


Figura 3. Relación entre diámetro y fuerza de tensión (T_s) de las especies analizadas.
Figure 3. Relationship between diameter and tensile strength (T_s) of the analyzed species.

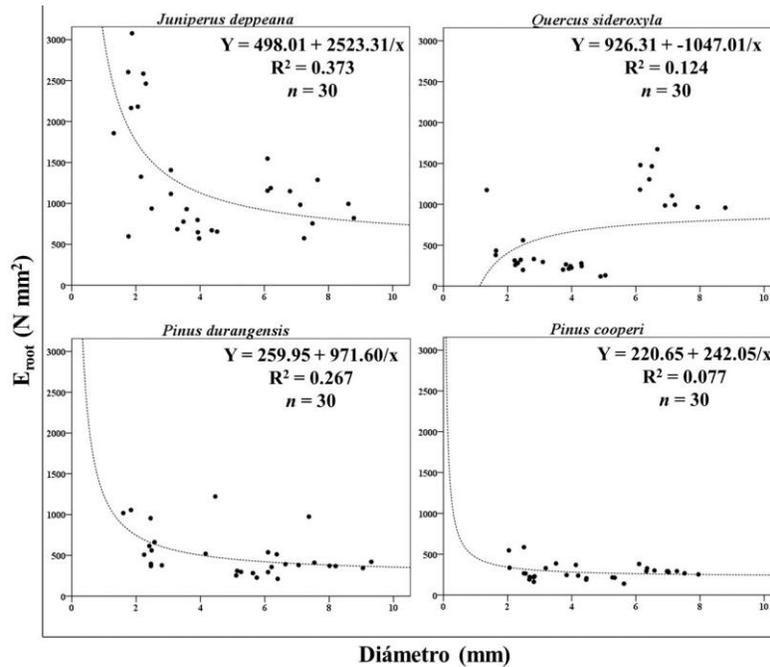


Figura 4. Relación entre diámetro y módulo de elasticidad (E_{root}) de las especies analizadas.
Figure 4. Relationship between diameter and modulus of elasticity (E_{root}) of the analyzed species.

Análisis del contenido de fibras

El análisis de varianza indica diferencias altamente significativas para los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, entre especies como por CD. En la interacción solo hemicelulosa no presentó diferencias significativas (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza entre especies, categorías diamétricas y su interacción para las variables químicas.
Table 5. Analysis of variance between species, diameter categories, and their interaction for the chemical variables.

Fuentes de variación		gl	CM	F	Sig.
Especie	Celulosa	3	0.021	381.11	<0.01
	Hemicelulosa	3	0.067	40.29	<0.01
	Lignina	3	0.227	1137.89	<0.01
Diámetro de las raíces	Celulosa	2	0.028	519.78	<0.01
	Hemicelulosa	2	0.139	83.82	<0.01
	Lignina	2	0.090	449.84	<0.01
Especie * Diámetro de las raíces	Celulosa	6	0.000	4.02	0.004
	Hemicelulosa	6	0.001	0.72	0.636
	Lignina	6	0.001	6.15	<0.01

En la Figura 5 se muestran los resultados de las comparaciones múltiples de los valores medios de los contenidos de fibras para las cuatro especies evaluadas. En relación con el contenido de celulosa, *J. deppeana* y *P. cooperi* fueron las especies que presentaron el mayor y menor contenido de celulosa respectivamente. A su vez, la mayor concentración de hemicelulosa se mostró en *Q. sideroxylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi* que fueron significativamente similares entre sí, mientras que *J. deppeana* registró el menor contenido de hemicelulosa. Por último, el mayor contenido de lignina se registró en *J. deppeana* y *Q. sideroxylla*, mientras que el más bajo se reportó en las especies de *P. durangensis* y *P. cooperi*.

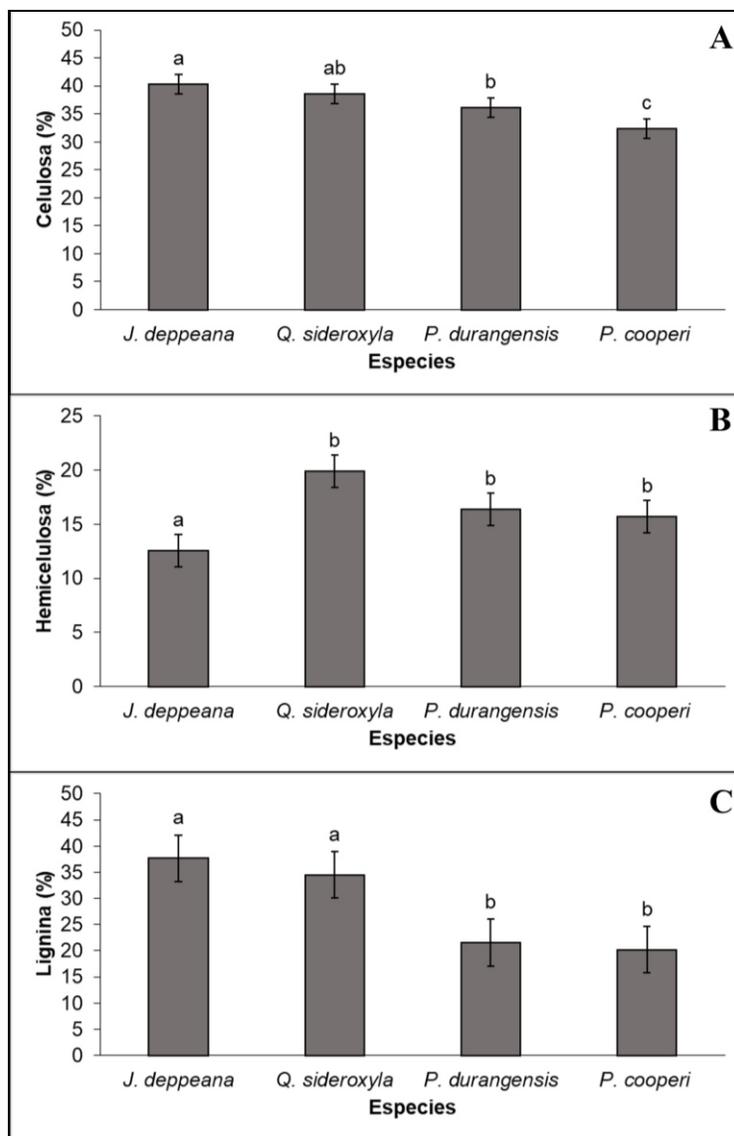


Figura 5. Propiedades químicas de cuatro especies forestales; A) celulosa, B) hemicelulosa y C) lignina de las raíces por especie evaluada ($n=48$). Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figure 5. Chemical properties of four forest species; A) cellulose, B) hemicellulose, and C) lignin of the roots for the evaluated species ($n=48$). Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

De acuerdo con la Figura 6, los contenidos de celulosa y hemicelulosa de las raíces de las cuatro especies presentaron una misma tendencia entre las CD, donde al incrementarse el diámetro de la raíz disminuyó significativamente el contenido de estos dos componentes químicos. Por otra parte, la lignina presentó un comportamiento contrario, es decir a mayor diámetro mayor contenido de esta fibra para todas las raíces de especies evaluadas.

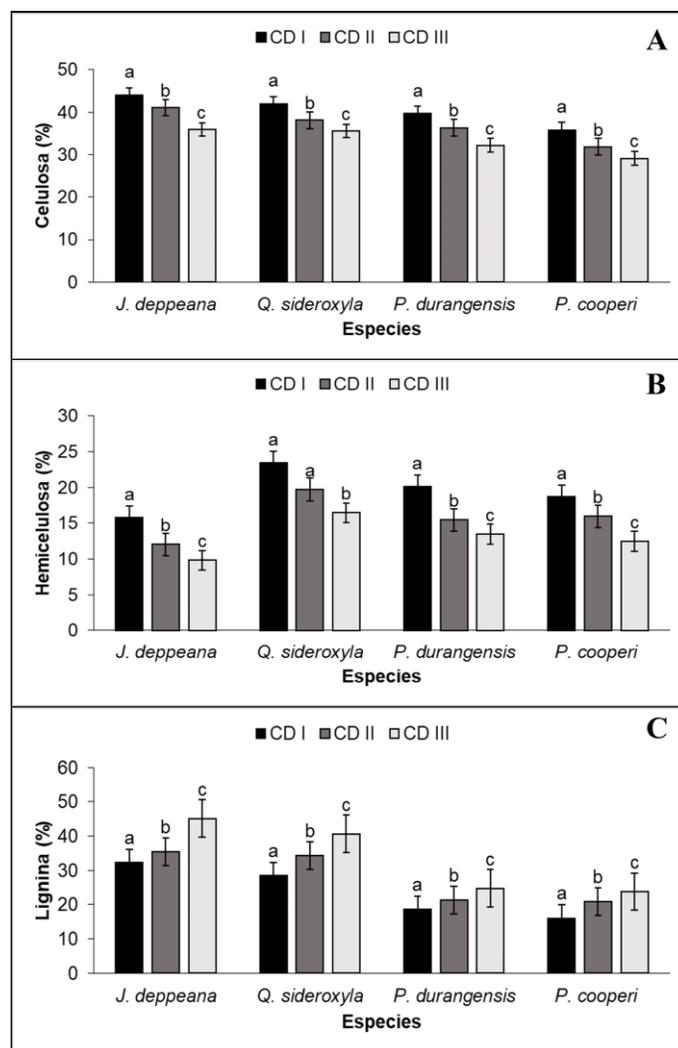


Figura 6. Comparación de medias de los contenidos de A) celulosa, B) hemicelulosa y C) lignina entre categorías diamétricas por especie ($n=12$). Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figure 6. Comparison of means of the contents of A) cellulose, B) hemicellulose, and C) lignin between diameter categories by species ($n=12$). Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Según Sánchez-Castillo *et al.* (2017) y Zavala-González *et al.* (2019) existe una estrecha relación entre los aumentos de diámetro de las raíces y la F_{\max} ; los resultados del presente estudio coinciden con lo antepuesto, lo cual puede estar atribuido a la naturaleza química de las raíces. De acuerdo con Fernández-Villarreal *et al.* (2022) el contenido de celulosa aumenta la resistencia al quiebre, lo cual puede verse reflejado en las raíces de *J. deppeana* que presentaron los mayores contenidos de celulosa y F_{\max} .

El contenido de celulosa y la fuerza de tensión fueron más altos en la CD I (0.1-3.0 mm) en todas las especies, y disminuyó conforme incrementó el diámetro de la raíz siguiendo la función de ley de potencia negativa (Genet *et al.*, 2005, 2010; Hales *et al.*, 2009; Jung-Tai *et al.*, 2017). En este sentido, Zhang *et al.* (2014) y Melese *et al.* (2021), especifican que las raíces de

diámetros pequeños presentan una mayor fuerza de tensión, debido al alto contenido de celulosa, generando mayor resistencia a la falla y mejorando el refuerzo de la raíz.

Gray & Sotir (1996) y Martínez *et al.* (2022) señalan que el tipo de madera ya sea dura o blanda puede influir significativamente sobre la fuerza de tensión o resistencia a la tracción, específicamente las especies de maderas duras tienden a encontrarse en un rango de 8 a 80 N mm² en diámetros de 2 a 15 mm, mientras que las maderas blandas específicamente las de pino varían de 1.54 a 21.50 N mm² en diámetros de 0.1-10 mm (Sánchez-Castillo *et al.*, 2017). En este estudio los datos de tensión presentaron el siguiente orden ascendente 15.28<22.20<23.82<34.06 N mm² con diámetros de 0.1 a 10 mm, y donde el valor más bajo corresponde a una especie de madera menos densa o blanda (*P. cooperi*) y la más alta a madera más densa o dura (*J. deppeana*).

Las raíces de *J. deppeana* presentaron el mayor módulo de elasticidad, lo cual puede estar relacionado con los contenidos de celulosa y hemicelulosa, componentes químicos que le dan los atributos de elasticidad a la raíz, resistencia a la deformación, fallas en la tensión y efecto de refuerzo (Zhang *et al.*, 2014). En contraste con *P. cooperi* que presentó el menor módulo de elasticidad. Sánchez-Castillo *et al.* (2017) mencionan que las cortezas de las raíces de pino son gruesas, quebradizas y agrietadas, características típicas que pueden ocultar los defectos en la raíz, lo que podría provocar un efecto de variación en la medición del módulo de elasticidad, lo cual puede verse reflejado en los bajos coeficientes de determinación de las relaciones diámetro y E_{root} realizadas en el presente estudio.

De acuerdo con Maceda *et al.* (2022), la lignina es una sustancia hidrofóbica que elimina agua de las paredes celulares, pudiendo influir sobre la rigidez de la raíz que la hace menos elástica y más quebradiza. Lo que concuerda con los resultados del presente estudio donde se aprecia un incremento en el contenido de lignina conforme aumenta el diámetro y una menor fuerza de tensión, siguiendo la misma tendencia en todas las especies evaluadas.

Vergani *et al.* (2012) evaluaron en especies arbóreas del bosque alpino en Italia, donde la fuerza de quiebre osciló de 13.93 a 185.25 N, atribuyendo esta variabilidad a las características del sitio. La fuerza máxima de quiebre de las raíces presentó variabilidad entre las especies. Sin embargo, los valores para las especies del género *Quercus* y *Pinus* fueron ligeramente superiores a los reportados por Zavala-González *et al.* (2019) y Sánchez-Castillo *et al.* (2017) en la Sierra Madre Oriental. La variación de dichos valores puede estar influenciada por las características de los sitios tales como: altitud, suelo, profundidad del suelo, pendiente, área drenada y en menor proporción por otras variables ambientales de la zona que no fueron evaluadas en el presente estudio (Vergani *et al.*, 2012).

Se realizó una recopilación de diversos estudios de raíces de especies forestales donde se evaluó la F_{max} y T_s en diferentes regiones del mundo. Particularmente, los registros de F_{max} de *J. deppeana* y *P. durangensis*, especies del presente estudio sobresalen como las de mayor magnitud, al contrario *Q. sideroxyla* y *P. cooperi* mostraron valores relacionados con los determinados en especies del mismo género de la Sierra Madre Oriental. No obstante, los valores de la T_s presentaron una tendencia similar a la mayoría de las especies evaluadas (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de la fuerza máxima de quiebre (F_{max}) y de tensión (T_s) de diferentes estudios enfocados en especies forestales arbóreas.

Table 6. Comparison of maximum breaking force (F_{max}) and tensile strength (T_s) from different studies focused on tree forest species.

Autor	Especie	Lugar de evaluación	Diámetro (mm)	F_{max} (N)	T_s (N mm ²)
Vergani <i>et al.</i> (2012)	<i>Picea abies</i> L.	Bosque alpino, Italia	1-10	76.54	8.94
	<i>Larix decidua</i> Mill.			22.94	8.30
	<i>Fagus sylvatica</i> L.			116.47	16.51
	<i>Castanea sativa</i> Mill.			41.81	7.98
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.			67.83	12.65
	<i>Fraxinus excelsior</i> L.			45.70	9.41
	<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.			94.88	12.21
Yang <i>et al.</i> (2016)	<i>Betula platyphylla</i> Sukaczew	Bosque latifoliado	1-10	-	21.32
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	caducifolio,		-	21.51
	<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.	China		-	11.38
	<i>Larix gmelinii</i> (Rupr.) Rupr.			-	12.71
Sánchez-Castillo <i>et al.</i> (2017)	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	Bosque de pino-encino, Sierra Madre Oriental, México	0-10	178.70	8.31
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.			205.48	7.52
Abdi (2018)	<i>Acer velutinum</i> Boiss.	Bosque templado (hircaniano), Irán	0.29-5-29	64.15	30.77
	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.			60.25	26.12
	<i>Carpinus betulus</i> L.			95.36	43.31
	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky			74.92	30.47
	<i>Fraxinus excelsior</i> L.			54.29	12.74
	<i>Parrotia persica</i> (DC.) C.A.Mey.			84.59	36.41
	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.			66.51	15.75
<i>Quercus castaneifolia</i> C.A.Mey.	83.59	42.67			
Zavala-González <i>et al.</i> (2019)	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	Bosque de pino-encino, Sierra Madre Oriental, México	0-10	138.95	9.07
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.			139.27	9.24
	<i>Quercus canbyi</i> Trel.			234.17	14.07
	<i>Quercus polymorpha</i> Schltld. & Cham.			218.08	11.34
	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.			301.25	19.27
Melese <i>et al.</i> (2021)	<i>Salix subserrata</i> Thunb.	Especies exóticas, Etiopía	0.25-8.5	-	41.00
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.			-	32.00
	<i>Psidium guajava</i> L.			-	38.00
Resultados del presente estudio (2023)	<i>Juniperus depepeana</i> Steud.	Bosque templado frío, Sierra Madre Occidental, México	0.1-10	402.80	34.06
	<i>Quercus sideroxyla</i> Humb. & Bonpl.			327.34	22.20
	<i>Pinus durangensis</i> Martínez			366.30	23.82
	<i>Pinus cooperi</i> C.E. Blanco			228.19	15.28

- Sin datos.

CONCLUSIONES

La caracterización mecánica y química de las raíces de las especies forestales evaluadas provee información importante que puede ser considerada en actividades de mantenimiento, rehabilitación y estabilización de taludes.

La F_{max} de las raíces de las cuatro especies incrementó conforme aumentó su diámetro. En contraste con la T_s que incrementó conforme disminuyeron los diámetros de las raíces, lo

anterior podría ser un indicador de un mayor refuerzo al suelo atribuido a la densidad de las raíces delgadas. Por otra parte, el E_{root} no mostró una relación directa con las categorías diamétricas empleadas.

J. deppeana fue la especie que presentó los valores más altos de F_{max} , T_s y E_{root} . Sin embargo, los valores medios en todas las especies fueron superiores a los citados en la literatura, por lo que las cuatro especies podrían ser empleadas en la revegetación de taludes de la zona evaluada para la precaución de fallos en los taludes.

En general, los contenidos de celulosa y hemicelulosa disminuyeron conforme incrementaron las categorías diamétricas para las cuatro especies, en contraste con los contenidos de lignina los cuales presentaron aumentos significativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONAHCYT por la beca de posdoctorado otorgada para el desarrollo de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Abdi, E. (2018). Root Tensile Force and Resistance of Several Tree and Shrub Species of Hyrcanian Forest, Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39, 225–270. <https://hrcak.srce.hr/204194>
- Ammann, M., Böll, A., Rickli, C., Speck, T., & Holdenrieder, O. (2009). Significance of tree root decomposition for shallow landslides. *Forest Snow and Landscape Research*, 82, 79–94. https://www.researchgate.net/profile/Ottmar-Holdenrieder/publication/228708326_Significance_of_tree_root_decomposition_for_shallow_landslides/links/09e4150878c57f1efd000000/Significance-of-tree-root-decomposition-for-shallow-landslides.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail&rtd=e30%3D
- Chao, Y., Zhonglu, G., Chongfa, C., Fengling, Y., & Zhonghao, M. (2017). Physical and chemical properties of the root systems of 5 herbaceous plants and their correlations. *Grassland Science*, 34, 598–606. <https://www.fx361.com/page/2017/0327/19457793.shtml>
- De la Rosa, P., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2021). *Usos de suelo y su relación con procesos de remoción en masa en la cuenca del río Nautla, Veracruz, México* (SEDEMA, Ed.; 1 ed.). https://www.researchgate.net/publication/350357798_Usos_de_suelo_y_su_relacion_con_procesos_de_remocion_en_masa_en_la_cuenca_del_rio_Nautla_Veracruz_Mexico
- Fernández-Villarreal, B., Zavala-González, R., Cantú-Silva, I., & González-Rodríguez, H. (2022). Composición química y morfología de raíces de cinco especies arbustivas nativas y su influencia en la fijación del suelo. *Botanical Sciences*, 100(1), 28–41. <https://doi.org/10.17129/botsci.2777>
- García, E. (2004). *Modificaciones to the Köppen climate classification system* (Serie Libros, Ed.; 6ed.). <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- García, M. M. J., & Vidal, C. V. C. (2021). *Estabilización de taludes en carreteras mediante la aplicación de la bioingeniería empleando plantones de pinos, tramo Piscobamba, Departamento de Ancash*. [Tesis]. Universidad César Vallejo.
- Genet, M., Li, M., Luo, T., Fourcaud, T., Clément-Vidal, A., & Stokes, A. (2010). Linking carbon supply to root cell-wall chemistry and mechanics at high altitudes in *Abies georgei*. *Annals of Botany*, 107(2), 311–320. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq237>

- Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S. B., Fourcaud, T., Dumail, J.-F., & van Beek, R. (2005). The Influence of Cellulose Content on Tensile Strength in Tree Roots. *Plant and Soil*, 278(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-8768-6>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, L. (2012). Vegetación de la sierra madre occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351–403. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512012000300012&script=sci_abstract&tlng=pt
- Gray, D. H., & Sotir, R. B. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A practical Guide for Erosion Control*. (John Wiley & Sons, Ed.). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kCbP6IvFHRAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Biotechnical+and+Soil+Bioengineering+Slope+Stabilization:+A+practical+Guide+for+Erosion+Control.+&ots=JU7fHTTkao&sig=8ECc0FFdDP8GTuz9rqdwSByU1jc>
- Guo, X. M., Huang, R. H., He, B. H., Shen, P. C., & Li, T. Y. (2016). Correlation analysis of soil physico chemical properties under different soil and water conservation biological measures in Three Gorges Reservoir Region. *Pratacultural Science*, 33, 555–563. <https://www.fx361.com/page/2017/0327/19457793.shtml>
- Hales, T. C., Ford, C. R., Hwang, T., Vose, J. M., & Band, L. E. (2009). Topographic and ecologic controls on root reinforcement. *Journal of Geophysical Research*, 114(F3), F03013. <https://doi.org/10.1029/2008JF001168>
- International Business Machines (IBM). (2013). *IBM SPSS Statistics for Windows, version 22.0*. (22.0). USA: IBM Corp.
- Jung-Tai, L., Sung-Ming, T., & Ming-Jen, L. (2017). Uprooting resistance of two tropical tree species for sand dune stabilization. *African Journal of Agricultural Research*, 12(45), 3214–3220. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12715>
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2022). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2), 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Martinez, A., Dejong, J., Akin, I., Aleali, A., Arson, C., Atkinson, J., Bandini, P., Baser, T., Borela, R., Boulanger, R., Burrall, M., Chen, Y., Collins, C., Cortes, D., Dai, S., DeJong, T., Del Dottore, E., Dorgan, K., Fragaszy, R., ... Zheng, J. (2022). Bio-inspired geotechnical engineering: principles, current work, opportunities and challenges. *Géotechnique*, 72(8), 687–705. <https://doi.org/10.1680/jgeot.20.P.170>
- Melese D. T., Senadheera S., & Legas A. T. (2021). Effect of Diameter, Root Moisture Content, Gauge Length and Loading Rate on Tensile Strength of Plant Roots and Their Contribution to Slope Stability. *Lowland Technology International Journal*, 22, 164–173. https://doi.org/https://doi.org/10.0001/ialt_lti.v22i4.749
- Mora-Ortiz, R. S., & Rojas-González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 13, 55–68. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8556584>
- Ruan, S., Tang, L., & Huang, T. (2022). The Pullout Mechanical Properties of Shrub Root Systems in a Typical Karst Area, Southwest China. *Sustainability*, 14(6), 3297. <https://doi.org/10.3390/su14063297>
- Sanchez-Castillo, L., Kubota, T., Cantu-Silva, I., Yanez-Diaz, M., Hasnawir, & Pequeno-Ledezma, M. (2017). Comparisons of the Root Mechanical Properties of three Native Mexican Tree Species for Soil Bioengineering Practices. *Botanical Sciences*, 95(2), 259269. <https://doi.org/10.17129/botsci.802>
- Stokes, A., Douglas, G. B., Fourcaud, T., Giadrossich, F., Gillies, C., Hubble, T., Kim, J. H., Loades, K. W., Mao, Z., McIvor, I. R., Mickovski, S. B., Mitchell, S., Osman, N., Phillips, C., Poesen, J., Polster, D., Preti, F., Raymond, P., Rey, F., ... Walker, L. R. (2014). Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. *Plant and Soil*, 377(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2044-6>

Recibido:
30/agosto/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Valdés, R. O. A. (2016). Cómo las estructuras de las plantas protegen de los deslizamientos. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 1, 85–91. <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/8>
- Valdés-Rodríguez, O. A., Alonso, A. E. J., Martínez, A. S., & Andrade, J. T. (2020). Tension and bending tests in roots of two tropical species. *Madera y Bosques*, 26(2), 1–13. <https://doi.org/10.21829/MYB.2020.2621716>
- Vallarino, R., Mejía, G., Centella, D., & Grajales, S. F. (2021). Bioingeniería de taludes: evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad. *Revista de Iniciación Científica*, 7(2), 26–38. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.2.3336>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vergani, C., Chiaradia, E. A., & Bischetti, G. B. (2012). Variability in the tensile resistance of roots in Alpine Forest tree species. *Ecological Engineering*, 46, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.036>
- Yang, Y., Chen, L., Li, N., & Zhang, Q. (2016). Effect of Root Moisture Content and Diameter on Root Tensile Properties. *PLOS ONE*, 11(3), e0151791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151791>
- Zavala-González, R., Cantú-Silva, I., Sánchez-Castillo, L., González-Rodríguez, H., Kubota, T., & Hasnawir. (2019). Ten Native Tree Species for potential use in Soil Bioengineering in northeastern Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 291–300. <https://doi.org/10.17129/botsci.2131>
- Zhang, C. B., Chen, L. H., & Jiang, J. (2014). Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability. *Geomorphology*, 206, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.024>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

EXTENSIÓN Y SEVERIDAD DE INCENDIOS FORESTALES EN MICHOACÁN EN 2021 A PARTIR DE IMÁGENES SENTINEL-2

BURNED AREA AND SEVERITY OF FOREST FIRES IN MICHOACÁN IN 2021 USING SENTINEL-2 IMAGES

España-Boquera, M.L.; O. Champo-Jiménez y M.D. Uribe-Salas

EXTENSIÓN Y SEVERIDAD DE INCENDIOS FORESTALES EN MICHOACÁN EN
2021 A PARTIR DE IMÁGENES SENTINEL-2

BURNED AREA AND SEVERITY OF FOREST FIRES IN MICHOACÁN IN 2021
USING SENTINEL-2 IMAGES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 125-144 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.7



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/)).

Extensión y severidad de incendios forestales en Michoacán en 2021 a partir de imágenes Sentinel-2

Burned area and severity of forest fires in Michoacán in 2021 using Sentinel-2 images

España-Boquera M.L.;
O. Champo-Jiménez
y M.D. Uribe-Salas

EXTENSIÓN Y SEVERIDAD
DE INCENDIOS
FORESTALES EN
MICHOCÁN EN 2021 A
PARTIR DE IMÁGENES
SENTINEL-2

BURNED AREA AND
SEVERITY OF FOREST
FIRES IN MICHOCÁN IN
2021 USING SENTINEL-2
IMAGES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 00-00. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.7

María Luisa España-Boquera

<https://orcid.org/0000-0001-6255-2802>

Omar Champo-Jiménez

<https://orcid.org/0000-0002-7719-5331>

María Dolores Uribe-Salas / maria.uribe@umich.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4788-0290>

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales,
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Posta Veterinaria,
carretera Morelia Zinapécuaro, Tarímbaro, Michoacán, México, CP 58880

RESUMEN: Los incendios forestales son perturbaciones ambientales importantes, recurrentes en la primavera michoacana, donde fueron particularmente numerosos en el año 2021, durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19. El objetivo de este trabajo fue identificar los incendios ocurridos en 2021 en las zonas forestales del noroeste de Michoacán, evaluando la severidad y la recuperación a partir de índices espectrales de vegetación calculados en imágenes Sentinel-2 de diferentes fechas. La severidad se determinó a partir del dNBR (incremento del *Normalized Burned Ratio*) en primavera y la recuperación con el dNDVI (incremento del *Normalized Difference Vegetation Index*) y dCIre (incremento del *Chlorophyll Index Red Edge*), en primavera e invierno. Se distinguieron cinco tipos de vegetación (V1 a V5) según el comportamiento del NDVI en las fechas consideradas. Las áreas quemadas se identificaron clasificando la imagen de mayo. De V1 (arbustiva caducifolia con baja densidad) se quemaron 15161 ha (31%), 72% con afectación baja o moderada-baja; se observó una gran capacidad de regeneración. De V2 (caducifolia con alta densidad, encinos), se quemaron 17029 ha (34%), 64% con afectación moderada-alta o alta; hubo rebrote tras los incendios moderados. De V3 y V4 (perennifolia con baja y alta densidad, coníferas) se quemaron, respectivamente, 1999 ha (4%) y 7366 ha (15%), 95% y 79% con afectación baja o moderada-baja; hubo recuperación tras incendios poco graves, con mayor resiliencia de V4. De V5 (bosque tropical caducifolio) se quemaron 7967 ha (16%), 91% con afectación baja o moderada-baja, observándose mayor recuperación en las zonas más afectadas, como un efecto de rebrote post-incendio de la vegetación. La teledetección es una herramienta muy versátil para la evaluación de los incendios y el seguimiento de la recuperación, si bien no sustituye la observación en campo.

Palabras clave: CIre, Copernicus, COVID-19, Meseta Purépecha, NBR, NDVI.

ABSTRACT: Forest fires are important environmental perturbations, recurrent in the Michoacán spring, where they were particularly numerous in 2021, during the confinement caused by the COVID-19 pandemic. The objective of this work was to identify the fires of 2021, in the forest areas of northwest Michoacán, evaluating the severity and recovery from spectral vegetation indices calculated in Sentinel-2 images of different dates. The severity was determined from the dNBR (*Normalized Burned Ratio* increase) in spring and the recovery with the dNDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* increase) and dCIre (*Chlorophyll Index Red Edge* increase), in spring and winter. Five types of vegetation were distinguished (V1 to V5) according to the behavior of the NDVI on the dates considered. The burned areas were identified by classifying the May image. Of V1 (low density deciduous shrub), 15161 ha (31%) were burned, 72% with low or moderate-low damage; a great regeneration capacity was observed. Of V2 (high density deciduous, oaks), 17029 ha (34%) were burned, 64% with moderate-high or high damage; there was regrowth after moderate fires. Of V3 and V4 (perennifolia with low and high density, conifers) were burned, respectively, 1999 ha (4%) and 7366 ha (15%), 95% and 79% with low or moderate-low damage; there was recovery after light fires, with greater resilience of V4. Of V5 (tropical deciduous forest) 7967 ha (16%) were burned, 91% with low or moderate-low damage, observing greater recovery in the most affected areas, as a post-fire regrowth effect of the vegetation. Remote sensing is a very versatile tool for the evaluation of fires and the follow-up of the recovery, although it does not replace field observation.

with moderate-high or high affectation; there was sprouting after moderate fires. Of V3 and V4 (low and high density evergreen, conifers) were burned 1999 ha (4%) and 7366 ha (15%), respectively, 95% and 79% with low or moderate-low damage; there was recovery after minor fires, with greater resilience of V4. V5 (low deciduous forest) 7967 ha (16%) were burned, 91% with low or moderate-low damage, with greater recovery observed in the most affected areas, as a post-fire sprouting effect of vegetation. Remote sensing is a very versatile tool for fire assessment and recovery monitoring, although it does not replace observation in the field.

Key words: CIre, Copernicus, COVID-19, Meseta Purépecha, NBR, NDVI.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, factores asociados al cambio climático, como la concurrencia de primaveras más largas, veranos más calurosos y la alternancia de fuertes lluvias y sequías extremas, han propiciado un aumento en el número y extensión de los incendios forestales (Westerling *et al.*, 2006). Recíprocamente, el mayor número de incendios está teniendo un efecto negativo en el clima, por la acumulación de CO₂ y aerosoles en la atmósfera, y la eliminación de vegetación (Szpakowski & Jensen, 2019). En este sentido, aumenta la atención por las emisiones derivadas de la quema de biomasa, en el marco de la preocupación por el cambio global y el cumplimiento de los compromisos internacionales, en particular los Acuerdos de París (COP21) (Chuvienco *et al.*, 2019). En este escenario antropocénico, los incendios forestales se perciben como catástrofes ambientales graves, por la contaminación, la contribución al efecto invernadero, la erosión de suelos, la destrucción del paisaje y las pérdidas de biodiversidad, humanas y materiales que provocan (Lentile *et al.*, 2006; Szpakowski & Jensen, 2019). Alrededor del mundo predomina un enfoque de protección contra los incendios forestales, a través de medidas de prevención, combate y supresión del fuego; sin embargo, el fuego no es un elemento extraño en la dinámica natural o histórica de muchos ecosistemas terrestres en el mundo, por lo que algunos países, como México, buscan adoptar estrategias integrales de manejo, basadas en criterios ecológicos y el entendimiento de aspectos sociales (políticos, económicos culturales, demográficos) y su variación histórica (Jardel-Peláez *et al.*, 2014).

El régimen de incendios es definido como la amplitud de la variación natural o histórica en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad y patrón espacial de los eventos y su sinergia con otros factores de perturbación, naturales o antropogénicos (Jardel-Peláez *et al.*, 2014); así, depende tanto de factores climáticos y biológicos, como, de manera importante, del trasfondo cultural de la forma en que las personas manejan los ecosistemas y el fuego (Conedera *et al.*, 2009). En relación con el régimen de incendios, los ecosistemas pueden ser: dependientes, sensibles, influenciados o independientes del fuego (Rodríguez-Trejo, 2008). Algunos de los mayores biomas del mundo son dependientes del fuego, al menos en la producción de biomasa, la cobertura de árboles y la composición de especies (Conedera *et al.*, 2009). La influencia antropogénica en el régimen de incendios de los ecosistemas dependientes del fuego, como los bosques de pino y pino-encino, ha contribuido tanto a preservarlos (a través de un régimen de fuego apropiado), como a degradarlos (por un exceso de fuego o la falta de éste, con eventuales incendios muy intensos y severos) (Rodríguez-Trejo, 2008). En los sistemas sensibles al fuego, como los bosques tropicales caducifolios, el aumento en la incidencia de incendios puede considerarse un factor de degradación (Jardel-Peláez *et al.*, 2014).

En un incendio forestal, el proceso físico de la combustión y el comportamiento del fuego están determinados por la interacción entre los combustibles forestales y las condiciones meteorológicas y topográficas. La intensidad de los incendios corresponde a la cantidad total de energía liberada en la combustión, que está relacionada con el tipo de incendios (superficiales ligeros o intensos o de copa pasivos o activos) y viene determinada por las propiedades físicas de los combustibles, asumiendo determinadas condiciones del tiempo y la topografía. La severidad, por su parte, se refiere al efecto del incendio sobre los ecosistemas (cubierta vegetal,

combustibles y suelo) y puede ser medida por el cambio en la cobertura de vegetación, la mortalidad de plantas, el tamaño de los claros abiertos, así como por el consumo de combustibles o biomasa en diferentes estratos. La severidad depende de la intensidad del fuego, pero también de la respuesta de la vegetación y la resiliencia del ecosistema. Hay efectos inmediatos o de primer orden que se manifiestan durante el incendio, y de mediano y largo plazo, o de segundo orden, que se manifiestan a través de años y décadas en los procesos de regeneración y sucesión postincendio (Jardel-Peláez *et al.*, 2014). La respuesta de corto plazo de la vegetación es crítica para la regeneración a largo plazo y proporciona información clave sobre la dinámica de los ecosistemas ante el fuego (Meng *et al.*, 2018). La respuesta a través del tiempo se manifiesta en cambios en la composición de especies, la estructura de la vegetación, las condiciones del hábitat, la estructura y dinámica del paisaje, así como en la dinámica del agua, el carbono y los nutrientes en el ecosistema (Jardel-Peláez *et al.*, 2014).

Existe una fuerte correlación entre la severidad de un incendio ocurrido en una zona forestal y la reflectancia de ésta, principalmente en las longitudes de onda del infrarrojo: la reducción de la densidad de vegetación y del contenido de clorofila provoca una disminución de la reflectancia en el infrarrojo cercano (*Near Infrared*, NIR), mientras que la desecación de las hojas y la mayor exposición del suelo hacen que aumente la reflectancia en el infrarrojo de onda corta (*Short Wave Infrared*, SWIR) (Chuvienco *et al.*, 2019; Llorens *et al.*, 2021; White *et al.*, 1996). Los índices espectrales más comúnmente utilizados para evaluar la severidad de un incendio a partir de datos satelitales son el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, diferencia normalizada entre las reflectancias en el rojo y el NIR), el NBR (*Normalized Burn Ratio*, diferencia normalizada entre las reflectancias en el NIR y el SWIR) (Chuvienco *et al.*, 2019; Llorens *et al.*, 2021; White *et al.*, 1996) y su variación en el tiempo (dNDVI y dNBR) (Chuvienco *et al.*, 2019; Fernández-García *et al.*, 2018; Franco *et al.*, 2020). El dNBR es el mejor índice para identificar áreas quemadas y determinar el nivel de afectación (Llorens *et al.*, 2021), mientras que el dNVI permite estudiar el reverdecimiento de la vegetación en diferentes escenarios post-incendio (Fernández-García *et al.*, 2018).

Una vez iniciada la recuperación de la vegetación, el aumento de biomasa vegetal que cubre el suelo se traduce en un incremento del NDVI (Reed *et al.*, 1994), mientras que la mayor cantidad de clorofila provoca una ampliación del rango de absorción de luz roja hacia longitudes de onda más largas, en la región del REP (*Red Edge Position*) (Ali *et al.*, 2020), donde se calculan índices como el CI_{re} (*Chlorophyll Index Red Edge*) (Ali *et al.*, 2020; Clevers & Gitelson, 2013). La sensibilidad de los índices depende de la estructura, composición de especies y estrategias contrastantes de regeneración (rebrote o semillas) de cada tipo de vegetación, con diferencias entre regiones dominadas por coníferas y caducifolias (Franco *et al.*, 2020), por lo que deben evaluarse en una gran variedad de biomas vegetales para saber qué miden realmente en términos de efectos ecológicos post-incendio (Lentile *et al.*, 2006). Las imágenes Sentinel-2 (S2) del sistema Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA) permiten el cálculo de estos índices, ya que cuentan con las bandas espectrales necesarias, en particular en la zona REP, además de tener una alta resolución espacial y temporal (Llorens *et al.*, 2021; Navarro *et al.*, 2017).

En Michoacán la época de incendios es la primavera, antes del inicio de las lluvias, cuando el ambiente está seco y las temperaturas son elevadas. Se trata, en su mayoría, de incendios claramente provocados, que en algunos casos se inician por quemas agrícolas de preparación para la siguiente siembra, y en otros casos buscan “ganar terreno” ya sea a las zonas bosque tropical caducifolio para sembrar cultivos de temporal, o a zonas de bosque templado con el fin de conseguir parcelas para cultivos altamente rentables, como el aguacate (CEDRSSA, 2017; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2021). En el año 2021, durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19, el número de incendios en Michoacán fue excepcionalmente elevado, en particular en los bosques templados del noroeste del estado, donde se encuentra la Meseta Purépecha, zona indígena de importancia ambiental, ecológica y social (Fuentes Díaz & Paleta Pérez, 2015; García-Lam, 2022; Gasparello, 2018) en la cual se han registrado previamente

incendios forestales graves, como los de Cherán en el año 2010 (España-Boquera & Champo-Jiménez, 2011). Este caso confirma lo observado en muchos lugares del planeta, en el sentido de que durante la pandemia del COVID-19 la degradación ambiental aumentó. De acuerdo con el Global Forest Watch, 2021 fue uno de los peores años en incendios forestales desde el inicio del siglo, con 9.3 millones de hectáreas perdidas globalmente, frente a los 6.6 millones de años anteriores (MacCarthy *et al.*, 2023).

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las áreas afectadas por incendios forestales en el noroeste de Michoacán en el año 2021, así como evaluar la severidad y la capacidad de recuperación para los diferentes tipos de vegetación forestal afectados, a partir del análisis de imágenes S2 de diferentes periodos. La hipótesis es que el carácter caducifolio o perennifolio de la vegetación es determinante para explicar su comportamiento ante el fuego y su capacidad de recuperación a corto plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La zona de estudio comprende desde la frontera norte del estado de Michoacán hasta la cota de 1500 m, entre 19° y 20.5° de latitud N, y entre 103° y 101° de longitud W; incluye la Franja Aguacatera (principal zona de cultivo de aguacate en el país) y la Meseta Purépecha; su superficie total es de 1908620 ha. Pertenece a las provincias fisiográficas del Altiplano y de la Faja Volcánica Transversal, limitando al sur con la Depresión del Balsas. Se encuentra en una región subtropical, donde los climas predominantes son Cw (0, 1 y 2) templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío entre -3 y 10 °C y del mes más cálido mayor a 10 °C (Durán & Sevilla, 2003). De acuerdo con el mapa oficial de ocupación del suelo, Serie VI del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de México (<https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>) (resolución 1:250000, año de referencia 2014), en la zona se encuentran diferentes tipos de bosque templado (principalmente de pino, pino-encino, encino, encino-pino, además de algunas pequeñas áreas de oyamel, bosque cultivado y mesófilo de montaña), vegetación secundaria arbórea, arbustiva o herbácea (de bosque de pino, pino-encino, encino y encino-pino, y minoritariamente de oyamel o mesófilo de montaña) y bosque tropical caducifolio (vegetación secundaria arbórea o arbustiva de selva baja caducifolia), además de zonas de pastizal, matorral-mezquital, zonas agrícolas (de humedad, de riego y de temporal), tulares, cuerpos de agua, zonas sin vegetación y zonas urbanas. Para el estudio se consideraron únicamente las zonas de bosque templado y tropical caducifolio, con las vegetaciones secundarias correspondientes. La mayor elevación es el Pico del Tancitaro, que alcanza los 3700 m; los principales cuerpos de agua son los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén; las ciudades más importantes son Morelia, Uruapan y Zamora (Durán & Sevilla, 2003).

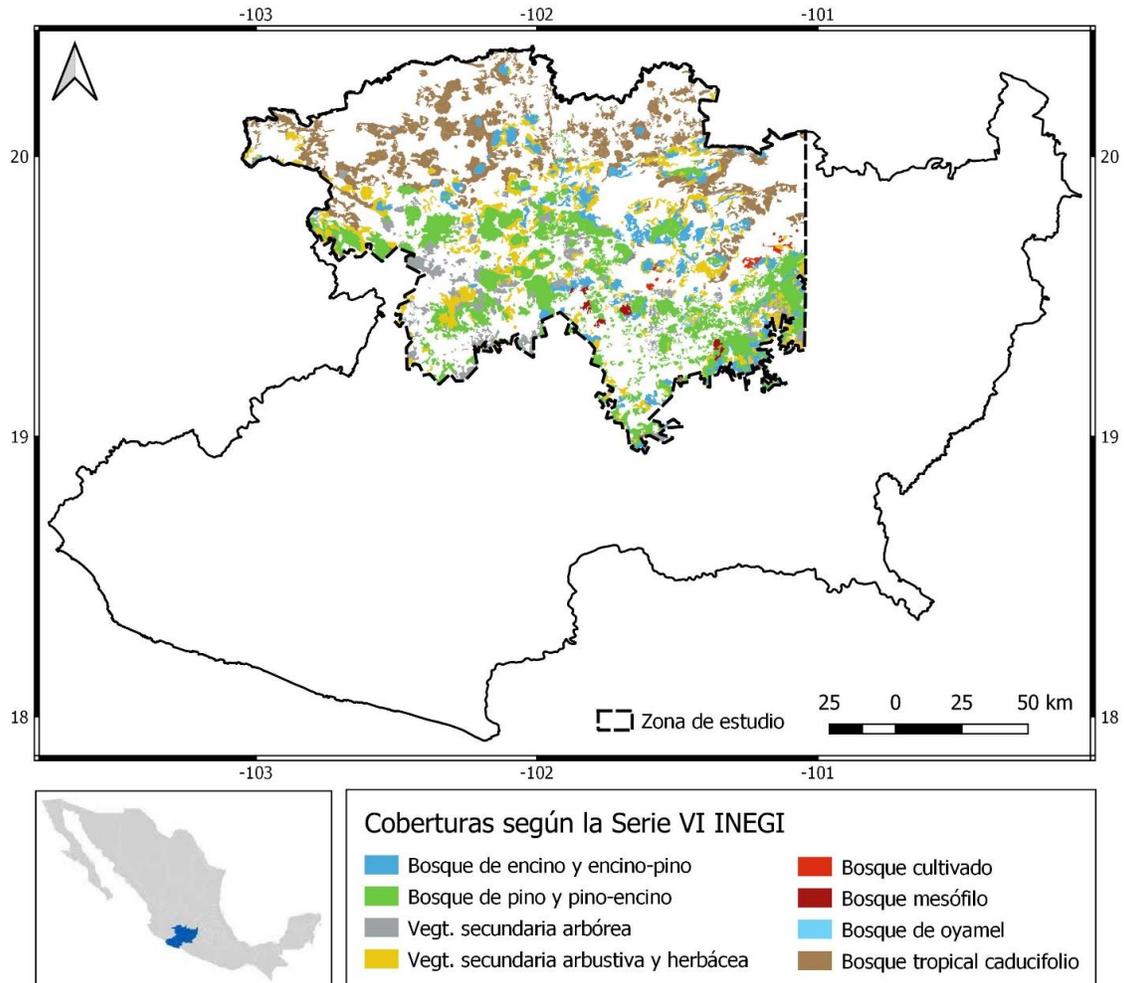


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el estado de Michoacán. Coberturas según la Serie VI de INEGI.
Figure 1. Location of the study area in the state of Michoacán. Coverages according to the INEGI Series VI.

Datos

Se descargaron imágenes satelitales S2 de diferentes fechas, libres de nubes, de la página oficial del sistema Copernicus (<http://scihub.copernicus.eu>), requiriéndose cuatro teselas por fecha para cubrir la zona de estudio, identificadas con las claves: 13QGB, 13QGC, 13QHB y 13QHC. Se eligieron fechas de primavera, antes (03/02/2021) y después (04/05/2021) de los incendios, así como antes (05/11/2020) y después (25/12/2021) del invierno, para las que se contó con las cuatro teselas que conforman la zona. Las imágenes son de nivel 2A, que incluyen correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas; previo a su análisis, se remuestrearon a 10 m, para que todas las bandas tuvieran la misma resolución espacial (dado que las imágenes S2 tienen bandas de 10, 20 y 60 m de resolución) y se recortaron a la zona de estudio. Se utilizaron los programas de libre acceso Sentinel Application Platform (SNAP) de la ESA y Quantum Geographical Information System (QGIS).

Cálculo de índices

Se calcularon los siguientes índices de vegetación (fórmulas adaptadas a las bandas S2) (Llorens *et al.*, 2021):

Normalized Burn Ratio, $NBR = (B8 - B12) / (B8 + B12)$

Normalized Difference Water Index, $NDWI = (B3 - B8) / (B3 + B8)$, para identificar los cuerpos de agua y eliminarlos del análisis.

Normalized Difference Vegetation Index, $NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$

Chlorophyll Index Red Edge, $CI_{re} = B7/B5 - 1$

Los cálculos se realizaron para cada imagen; posteriormente se armaron los mosaicos de cada índice en cada fecha y se les colocó la máscara de la zona de estudio.

Identificación de los tipos de vegetación

Para cada píxel de la zona de estudio correspondiente a bosque templado o tropical caducifolio (incluyendo sus vegetaciones secundarias) de la Serie VI, se calculó el NDVI en las fechas consideradas. Con el fin de contar con histogramas de NDVI unimodales en todas las fechas, lo que resulta imprescindible para realizar el cálculo y la comparación de los valores promedio, se identificaron los píxeles con un comportamiento similar del NDVI a lo largo del año (Reed *et al.*, 1994). A partir de los histogramas bimodales de las coberturas de la Serie VI, se establecieron los siguientes criterios, identificando cinco tipos de vegetación con histogramas unimodales:

V1: $NDVI_{\text{mayo}2021} \leq 0.38$ y $NDVI_{\text{dic}2021} > 0.70$

V2: $NDVI_{\text{mayo}2021} \leq 0.38$ y $NDVI_{\text{dic}2021} \leq 0.70$

V3: $NDVI_{\text{mayo}2021} > 0.38$ y $NDVI_{\text{dic}2021} \leq 0.70$

V4: $NDVI_{\text{mayo}2021} > 0.38$ y $NDVI_{\text{dic}2021} > 0.70$

V5: Los bosques tropicales caducifolios presentaron histogramas del NDVI unimodales en las cuatro fechas consideradas, por lo que se tomaron como un tipo de vegetación.

Los valores de NDVI son coherentes con los de referencia comúnmente utilizados: $NDVI < 0.4$ corresponde a escasa vegetación, mientras que $NDVI > 0.7$ corresponde a vegetación abundante, como un bosque (Montandon & Small, 2008).

Para cada tipo de vegetación definido, se identificaron las coberturas de la Serie VI con las que presentaba coincidencia espacial.

Delimitación de áreas quemadas

Se realizó una clasificación no supervisada (algoritmo *k-means*) de las imágenes post-incendio (mayo 2021), considerando diez clases, de entre las cuales se seleccionaron las correspondientes a zonas quemadas (Llorens *et al.*, 2021). Por otra parte, se calculó, para cada píxel, la diferencia del índice NBR entre antes (febrero 2021) y después (mayo 2021) de los incendios: $dNBR = NBR_{\text{feb}2021} - NBR_{\text{may}2021}$. Valores de $dNBR$ superiores a 0.1 indican zonas quemadas (Sobrino *et al.*, 2019). El índice $dNBR$ calculado a partir de imágenes S2 presenta los mayores valores de coincidencia y los menores errores de omisión y comisión y determinan que es el mejor índice para diferenciar entre áreas quemadas y no quemadas (Llorens *et al.*, 2021). Por su parte, Fernández-García *et al.*, (2018) encontraron una alta correlación entre los valores de $dNBR$ y datos de campo ($R^2=0.88$).

Para detectar y eliminar del análisis los cuerpos de agua y las zonas urbanas, se calculó el índice NDWI en las imágenes de febrero 2021; valores de $NDWI_{\text{feb}2021}$ superiores a cero corresponden a agua (Sobrino *et al.*, 2019); se observó en las imágenes que valores mayores a -0.4 corresponden tanto a agua como a zonas urbanas, construcciones e invernaderos.

El área afectada por los incendios quedó conformada, finalmente, por aquellos píxeles identificados por la clasificación no supervisada, en los cuales, además, el $dNBR$ es mayor o igual a 0.1 y el $NDWI_{\text{feb}2021}$ es menor o igual a -0.4.

El mapa de las áreas quemadas se superpuso al de tipos de vegetación, para calcular la superficie afectada por los incendios en cada caso.

Evaluación de la severidad del incendio

Los valores de dNBR de cada tipo de vegetación se etiquetaron según los umbrales propuestos por el *United States Geological Survey* (USGS), para crear un mapa de severidad a partir de los niveles de afectación (Sobrino *et al.*, 2019), de la siguiente forma:

$dNBR < 0.1$	sin afectación
$0.1 \leq dNBR < 0.27$	afectación baja
$0.27 \leq dNBR < 0.44$	afectación moderada-baja
$0.44 \leq dNBR < 0.66$	afectación moderada-alta
$0.66 \leq dNBR$	afectación alta

Finalmente, se calculó la superficie quemada por nivel de afectación para cada tipo de vegetación.

Evaluación de los cambios en densidad de vegetación y nivel de clorofila

Se calcularon el dNDVI y el dCIre para cada píxel de la zona de estudio, como las diferencias entre los valores de los índices antes y después del incendio ($dNDVI = NDVI_{\text{antes}} - NDVI_{\text{después}}$; $dCIre = CIre_{\text{antes}} - CIre_{\text{después}}$), considerando dos momentos: febrero 2021 - mayo 2021, en primavera (justo antes y después del incendio), y noviembre 2020 - diciembre 2021, en invierno (medio año antes y después del incendio). El nivel de afectación se expresa mejor mediante la reflectancia en la primera temporada de crecimiento después de los incendios, debido a que la heterogeneidad en la composición de especies y las estructuras de rodales genera una mezcla de tendencias divergentes de reflectancia post-incendio, disminuyendo la correlación entre índices espectrales y la severidad, y debilitando el potencial de los índices para evaluar el nivel de afectación a medida que aumenta el tiempo transcurrido desde el incendio (Franco *et al.*, 2020). Se obtuvieron los valores absolutos y relativos al valor de antes del incendio (febrero en primavera y noviembre en invierno): $\%dNDVI = (NDVI_{\text{antes}} - NDVI_{\text{después}}) * 100 / NDVI_{\text{antes}}$ y $\%dCIre = (CIre_{\text{antes}} - CIre_{\text{después}}) * 100 / CIre_{\text{antes}}$. Para cada tipo de vegetación se obtuvieron los promedios de los valores de dNDVI y dCIre, absolutos y relativos, en primavera e invierno, para cada nivel de afectación; también se calculó en el total de los píxeles para conocer el cambio estacional de cada tipo de vegetación, entre las fechas consideradas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de los tipos de vegetación

La Figura 2 muestra los valores promedio del NDVI de cada tipo de vegetación en cada fecha considerada. V1, V2 y V5 presentan el comportamiento típico de coberturas caducifolias, con valores de NDVI muy bajos en mayo, el momento de mayor temperatura de la época de secas. De estos tres, V2 es el que presenta el valor de NDVI más alto en invierno, tras las lluvias, cuando las temperaturas aún son bajas. V1 y V5 presentan un comportamiento similar en las fechas consideradas, si bien V1 corresponde a coberturas propias de zonas templadas y V5 a bosques tropicales caducifolios, propios de zonas con menor humedad. Por su parte, V3 y V4 presentan un comportamiento propio de la vegetación perennifolia, siendo el NDVI superior en V4 que en V3 en todas las fechas, lo que indica una mayor densidad de vegetación perenne. La densidad de vegetación (y por lo tanto el NDVI) alcanza los valores máximos en la temporada de lluvias, si bien en este estudio no se cuenta con datos de este periodo. Se muestra también la coincidencia espacial de cada grupo con las coberturas de la Serie VI de INEGI. V1 presenta una coincidencia del 48% con la vegetación arbustiva y herbácea; V2 corresponde (39%) al bosque de encino y encino-pino; V3 y V4 coinciden con el bosque de pino-encino y pino (63% y 42%, respectivamente), V3 incluye además el bosque cultivado, mientras que V4 incluye los

bosques de oyamel y mesófilo; V5 corresponde a los bosques tropicales caducifolios. Esta clasificación resulta coherente con los patrones de NDVI.

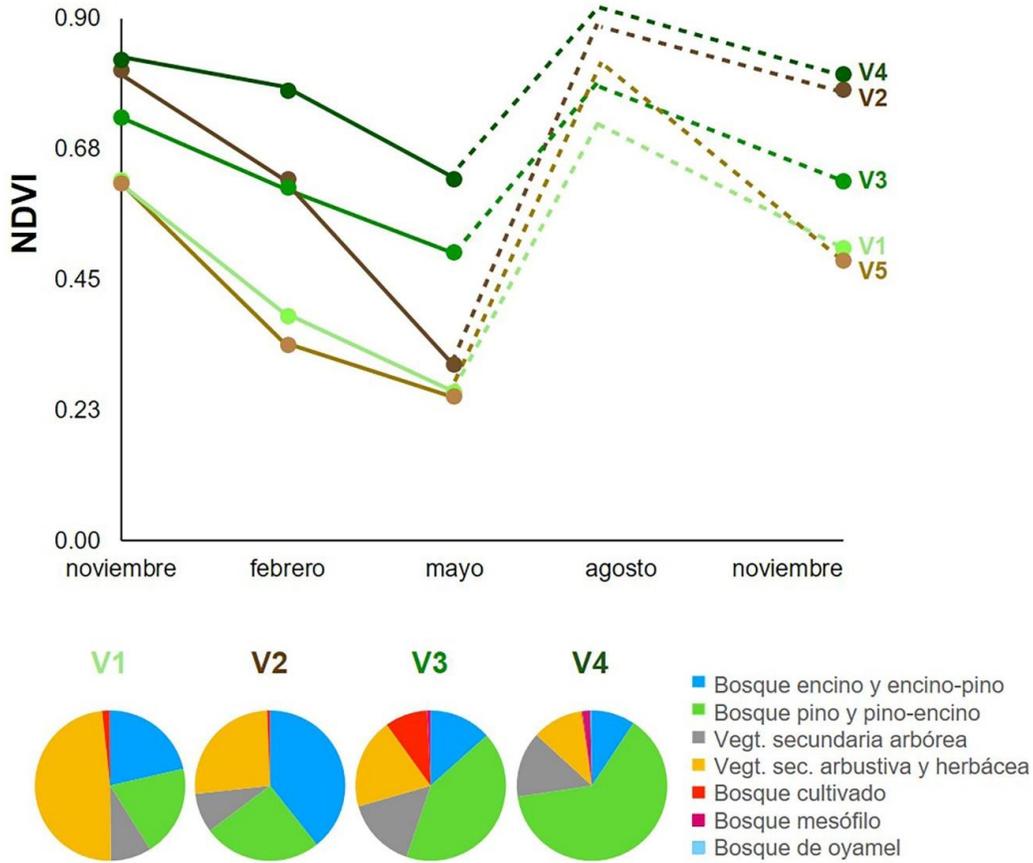


Figura 2. Valores del índice NDVI en cada fecha considerada, para cada tipo de vegetación; en línea discontinua, valores aproximados en la época de lluvias, para la que no se tienen datos. Coincidencia de los tipos de vegetación con las coberturas de la Serie VI de INEGI; V5 corresponde a bosque tropical caducifolio.

Figure 2. NDVI index values on each considered date for each vegetation type; dashed line represents approximate values during the rainy season for which there is no data. Vegetation types coincide with the coverages of INEGI Series VI; V5 corresponds to deciduous tropical forest.

La Figura 3 muestra la distribución de los tipos de vegetación en la zona de estudio. Las superficies que ocupan cada uno son: V1, 177139 ha (21% de la cobertura natural de la zona de estudio); V2, 82071 ha (10%); V3, 58201 ha (7%); V4, 305560 ha (36%); y V5, 224522 ha (26%).

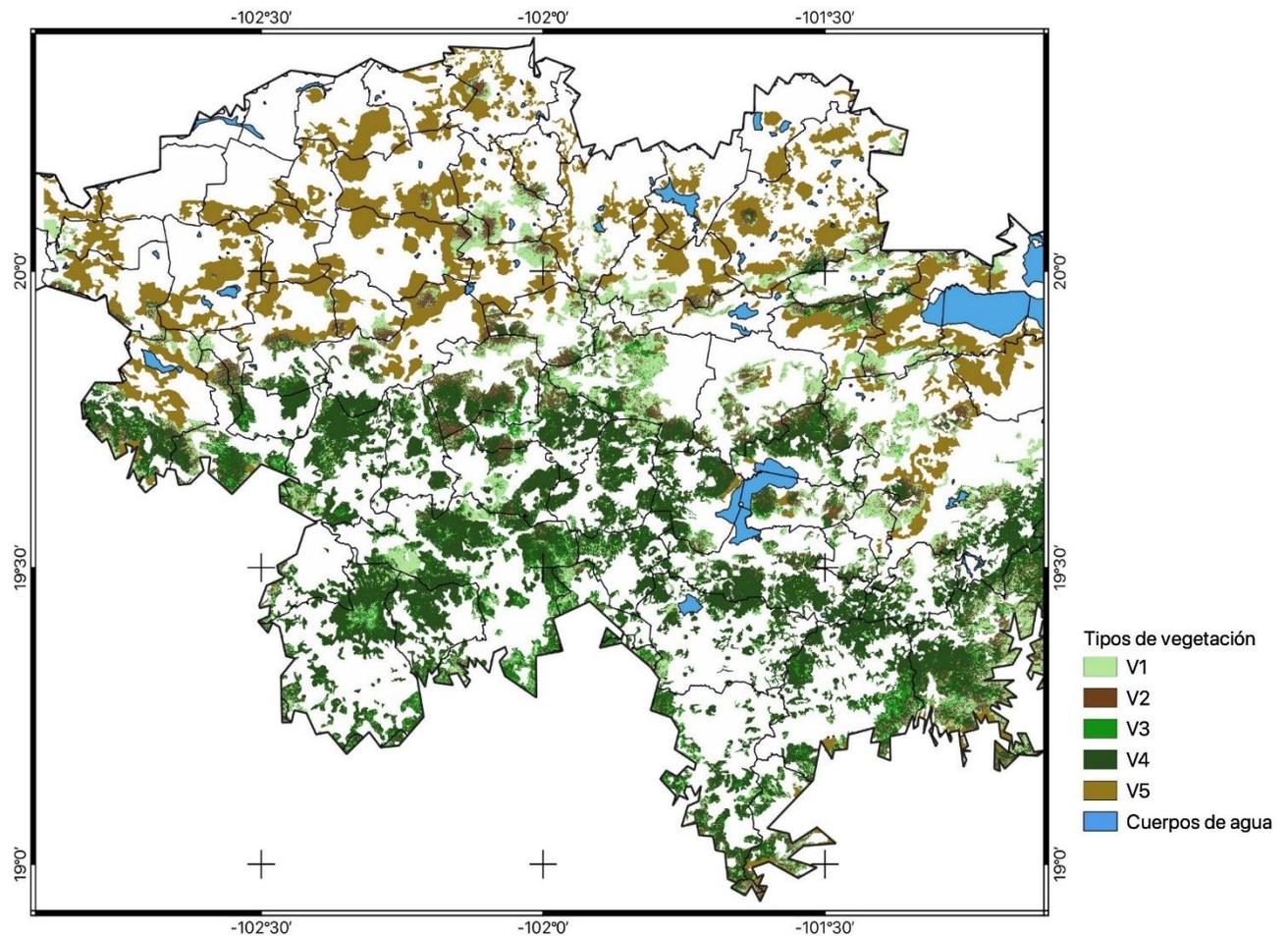


Figura 3. Distribución de los tipos de vegetación en la zona de estudio.
Figure 3. Distribution of vegetation types in the study area.

Estimación del área quemada y evaluación de la severidad del incendio

Los incendios afectaron a un total de 49522 ha, de las cuales 15161 ha fueron de V1 (31% de la superficie afectada), 17029 ha de V2 (34%), 1999 ha de V3 (4%), 7366 ha de V4 (15%) y 7967 ha de V5 (16%). El 36% de la superficie afectada presentó una afectación baja (17732 ha) y el 29% (14252 ha) moderada-baja; las afectaciones moderada-alta y alta se observaron en el 28% y el 7%, respectivamente, lo que corresponde a 13865 ha y 3673 ha. El resultado detallado para cada tipo de vegetación aparece en la Tabla 1. La Figura 4 muestra la ubicación de los incendios según el nivel de afectación; los municipios más afectados se ubican en la Meseta Purépecha.

Tabla 1. Superficie quemada (en ha y %) de cada tipo de vegetación, según el nivel de afectación del incendio.
Table 1. Burned area (in hectares and %) for each vegetation type, according to the level of fire impact.

Cobertura	Afectación (ha)				Total
	Baja	Moderada-baja	Moderada-alta	Alta	
V1	5873 39%	5056 33%	3357 22%	875 6%	15161
V2	2006 12%	4098 24%	8304 49%	2621 15%	17029
V3	1393 70%	508 25%	95 5%	3 0%	1999
V4	2764 38%	3002 41%	1578 21%	22 0%	7366
V5	5695 71%	1588 20%	531 7%	153 2%	7967
Total	17731 36%	14252 29%	13865 28%	3674 7%	49522

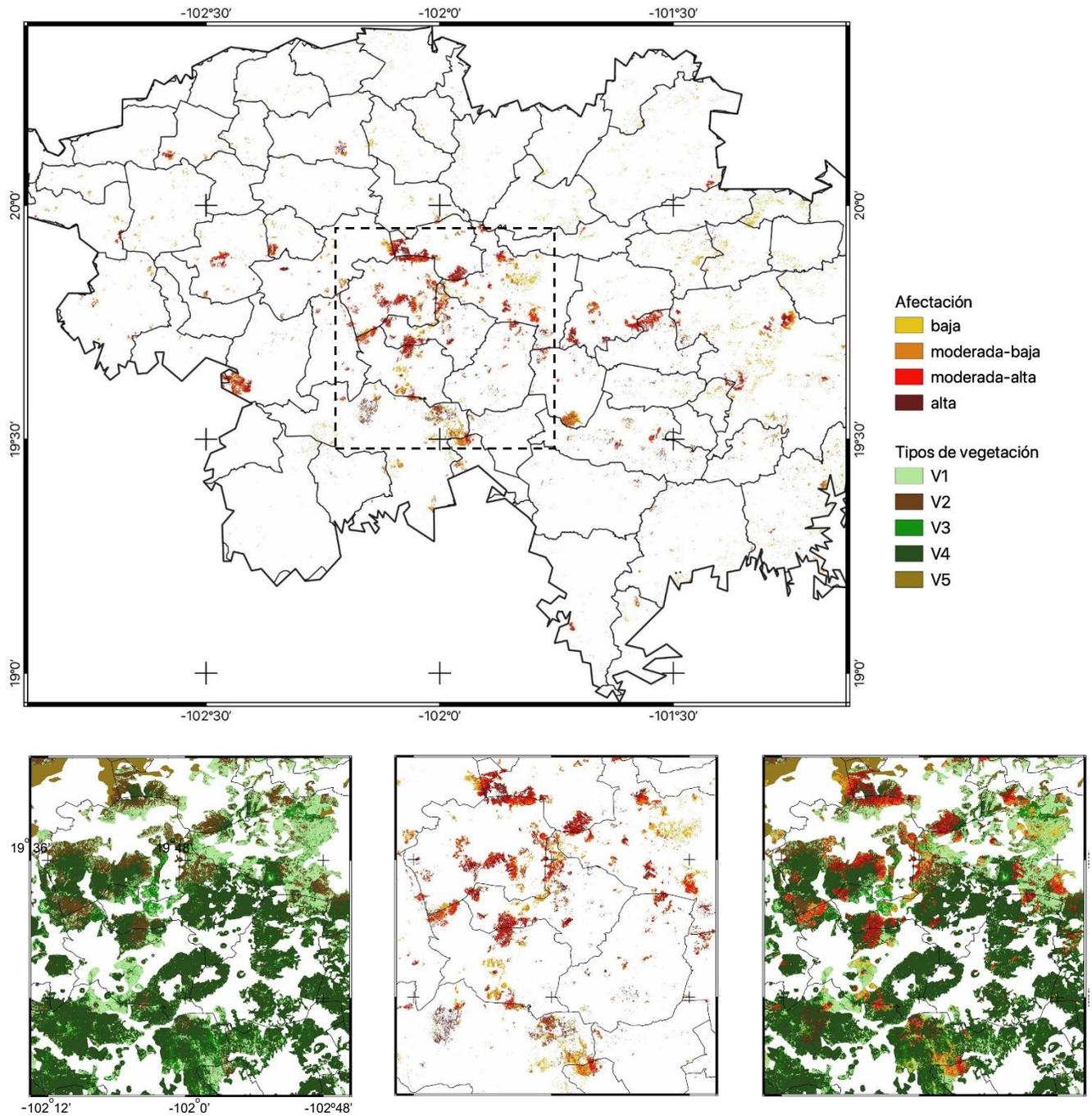


Figura 4. Ubicación de los incendios en la zona de estudio, según el nivel de afectación.

Se amplía la zona de la Meseta Purépecha, cuya localización se indica en el mapa principal.

Figure 4. Location of fires in the study area, according to the level of impact. The area of the Purépecha Plateau is enlarged, and its location is indicated on the main map.

Evaluación de los cambios en densidad de vegetación y nivel de clorofila

La Figura 5 muestra los valores relativos de dNDVI y dCIre en las zonas afectadas por los incendios, en dos periodos: febrero 2021 - mayo 2021 y noviembre 2020 - diciembre 2021. Los valores correspondientes a los diferentes niveles de afectación aparecen junto a los de cada tipo de vegetación, que representan la variación normal de la vegetación entre las dos fechas consideradas en cada caso. Se observa una disminución del NDVI y del CIre de febrero a mayo 2021, y entre noviembre 2020 y diciembre 2021, que en general es mayor al aumentar el nivel de afectación. Hay que considerar, sin embargo, que los mapas de severidad obtenidos con imágenes satelitales pueden estar más correlacionados con el efecto del fuego en las capas altas de la vegetación (las que se observan desde el satélite) y menos con la vegetación baja y el suelo (Lentile *et al.*, 2006).

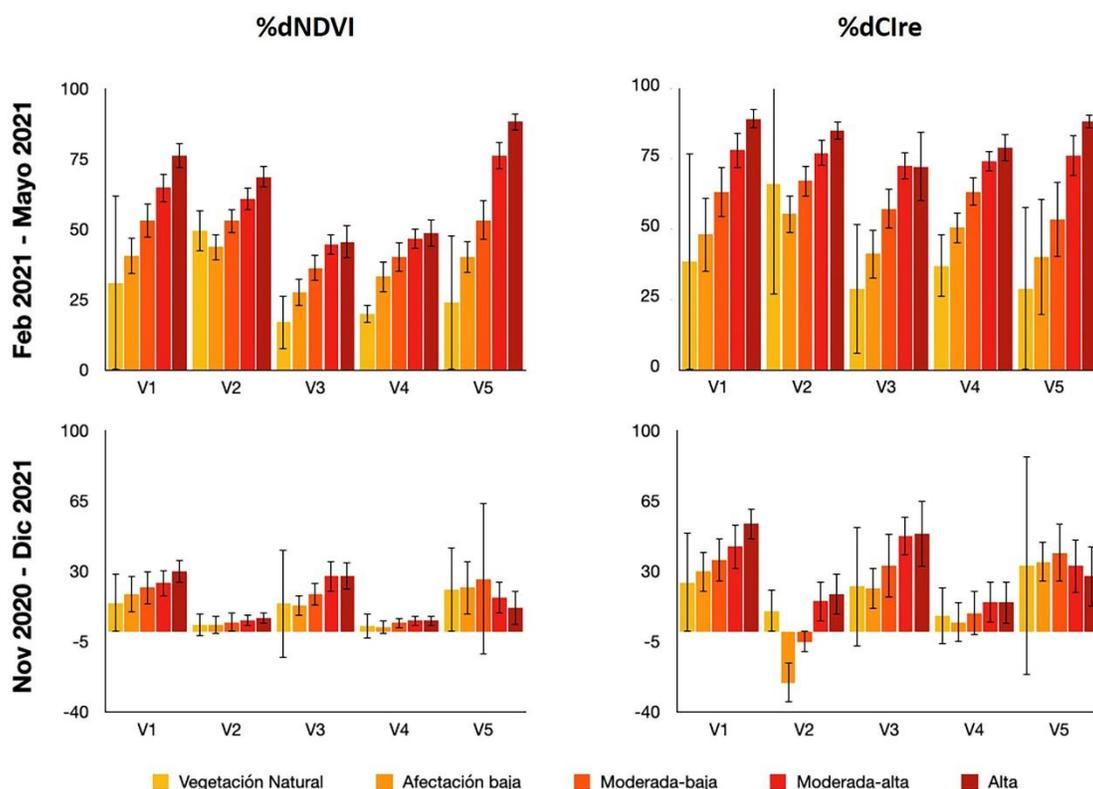


Figura 5. Variación relativa de los índices de vegetación NDVI y CIre en cada nivel de afectación entre febrero 2021 y mayo 2021, y entre noviembre 2020 y diciembre 2021.

Figure 5. Relative variation of NDVI and CIre vegetation indices at each impact level between February 2021 and May 2021, and between November 2020 and December 2021.

Vegetación caducifolia

La vegetación V1, identificada mayoritariamente como arbustos (48%), incluye también zonas clasificadas como encino y pino en la Serie VI de INEGI; cubre 177139 ha, lo que representa el 21% de la vegetación natural de la zona de estudio. Se trata de vegetación con baja densidad y cuyo NDVI en las fechas estudiadas es, junto con el de V5, el más bajo de todos los tipos de vegetación identificados. De febrero a mayo 2021 el NDVI cae de manera natural alrededor de 31%, alcanzando un mínimo de 0.255, comportamiento que corresponde a una vegetación caducifolia. El nivel de clorofila, estimado a partir del CIre, disminuye 0.278 puntos (38%) en estas mismas fechas. Entre noviembre del 2020 y diciembre del 2021, el NDVI de V1 presenta,

de manera natural, una disminución del 14%, siendo el promedio de NDVI del orden de 0.6 en esta época del año, lo que corresponde a una vegetación poco densa; el CIre disminuye 25% (0.415 puntos).

En 2021 se quemaron 15161 ha de V1, lo que representa el 31% de las zonas quemadas ese año. En el 72% de la superficie quemada, la afectación fue baja o moderada-baja, en el 22% fue moderada-alta y solo en 875 ha (6%) la afectación fue alta. Por tratarse de zonas con poca densidad de vegetación, el material combustible es escaso y los incendios no alcanzan la temperatura ni la duración para ser graves. Entre febrero y mayo 2021, en las zonas afectadas por los incendios, la caída del NDVI aumenta paulatinamente con el nivel de afectación; en las zonas más afectadas, el NDVI presenta una disminución de 0.558 puntos (76%), lo que indica la pérdida total de la poca vegetación verde presente en esta época del año. La disminución del CIre también es mayor al aumentar la afectación, siendo de 0.344 puntos (48%) en las zonas quemadas con afectación baja y llegando a 1.603 (89%) en las zonas más afectadas, lo que confirma la eliminación casi total de la vegetación verde.

Entre noviembre 2020 y diciembre 2021, la pérdida de NDVI en V1 es mayor en los niveles más altos de afectación, llegando a 0.252 (30%); la disminución del CIre también aumenta con el nivel de afectación, llegando a 1.157 (54%) en las zonas más afectadas. En todos los casos, la diferencia en los índices es menor entre estas dos fechas de invierno que en primavera, lo que indica una paulatina recuperación de la vegetación en el verano y el otoño, resultando en niveles de densidad y clorofila que se van acercando a los de antes del incendio. El tipo de vegetación puede explicar esta recuperación después de una temporada de lluvias, dado que las plantas arbustivas presentan adaptaciones al fuego, principalmente la rebrotación, además de otras como la forma de la copa, la protección de meristemos con el follaje enrosetado, el enraizamiento profundo, la floración, la latencia física en las semillas o la facilitación del incendio (Rodríguez-Trejo, 2014).

La vegetación V2 corresponde predominantemente al bosque de encino y encino-pino (39%), si bien incluye también bosque de pino y pino-encino, así como zonas de vegetación arbustiva, herbácea y secundaria arbórea. Ocupa un total de 82070 ha en la zona de estudio (10% de la vegetación natural). Se trata de coberturas mayormente caducifolias, con gran estacionalidad, en las que el NDVI es muy alto en invierno y muy bajo en primavera. Entre febrero y mayo, V2 presenta, de manera natural, la mayor disminución de NDVI (0.320 puntos, 50%) y de clorofila (0.925 puntos de CIre, 66%), lo que corresponde al comportamiento de una vegetación principalmente caducifolia. Entre las dos temporadas de invierno, el NDVI y el CIre se mantienen más estables que en primavera, con disminuciones de 0.034 puntos (3.5%) y 0.429 (10.4%), respectivamente.

Este tipo de vegetación es el más afectado por los incendios de 2021, no solo por la superficie quemada (17029 ha, el 34% de la superficie quemada total), sino también por el grado de severidad (64% con afectación moderada-alta o alta). Esto puede deberse a la gran acumulación de biomasa remanente de años anteriores, que está seca en primavera, propiciando incendios con elevadas temperaturas y larga duración; de hecho, los encinos son utilizados como leña y carbón, por su gran capacidad para producir fuego, y son, precisamente, los hornos de carbón que se construyen en el bosque, una causa distintiva de incendio en este tipo de vegetación (Rodríguez-Trejo, 2008). Las zonas quemadas con afectación baja presentan tras el incendio una disminución de NDVI incluso ligeramente menor que las zonas no quemadas (0.249, 44%), lo que puede corresponder a un efecto de rebrote, mientras que las zonas más afectadas presentan una disminución de NDVI que aumenta con el nivel de afectación, llegando a 0.518 puntos (69%).

En las zonas con afectación baja y moderada-baja, la disminución del CIre es menor que el promedio de la cobertura (0.545, 55% y 0.862, 67%, respectivamente), lo que refuerza la posibilidad de un rebrote de especies herbáceas, capaces de aprovechar las condiciones

inmediatas después del incendio, mientras que la vegetación caducifolia se mantiene seca durante la primavera. En las zonas donde el daño es más severo, la disminución de clorofila aumenta con el nivel de afectación, llegando en las zonas de afectación alta a 1.670 puntos de CIre (85%), coherente con la senescencia del follaje.

La comparación del NDVI entre las dos temporadas de invierno muestra disminuciones mucho menores que las observadas en primavera, con un ligero aumento en función de la afectación (0.060, 7%, en la afectación alta). Las zonas con afectación baja o moderada muestran una recuperación del contenido de clorofila (0.317 puntos de CIre, -25%, y 0.380, -5%, respectivamente); la pérdida de clorofila aumenta en las zonas severamente afectadas, llegando a 0.666 puntos de CIre (19%) en la afectación alta. Esto significa que después de un incendio moderado y habiendo pasado una temporada de lluvias, hay una reactivación de la actividad fotosintética, que podría explicarse por el rebrote de los árboles que sobrevivieron al fuego. La mayoría especies de encino de México (muchos encinos arbóreos y la totalidad de los encinos arbustivos) están adaptadas al fuego y son diversas las especies que se regeneran bien en sitios incendiados, en particular las que tienen bellotas pequeñas (Rodríguez-Trejo, 2008). Como en los encinares se acumula abundante hojarasca, son comunes regímenes de fuego con incendios superficiales; en incendios severos, la probabilidad de muerte de la parte aérea es aproximadamente cuatro veces mayor que la del árbol, ya que la adaptación al fuego más común en encinos es su capacidad de rebrotación, aunque haya muerto la parte aérea (Rodríguez-Trejo, 2008), gracias a la capacidad de desarrollar brotes vigorosos de los collares radiculares (Meng *et al.*, 2018). La respuesta al fuego parece depender también de la etapa sucesional: en etapas sucesionales tempranas los encinos están más adaptados y son dependientes del fuego, exhibiendo mayor capacidad de rebrote, que en etapas sucesionales avanzadas (Rodríguez-Trejo, 2008); si el fuego es demasiado frecuente, puede favorecer que los encinos arbustivos se estanquen en la sucesión ecológica; en las zonas más afectadas hay una paulatina recuperación, que puede deberse al rebrote de nuevas plantas herbáceas, pues el fuego promueve la riqueza de especies del sotobosque, siempre que las copas dejen pasar radiación solar suficiente (Rodríguez-Trejo, 2008). La rápida recuperación de la vegetación baja puede llevar a malas interpretaciones de los índices y a sobrestimar la recuperación de corto plazo, especialmente con severidades altas, donde la aparición de claros por los que penetra la luz facilita el rápido crecimiento de las plantas de sotobosque (Meng *et al.*, 2018).

En el caso de V5, bosque tropical caducifolio, hay 224522 ha en total en la zona (26% de la vegetación natural), que se distribuyen principalmente en la mitad norte. Se trata de un tipo de cobertura cuyos doseles están completamente secos en primavera, pero con una densidad alta de follaje en verano y otoño. El comportamiento promedio del NDVI en las fechas consideradas es similar al de V1, siendo de los tipos de vegetación con menor densidad de follaje en primavera. En esta época del año, la disminución del NDVI en V5 no alcanza los 0.1 puntos (24%), siendo la menor de todos los tipos de vegetación, como también lo es el valor promedio del índice en febrero (0.338) y mayo (0.249).

La superficie de bosque tropical caducifolio afectada por los incendios de la primavera 2021 se acerca a las 8000 ha, que representan el 16% de la superficie quemada total. El nivel de afectación es bajo o moderadamente bajo en el 91% del área quemada y solo 152 ha presentan afectación alta. Se trata de áreas en las que la vegetación está muy seca, por ser tropical caducifolia y por encontrarse en zonas de mayores temperaturas y menor humedad; sin embargo, la cantidad de biomasa acumulada es baja por tratarse de plantas herbáceas, arbustivas, y arbóreas, estas últimas de poca altura; también, hay que considerar que las superficies de bosque tropical caducifolio que se encuentran cerca de pequeñas poblaciones rurales y son de fácil acceso, se queman de manera frecuente para sembrar cultivos de temporal, como el maíz, según la práctica de roza-tumba-quema, lo que podría explicar que los incendios provocados no resulten graves. En muchas regiones, luego de aplicar tumba-roza y quema, se cultiva maíz y luego se siembran pastos exóticos, que son mantenidos mediante quemas

repetidas; la recuperación del bosque tropical caducifolio toma décadas, y en muchas áreas el cambio de uso del suelo ya es definitivo (Rodríguez-Trejo, 2014).

En las zonas incendiadas con afectación baja o moderada baja, la disminución de NDVI entre antes y después del incendio es del 40%, si bien no alcanza los 0.2 puntos, por ser una vegetación caducifolia y encontrarse seca en esa época del año; la disminución es mayor en las zonas con mayor afectación, llegando al 88% en las de afectación alta. En cuanto a la clorofila, las zonas de V5 con afectación baja y moderada baja presentan una disminución de 0.227 puntos de CIre (40%) y 0.318 (53%), respectivamente, mayor que la disminución sufrida por la vegetación sin quemar (0.151, 29%), mientras que el cambio en las zonas con afectación moderadamente alta y alta es mucho mayor (0.886, 76% y 1.989, 88%, respectivamente). Esto indica la desaparición de prácticamente toda la vegetación verde en las zonas de incendios severos.

El comportamiento del NDVI entre las temporadas de invierno, antes y después de los incendios, muestra pérdidas menores en las zonas con afectación moderada-alta (0.131 puntos, 17%) y alta (0.086, 12%) que la pérdida sufrida de manera natural en las zonas no quemadas (0.132, 21%), si bien en las afectaciones baja (0.145, 22%) y moderada-baja (0.175, 26%) la disminución es mayor. Esto indicaría una mayor recuperación de la cantidad de vegetación en las zonas más afectadas. La disminución de la clorofila es de 0.443 en la vegetación no quemada y aumenta con el nivel de afectación, llegando a 0.938 en las zonas con afectación alta; sin embargo, en porcentaje la pérdida en las zonas con afectación moderada-alta es similar a la natural (33%) y mayor en la afectación baja (35%) y moderada-baja (39%), que en las zonas con alta afectación (28%). Esto refleja un efecto positivo del fuego, que probablemente está asociado a la proliferación de ciertas especies, pero a la disminución de la riqueza en general; también es posible que se trate de los cultivos de temporal, como el maíz, establecidos tras la quema. El fuego parece limitar la extensión y diversidad del bosque tropical caducifolio en muchos lugares, pues la tala y quema reducen drásticamente tanto la densidad de semillas, como el número de especies que germinan en el banco de semillas (Rodríguez-Trejo, 2008). Las adaptaciones más importantes ante el fuego que presentan diversos árboles de estas regiones involucran la rebrotación, la recolonización de sitios quemados a partir de semillas y la latencia física; varias especies rebrotan después de ser cortadas, pero no después de ser quemadas (Rodríguez-Trejo, 2014). Algunas especies, como *Metopium brownei*, presente en los bosques tropicales estacionales y lluviosos, resisten el fuego y tienden a dominar cuando éste reduce la densidad de árboles, provocando la conversión de los bosques tropicales en sabanas (Rodríguez-Trejo, 2008).

Vegetación perennifolia

Las coberturas V3 y V4 corresponden a los bosques templados de la zona de estudio, ya que incluyen, en diferentes proporciones, zonas clasificadas en la Serie VI de INEGI como bosque de pino y pino-encino (41.8% en V3 y 63.3% en V4), y de encino y encino-pino (13.4% y 9.3%), además de vegetación secundaria arbórea (15.3% y 14.1%), vegetación secundaria arbustiva (19.5% y 10.9%), bosque cultivado (9.1% y 0.22%), bosque mesófilo (0.8% y 1.7%) y bosque de oyamel (0.02% y 0.35%). Estas asociaciones ocupan en la zona de estudio 58201 ha (V3) y 305560 ha, (V4), lo que representa el 7% y el 36% de la vegetación natural, y de la cual V3 es el tipo de vegetación menos abundante de los identificados en la zona. En los bosques V4 la disminución del NDVI en primavera es de 0.154 puntos (20%) y un poco menor en los bosques V3, con 0.112 (17%), manteniéndose por encima de 0.5 puntos, lo que es coherente con una vegetación mayormente perennifolia.

En cuanto a la clorofila, en primavera los bosques V4 presentan una mayor disminución de puntos CIre que los bosques V3 (0.783 frente a 0.409), si bien en porcentaje la tendencia es a la inversa (29% frente a 37%), lo que indica un mayor contenido inicial de clorofila en V4. Entre las dos temporadas de invierno, los bosques V4 presentan una ligera disminución del NDVI

(0.025, 3%); para V3 la pérdida de densidad de vegetación es mayor (0.110 puntos de NDVI, 14%). También la pérdida de clorofila es mayor en V3 (0.491, 22.5% frente a 0.254, 7.7% en V4).

La superficie afectada por incendios en estas coberturas asciende en total a 1999 ha de V3 y 7366 ha de V4 (4% y 15% de la superficie quemada total). En las zonas de bosque siniestradas, la afectación es principalmente baja (70% en V3 y 38% en V4) y moderada-baja (25% y 41%) y solo es alta en menos del 1% de la superficie quemada. En masas densas los combustibles más comunes son hojarasca y leñas, pero en masas abiertas lo son los pastos (Rodríguez-Trejo, 2008). En las zonas quemadas, la pérdida de NDVI aumenta progresivamente con el nivel de afectación, llegando en las zonas más afectadas a 0.398 (49%) en V4 y a 0.368 (46%) en V3.

En estas zonas de afectación alta, la disminución del CIre es importante (1.971, 79% en V4 y 1.778, 72% en V3); sin embargo, en las zonas incendiadas con afectación baja, la disminución del CIre es del mismo orden o incluso menor que el promedio de la cobertura. Esto es coherente con la capacidad de los pinos de resistir incendios moderados antes de que se alcance el umbral de severidad que implica la mortalidad de los árboles, que cuentan con mecanismos que les permiten resistir incendios de moderada o alta intensidad: algunos pinos tienen cortezas gruesas resistentes al fuego y la habilidad de recuperarse con el rebrote de la copa; otros basan su regeneración en bancos de semillas, cuya germinación se puede ver facilitada por las condiciones durante y después de un incendio (Meng *et al.*, 2018). En todos los casos, cuanto mayor es el tamaño del árbol, menor es la probabilidad de mortalidad (Rodríguez-Trejo, 2008).

Entre las dos temporadas de invierno, en las zonas más afectadas por los incendios, los bosques V4 presentan muy poca disminución de NDVI (0.049, 6%) y de CIre (0.553, 21.6%), mientras que en V3 la pérdida de densidad de vegetación llega hasta 0.237 puntos de NDVI (28%) y la disminución del CIre es importante (1.545, 49%), lo que refleja una menor recuperación de los bosques V3 y una mayor resiliencia de los bosques más densos, V4. La disminución del NDVI es un poco menor en las zonas con afectación baja que en el promedio de la cobertura (0.099, 13% en V3, 0.02, 2.3% en V4); igual comportamiento se observa con la disminución del CIre (0.390 en V3, 21.6%, y 0.144 en V4, 6.6%). Esto indica buena capacidad de recuperación ante incendios poco graves. Se han documentado algunos casos de incendios que promueven el crecimiento de árboles por eliminación de las ramas más viejas y menos productivas, con follaje menos eficiente fotosintéticamente, y también por fertilización con cenizas (Rodríguez-Trejo, 2008). En un bosque hay que considerar separadamente la recuperación del estrato arbóreo y la de los estratos inferiores, que pueden recuperarse más rápidamente, si bien la vegetación no será la misma, ni en estructura y funcionamiento, ni en su capacidad de almacenamiento de agua y carbono (Meng *et al.*, 2018). En algunos casos, sin embargo, se ha registrado una mayor riqueza de especies del sotobosque (aumento de casi el 100%) y diversidad después de quemas prescritas; así, el fuego contribuye a mantener una alta diversidad en la mayoría de pinares y bosques de pino-encino, si bien los bosques de pinos que se queman con demasiada frecuencia se degradan (Rodríguez-Trejo, 2008).

En definitiva, el fuego tiene impactos negativos, como deforestación, erosión, contaminación, mortalidad de árboles y vida silvestre, además de riesgo para las personas y sus propiedades, etc.; pero también puede tener impactos positivos en la diversidad, regeneración y crecimiento de árboles, reciclaje de nutrientes y materia orgánica, hábitat de la vida silvestre o alimento para el ganado (Rodríguez-Trejo, 2008). Los efectos del fuego varían según el tipo de componentes del ecosistema, así como de la escala espacial y las condiciones del régimen de incendios (Jardel-Peláez *et al.*, 2014). En los bosques de pino, el uso de quemas prescritas a baja intensidad y severidad, además de ayudar a mantener la vegetación y un ambiente favorable para infinidad de especies faunísticas, ayuda a preservar condiciones propias para actividades recreativas y reduce el peligro de incendios de gran magnitud (Rodríguez-Trejo, 2008), mientras que la supresión del fuego provoca la acumulación de material combustible, además de cambios en la estructura y composición de la vegetación, aumentando el riesgo de incendios severos (Jardel-Peláez *et al.*, 2014) de una intensidad mucho mayor y efectos mucho más

graves (Rodríguez-Trejo, 2008). En otros ecosistemas, sin embargo, como los encinares, es conveniente reducir la carga de leña y hojarasca antes de pensar en realizar quemas prescritas (Rodríguez-Trejo, 2014). En los bosques tropicales con prevalencia de especies sensibles al fuego, degradados o invadidos por pastos exóticos, se recomienda la exclusión del fuego (Rodríguez-Trejo, 2014); más incendios extienden la sabana y reducen el bosque tropical caducifolio, mientras que la exclusión de incendios extiende dichos bosques, reduciendo la sabana (Rodríguez-Trejo, 2008).

Las respuestas de los ecosistemas y la biodiversidad al fuego son complejas y para muchos ecosistemas existe todavía una carencia de conocimiento al respecto, por lo cual este sigue siendo un tema relevante de investigación (Jardel-Peláez *et al.*, 2014). Los datos de teledetección son útiles para este tipo de estudios, pues, a pesar de algunas limitaciones, como el tamaño de pixel o la imposibilidad de distinguir entre los estratos de vegetación o las especies, permiten el monitoreo sistemático de las superficies naturales, por su disponibilidad en cualquier zona afectada y en fechas anteriores y posteriores al evento (Chuvienco *et al.*, 2019). Todos los atributos del régimen de incendios que se pueden caracterizar espacialmente (recurrencia del fuego, intervalo de retorno, severidad, etc.), se relacionan significativamente con el reverdecimiento, en una gran variedad de escenarios de recuperación post-incendio (Fernández-García *et al.*, 2018). El uso de índices de vegetación puede complementarse con datos de campo y datos obtenidos con técnicas multi-sensores, incluyendo LiDAR o hiperespectrales, para proponer planes operacionales de manejo postincendio (Meng *et al.*, 2018).

Los nuevos conocimientos deben ser aplicados en la administración de los ecosistemas, con el fin de preservarlos, restaurarlos o hacerlos productivos para la silvicultura o los usos tradicionales. Esto puede lograrse a través de un manejo integrado de incendios, que incluya tanto las actividades para prevenir y combatir incendios forestales, como una regulación del uso del fuego que considere aspectos ecológicos, políticos, sociales, antropológicos, legales, económicos, normativos y operativos, siempre en beneficio de la biodiversidad y el bienestar de la población (Rodríguez-Trejo, 2008). Esta filosofía conservacionista y respetuosa del medio ambiente, dista mucho, sin embargo, de la que subyace en los incendios forestales ocurridos en Michoacán en la primavera de 2021, coincidiendo con el confinamiento impuesto por la pandemia del COVID-19.

CONCLUSIONES

En Michoacán ocurren incendios forestales todas las primaveras, en su mayoría provocados con fines agrícolas o de deforestación, que representan un problema ambiental. En el presente trabajo se presenta el estudio, utilizando técnicas de teledetección, de los incendios de la primavera 2021; durante el confinamiento por el COVID-19, fueron especialmente numerosos, en particular en la zona noroeste del estado, donde se encuentra la Meseta Purépecha, zona de importancia social y forestal. Las áreas quemadas se identificaron con una clasificación no supervisada de una imagen posterior al incendio, y el nivel de afectación por la diferencia del índice NBR entre antes y después; se consideraron cinco tipos de vegetación forestal (V1 a V5), según el comportamiento de su NDVI a lo largo del año. En la vegetación caducifolia de baja densidad, tanto arbustiva (V1) como de bosque tropical caducifolio (V5), la afectación fue mayoritariamente baja o moderada-baja, debido al poco material combustible presente, además de que la recuperación fue alta; en las zonas de bosque tropical caducifolio más afectadas, hubo incluso un efecto positivo del fuego, probablemente asociado a la proliferación de ciertas especies. Por otra parte, la vegetación caducifolia con alta densidad (V2), donde predominan los encinos, fue la que presentó el mayor porcentaje de afectación moderada-alta o alta, por la gran acumulación de biomasa seca muy combustible; se observó un fuerte efecto de rebrote en las zonas con afectación baja y moderada-baja. En los bosques templados de vegetación perennifolia (V3 y V4), la afectación fue mayoritariamente baja o moderadamente baja; en

incendios moderados, se pudo producir el rebrote de copa de los pinos; en las zonas más afectadas se observó una mayor resiliencia de los bosques más densos. Ante el cambio climático y el mayor número y gravedad de los incendios forestales, es importante contar con información global y oportuna, como la obtenida mediante el análisis de imágenes satelitales de teledetección. Esto no excluye, sin embargo, la necesidad de información de campo, ya que los datos satelitales no permiten distinguir entre especies, ni la complejidad de la estructura de la vegetación.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el financiamiento del trabajo.

LITERATURA CITADA

- Ali, A. M., Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Gara, T. W., O'Connor, B., Rocoesli, C., Heurich, M., & Paganini, M. (2020). Comparing methods for mapping canopy chlorophyll content in a mixed mountain forest using Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102037>
- CEDRSS (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). (2017). *Caso de exportación: El aguacate*.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanasse, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J., & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
- Clevers, J. G. P. W., & Gitelson, A. A. (2013). Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on sentinel-2 and-3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23(1), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.10.008>
- Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A. F., & Krebs, P. (2009). Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews*, 28(5–6), 555–576. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.11.005>
- Durán, C. V., & Sevilla, P. F. (2003). *Atlas geográfico del estado de Michoacán* (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, El Colegio de Michoacán, Secretaría de Educación en el estado de Michoacán., & EDDISSA (eds.), Eds.).
- España-Boquera, M. L., & Champo-Jiménez, O. (2011). *Proceso de deforestación en el municipio de Cherán, Michoacán, México (2006-2012)*. 22, 141–153.
- Fernández-García, V., Quintano, C., Taboada, A., Marcos, E., Calvo, L., & Fernández-Manso, A. (2018). Remote sensing applied to the study of fire regime attributes and their influence on post-fire greenness recovery in pine ecosystems. *Remote Sensing*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/rs10050733>
- Franco, M. G., Mundo, I. A., & Veblen, T. T. (2020). Field-validated burn-severity mapping in North Patagonian forests. *Remote Sensing*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/rs12020214>
- Fuentes Díaz, A., & Paleta Pérez, G. (2015). Violencia y autodefensas comunitarias en Michoacán, México. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 19(53), 171. <https://doi.org/10.17141/iconos.53.2015.1702>
- García-Lam, L. (2022). *Los bosques rebeldes de Cherán. Análisis etnográfico de las fuerzas y resistencias sociales frente al abuso del poder*. www.ceey.org.mx
- Gasparello, G. (2018). *Conflicto, respuestas comunitarias a la violencia y formación de paz en Cherán, Michoacán*. <http://revistadeculturadepaz.com>

Recibido:
8/junio/2023

Aceptado:
8/enero/2024

- Jardel-Peláez, E. J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado, E., & Morfin-Ríos, J. E. (2014). *Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo*. CONAFOR.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P. E., & Benson, N. C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. In *International Journal of Wildland Fire* (Vol. 15, Issue 3, pp. 319–345). <https://doi.org/10.1071/WF05097>
- Llorens, R., Sobrino, J. A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>
- MacCarthy, J., Richter, J., Tyukavina, S., Weisse, M., & Harris, N. (2023, August 29). *Fires are getting worse*. Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org/blog/fires/data-trends-forest-fires-getting-worse/>
- Meng, R., Wu, J., Zhao, F., Cook, B. D., Hanavan, R. P., & Serbin, S. P. (2018). *Measuring short-term post-fire forest recovery across a burn severity gradient in a mixed pine-oak forest using multi-sensor remote sensing techniques*. <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/2>
- Montandon, L. M., & Small, E. E. (2008). The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 112(4), 1835–1845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.007>
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P.-C., Vázquez, Á., & Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003>
- Reed, B. C., Brown, J. F., VanderZee, D., Loveland, T. R., Merchant, J. W., & Ohlen, D. O. (1994). Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*, 5(5), 703–714. <https://doi.org/10.2307/3235884>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). Fire regimes, fire ecology, and fire management in Mexico. *Ambio*, 37(7–8), 548–556. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación. su ecología, manejo e historia. VOL 1* (SEMARNAT, CONAFOR, CONANP, Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, ANCF, & AMPF, Eds.; 1st ed., Vol. 1). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Sáenz-Ceja, J. E., & Pérez-Salicrup, D. R. (2021). Avocado Cover Expansion in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Conservation*, 1(4), 299–310. <https://doi.org/10.3390/conservation1040023>
- Sobrino, J. A., Llorens, R., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2019). Relationship between forest fires severity measured *in situ* and through remotely sensed spectral indices. *Forests*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/f10050457>
- Szpakowski, D. M., & Jensen, J. L. R. (2019). A review of the applications of remote sensing in fire ecology. In *Remote Sensing* (Vol. 11, Issue 22). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs11222638>
- Westerling, A. L., Hidalgo, H. G., Cayan, D. R., & Swetnam, T. W. (2006). Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science*, 6789, 940–943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.1128834>
- White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C., & Running, S. W. (1996). Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. In *Int. J. Wildland Fire* (Vol. 6, Issue 3).

**CONSERVACIÓN *in vitro*
A MEDIANO PLAZO DE VAINILLA
(*Vanilla planifolia* Andrews;
Orchidaceae)**

**MEDIUM-TERM *in vitro*
CONSERVATION OF VANILLA
(*Vanilla planifolia* Andrews;
Orchidaceae)**

Cisneros-Marrero, I.V.; C.L. Miceli-Méndez A.G. Rocha-Loredo, M.Á. Peralta-Meixueiro y M.A. López-Miceli

CONSERVACIÓN *in vitro* A MEDIANO PLAZO DE VAINILLA (*Vanilla planifolia* Andrews; Orchidaceae)

MEDIUM-TERM *in vitro* CONSERVATION OF VANILLA (*Vanilla planifolia* Andrews; Orchidaceae)



Conservación *in vitro* a mediano plazo de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews; Orchidaceae)**Medium-term *in vitro* conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews; Orchidaceae)**

Cisneros-Marrero, I.V.;
C.L. Miceli-Méndez
A.G. Rocha-Loredo,
M.Á. Peralta-Meixueiro
y M.A. López-Miceli

CONSERVACIÓN *in vitro* A
MEDIANO PLAZO DE
VAINILLA (*Vanilla planifolia*
Andrews; Orchidaceae)

MEDIUM-TERM *in vitro*
CONSERVATION OF
VANILLA (*Vanilla planifolia*
Andrews; Orchidaceae)

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 145-155. Enero 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.57.8

Ingrid Viridiana Cisneros-Marrero

<https://orcid.org/0009-0002-7018-8160>

Clara Luz Miceli-Méndez / clara.miceli@unicach.mx

<https://orcid.org/0009-0006-9492-7609>

Ana Guadalupe Rocha-Loredo

<https://orcid.org/0000-0003-2284-9622>

Miguel Ángel Peralta-Meixueiro

<https://orcid.org/0000-0002-2100-7821>

Mario Alberto López-Miceli

<https://orcid.org/0009-0007-9582-7615>

*Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*

RESUMEN: *Vanilla planifolia* Andrews, es una especie Sujeta a Protección Especial, que requiere la generación de estrategias de conservación novedosas, como la conservación *in vitro* a mediano plazo, permitiendo alargar los intervalos entre subcultivos, manteniendo la capacidad para reactivar las tasas de crecimiento. En este sentido los trabajos dedicados a la conservación *in vitro* a mediano plazo de vainilla se encuentran enfocados principalmente en el uso de agentes osmóticos, no obstante, los inhibidores de crecimiento son, un mecanismo promisorio cuyo uso debe evaluarse, ejemplos de ello son el ácido abscísico (ABA) y cloruro de cloromequat (CCC), que se han ensayado con éxito en otras especies, sin embargo, hasta el momento no existen reportes sobre los efectos de su interacción en vainilla. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la interacción de diferentes concentraciones de ABA (0, 1.5 y 3 mg L⁻¹) y CCC (0, 1, 2, 4 y 6 mg L⁻¹) adicionados al medio Murashige y Skoog (MS) al 75%, en la inhibición de la morfogénesis en el cultivo *in vitro* de microestacas de *Vanilla planifolia*, de 1.5 cm de longitud, sometidas a un fotoperiodo de 16/8 horas luz/obscuridad, a 25 ± 2 °C a 2000 lux de intensidad lumínica durante 200 días, evaluando para ello la longitud total de las plántulas, el número de brotes, hojas, raíces y porcentaje de supervivencia, obteniendo los mejores resultados en el tratamiento 3.0: 2.0 mg L⁻¹ de ABA/CCC (T 12) debido a que presentó una supervivencia del 100%, 1.90 cm de longitud total, 0.44 brotes, 1.88 hojas y 1.64 raíces, por lo que, la combinación de los reguladores permitió la conservación *in vitro* a mediano plazo de *V. planifolia* al reducir el crecimiento y desarrollo de las plántulas sin afectar su sobrevivencia.

Palabras claves: ácido abscísico, cloruro de cloromequat, crecimiento reducido.

ABSTRACT: *Vanilla planifolia* Andrews, is a species subject to special protection, which requires the generation of novel conservation strategies, such as medium-term *in vitro* conservation, allowing for longer intervals between subcultures, while maintaining the ability to reactivate growth rates. In this sense, works dedicated to the medium-term *in vitro* conservation of vanilla are mainly focused on the use of osmotic agents, nevertheless, growth inhibitors are a promising mechanism whose use should be evaluated, examples of which are abscisic acid (ABA) and chlormequat chloride (CCC), which have been successfully tested in other species, however, so far there are no reports on the effects of their interaction in vanilla. Therefore, the present study aimed to determine the effect of the interaction of different concentrations of ABA (0, 1.5 and 3 mg L⁻¹) and CCC (0, 1, 2, 2, 4 and 6 mg L⁻¹) added to Murashige and Skoog (MS) medium at 75%, on the inhibition of morphogenesis *in vitro* culture of *Vanilla*

planifolia microstakes, 1.5 cm in length, subjected to a photoperiod of 16/8 hours light/dark, at 25 ± 2 °C at 2000 lux light intensity for 200 days, evaluating the total length of the plantlets, the number of shoots, leaves, roots and survival percentage, the best results were obtained in treatment 3.0: 2.0 mg L⁻¹ of ABA/CCC (T 12) because it showed 100% survival, 1.90 cm total length, 0.44 shoots, 1.88 leaves and 1.64 roots. Therefore, the combination of the regulators had a synergistic effect that allowed the medium-term *in vitro* conservation of *V. planifolia* by reducing the growth and development of the seedlings without affecting their survival.

Key words: abscisic acid, chlormequat chloride, reduced growth.

INTRODUCCIÓN

La especia vainilla se obtiene de los frutos beneficiados de diversas especies del género *Vanilla*, una de estas es *V. planifolia* Andrews, que representa cerca del 95% de los frutos comercializados (Bory *et al.*, 2008; Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014). La especie es originaria de las selvas tropicales del sureste de México y América Central (Bello-Bello *et al.*, 2015), siendo considerado México como su centro de origen y domesticación (Rodríguez-Deméneghi *et al.*, 2023). Sin embargo, su polinización y germinación en ambientes naturales es baja. Aunado a ésto, las poblaciones naturales han sido diezmadas por la recolecta excesiva e ilegal, provocando que se encuentre en vía de extinción en su hábitat natural, razón por la que es considerada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 “Sujeta a Protección Especial (Pr)” (Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010; Bello-Bello *et al.*, 2015; Bonilla *et al.*, 2015; Lozano-Rodríguez *et al.*, 2015).

Con base a lo anterior, es necesario el desarrollo de estrategias para la conservación de esta especie. Actualmente, la conservación *ex situ* es considerada como la mejor opción, debido al deterioro del hábitat por la tala inmoderada y el cambio de uso de suelo (Menchaca & Lozano, 2018), además de ser una opción para preservar algunas especies vegetales (Reed *et al.*, 2011; Coelho *et al.*, 2020). Los bancos de germoplasma son un método tradicional de conservación *ex situ*, sin embargo, no son una buena opción de conservación para todas las especies (Engelmann, 2011; Coelho *et al.*, 2020). Mientras que el método de colecciones de campo tiene como limitante el de requerir un considerable espacio físico y un alto costo para el mantenimiento, control de plagas y enfermedades (Bello-Bello *et al.*, 2014; Coelho *et al.*, 2020). Por lo tanto, los métodos biotecnológicos como la conservación *in vitro* a corto (crecimiento activo), mediano (crecimiento lento) y largo plazo (crioconservación) pueden considerarse mejores alternativas (Coelho *et al.*, 2020).

Respecto al método a mediano plazo como es el de crecimiento lento, los explantes permanecen por 6 meses o hasta por 12 meses en cultivo *in vitro* (Rayas *et al.*, 2002; Sánchez-Chiang & Jiménez, 2010). Este método se basa en la disminución de la división celular y el metabolismo de la planta, con la finalidad de incrementar el plazo de tiempo entre subcultivos, para disminuir los riesgos de contaminación por el subcultivo constante, sin que se produzcan cambios genéticos y se logre mantener la diversidad genética de una especie bajo condiciones estériles sin poner en peligro la estabilidad de la planta (Shibli *et al.*, 2006).

A nivel mundial se han empleado ciertas sustancias relacionadas en el crecimiento vegetal, entre ellas, el cloruro de chlormequat (CCC), que ha sido empleado como inhibidor del crecimiento vegetal en diversas especies en invernadero como es el caso de plántulas de lechuga (Bermúdez, 2018), además, han reportado trabajos sobre desarrollo y rendimiento del girasol (Silva-Garza *et al.*, 2001), microtuberización *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Cardinal y Diarnant (Hussain *et al.*, 2006; Zakaria *et al.*, 2008), sobre aclimatación y crecimiento *in vitro* de *Tibouchina urvilleana* (DC). Cogn. (Kozak, 2006), micropropagación de *Eclipta alba* (L.) Hassk (Ray & Bhattacharya, 2008), regeneración *in vitro* de cuerpos protocórmicos (PLBs) de *Phalaenopsis* ‘Fmk02010’ (Mehraj *et al.*, 2017), entre otros; pero no han reportado su empleo para la conservación *in vitro* a mediano plazo en cultivos como la vainilla; así

también los trabajos dedicados a su conservación *in vitro* mediante el empleo de ácido abscísico (ABA) son escasos (Bello-Bello *et al.*, 2015; Pastelín, 2018; Bautista-Aguilar *et al.*, 2021).

Tomando en consideración lo anterior, el empleo de ABA y CCC puede considerarse como una estrategia de conservación *in vitro* a mediano plazo, para aumentar los intervalos entre subcultivos, suministro constante de plantas libres de patógenos y disminución en el empleo de mano de obra, a comparación del método de conservación a corto plazo, el cual implica un crecimiento a tasas normales, conllevando a un mantenimiento constante, mayor mano de obra (remunerado) y mayor cantidad de reactivos, debido a que los subcultivos se realizan cada 30 a 60 días (Sánchez-Chiang & Jiménez, 2010; Pérez *et al.*, 2012; Bello-Bello *et al.*, 2015; Bonilla *et al.*, 2015; Alcántara *et al.*, 2017).

Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la interacción de diferentes concentraciones de los inhibidores de ABA y CCC en la inhibición de la morfogénesis de microestacas de *V. planifolia* cultivadas *in vitro* como una alternativa de conservación a mediano plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Ciencias Biológicas de la UNICACH, ubicado en Ciudad Universitaria, Libramiento Norte Poniente 1150, Colonia Lajas Maciel Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Material vegetal

La colecta del material biológico utilizado fue autorizada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) bajo la licencia de colecta científica SGPA/DGVS/11157/19. Derivado de lo anterior, se obtuvieron mediante cultivo *in vitro* plántulas de vainilla (*V. planifolia*) y posteriormente microestacas (explantes) de 1.5 cm. Todo el material empleado se cultivó *in vitro* en medio Murashige y Skoog al 50%, incubados a 25 ± 2 °C, con un ciclo de fotoperiodo de 16/8 h y una intensidad lumínica de 2000 lux.

Preparación de medio

Se preparó medio Murashige y Skoog al 75% (MS 75%), con 30 g L⁻¹ de sacarosa, adicionado con ABA a 0, 1.5 y 3 mg L⁻¹, CCC a 0, 1, 2, 4 y 6 mg L⁻¹ o su combinación (ABA/CCC) (Tabla 1). Se ajustó el pH a 5.6 con NaOH y HCl al 1 N, se agregó 2.5 mg L⁻¹ de Phytigel Sigma®, se vació 20 ml de medio MS 75%, en cada uno de los frascos de vidrio de 125 ml con tapa, por último, se esterilizaron en autoclave a 121 °C a una presión de 15 psi⁻¹, durante 15 minutos.

Conservación *in vitro* a mediano plazo

Posteriormente las microestacas fueron transferidas asépticamente a los frascos de vidrio (una microestaca por frasco) con medio de cultivo modificado (ABA, CCC o ambos) estéril. Los tratamientos experimentales y el control se incubaron durante 200 días bajo las mismas condiciones de iluminación y temperatura de la etapa de cultivo previa a la obtención de las microestacas.

Evaluación de las variables

Al cumplir el periodo de incubación se midió la longitud total de las plántulas obtenidas a partir de la yema de las microestacas, con un vernier digital Stainless Hardened®. Al finalizar el experimento se contabilizó el número de brotes, número de hojas, número de raíces y porcentaje de supervivencia.

Tabla 1. Combinaciones de inhibidores de crecimiento, ABA y CCC, utilizados en la conservación *in vitro* de *Vanilla planifolia*

Table 1. Combinations of growth inhibitors, ABA and CCC, used in the *in vitro* conservation of *Vanilla planifolia*.

Tratamientos	mg L ⁻¹	
Control	0.0: 0.0	
CCC	T 01	1
	T 02	2
	T 03	4
	T 04	6
ABA	T 05	1.5
	T 10	3
ABA/CCC	T 06	1.5: 1.0
	T 07	1.5: 2.0
	T 08	1.5: 4.0
	T 09	1.5: 6.0
	T 11	3.0: 1.0
	T 12	3.0: 2.0
	T 13	3.0: 4.0
	T 14	3.0: 6.0

Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar para 14 tratamientos experimentales y un control, cada tratamiento constó de 25 unidades experimentales, cada una conformada por una microestaca creciendo en un frasco con 25 ml de medio de cultivo con su respectivo tratamiento, empleándose un total de 375 unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron sometidos a una prueba Shapiro Wilk y Levene, para analizar la normalidad y homogeneidad de las varianzas, al no superarse los supuestos se optó por realizar una prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$), y posteriormente una prueba de Dunn, para determinar diferencias intragrupos. Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico R versión (4.1.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de 200 días de cultivo *in vitro* se observó una reducción en la longitud de los explantes, la mayoría de ellos vigorosos. Así mismo, se observa que el tratamiento Control pese a presentar una mayor longitud, las hojas viejas inferiores presentaron una clorosis general avanzada, verde pálido a amarillo desde las hojas viejas hasta las jóvenes y nuevo crecimiento, además de un desarrollo débil, así como la pérdida y secado de hojas viejas (Figura 1a). Mientras que, en los tratamientos experimentales, únicamente se observan síntomas de déficit nutrimental en el tratamiento T 03 (4 mg L⁻¹ de CCC) (Figura 1c).

Para el caso de *V. planifolia* Bello-Bello *et al.* (2015), reportan la ausencia de anomalías fenotípicas en las plántulas de vainilla, cultivadas *in vitro* con 1, 2 y 3 mg L⁻¹ de ABA con MS al 100%, de manera similar, Barreto & Carvalho (2008) reportan una completa dormancia de yemas, sin afectar su desarrollo y posterior conversión en plántulas de yemas axilares nodales de yuca (*Manihot esculenta* Grantz) conservadas en 5.29 y 7.92 mg L⁻¹ de ABA. De igual forma Yun-peng *et al.* (2012), refieren la ausencia de afectaciones morfológicas en el cultivo de dos especies de lirios (*Lilium davidii* Duch. ex Elwes y *Lilium longiflorum* Thunb.) en medio adicionado con 3 mg L⁻¹ de ABA durante 15 meses.

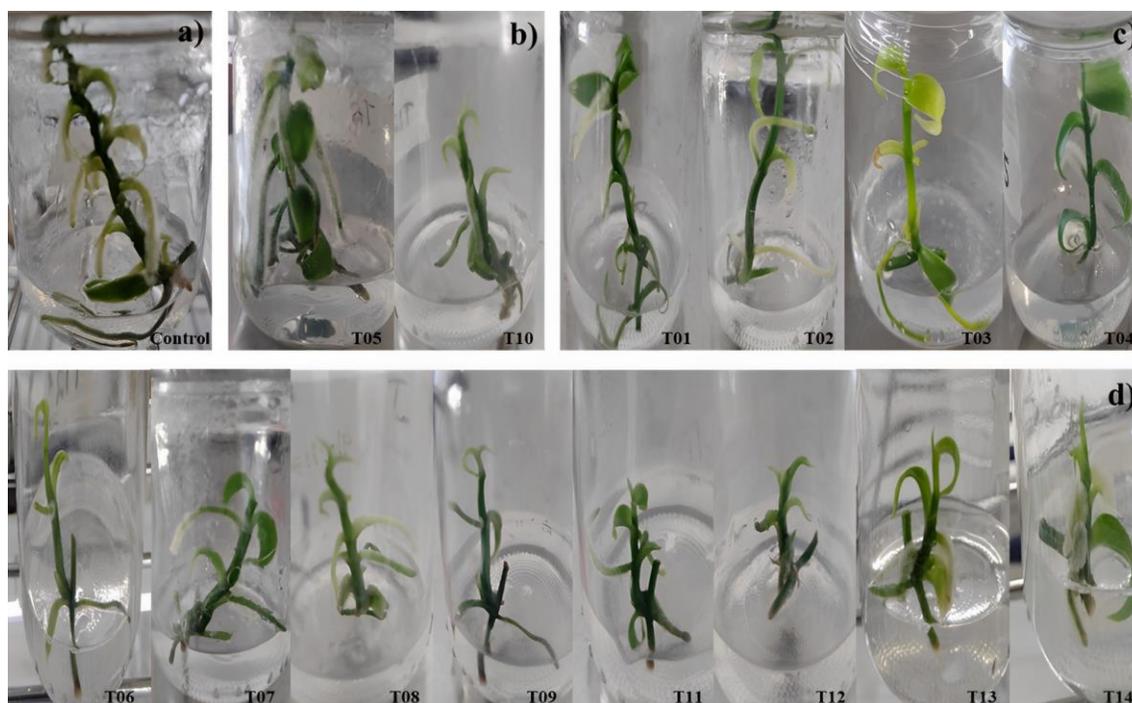


Figura 1. Efecto de concentraciones de dos inhibidores de crecimiento, sobre la conservación *in vitro* de *Vanilla planifolia* Andrews. Concentraciones de izquierda a derecha: a) Control, b) ácido abscísico (ABA) a 1.5 y 3 mg L⁻¹, c) cloruro de cloromequat (CCC) a 1, 2, 4 y 6 mg L⁻¹ y d) combinación (ABA/CCC) a 1.5: 1.0, 1.5: 2.0, 1.5: 4.0, 1.5: 6.0, 3.0: 1.0, 3.0: 2.0, 3.0: 4.0 y 3.0: 6.0 mg L⁻¹ a 200 días de cultivo.

Figure 1. Effect of concentrations of two growth inhibitors on the *in vitro* conservation of *Vanilla planifolia* Andrews. Concentrations from left to right: a) Control, b) abscisic acid (ABA) at 1.5 and 3 mg L⁻¹, c) chlorocholine chloride (CCC) at 1, 2, 4, and 6 mg L⁻¹, and d) combination (ABA/CCC) at 1.5:1.0, 1.5:2.0, 1.5:4.0, 1.5:6.0, 3.0:1.0, 3.0:2.0, 3.0:4.0, and 3.0:6.0 mg L⁻¹ after 200 days of cultivation.

Respecto a la longitud total, existe una relación entre el tamaño decreciente de los explantes y el incremento en las concentraciones de CCC y ABA, observándose diferencias estadísticamente significativas ($p = 2.2e-16$, Kruskal Wallis), siendo el tratamiento T 14 (3.0: 6.0 mg L⁻¹ de ABA/CCC) el que presentó el promedio más bajo con 1.80 cm, seguido por los tratamientos T 13 (3.0: 4.0 mg L⁻¹ de ABA/CCC) y T 12 (3.0: 2.0 mg L⁻¹ de ABA/CCC) con 1.85 y 1.90 cm respectivamente, éstos conforman un grupo que se diferencia estadísticamente del resto de tratamientos (Tabla 2, Figura 2a). Lo anterior concuerda con lo reportado por Bello-Bello *et al.* (2015); Pastelín (2018); Bautista-Aguilar *et al.* (2021), quienes refieren que el empleo de ABA tiene una relación entre la disminución de la longitud total del explante de vainilla y el incremento de la dosis empleada, siendo los tratamientos con mayor contenido del regulador (3 y 5 mg L⁻¹ ABA) en medio MS al 100%, los que presentaron las medias más bajas 1.3, 1.42 y 0.71 cm respectivamente, resultado semejante al obtenido en el tratamiento T 10 (3.0 mg L⁻¹ de ABA) el cual presentó una longitud de 1.23 cm. Es importante mencionar que los experimentos realizados por Bello-Bello *et al.* (2015), Pastelín (2018) y Bautista-Aguilar *et al.* (2021), tuvieron una duración de 180, 186 y 120 días respectivamente, mientras que el presente experimento fue de 200 días en medio MS al 75%, por lo que la interacción entre el ABA y el CCC generó una disminución significativa en la longitud de los explantes ($p = 2.2e-16$, Kruskal Wallis).

En lo referente al número de brotes, se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p = 2.2e-16$, Kruskal Wallis), se tiene que a mayor concentración de reguladores, se obtuvo una menor formación de brotes, una menor media en el tratamiento T 14 con 0.27 brotes, seguido de los tratamientos T 12 y T 13 una media de 0.44 y 0.28, mismos que

son semejantes entre sí y se diferencian del resto de tratamientos, estos resultados contrastan con los 3.67 brotes obtenidos en el tratamiento Control (Tabla 2, Figura 2b), por lo que, la interacción de ambos retardantes, permitió una inhibición eficaz, presentando un efecto sinérgico libre de efectos indeseados o deficiencias nutrimentales como la presentada en el tratamiento T 03 adicionado únicamente con CCC. Lo anterior, coincide con lo referido por Da Silva & Scherwinski-Pereira (2011), quienes observaron diferencias significativas en la longitud de los brotes y número de yemas por brote de pimienta (*Piper aduncum* L.), al usar 1, 2 y 3 mg L⁻¹ de ABA. En el caso de la pimienta larga (*Piper hispidinervum* Kunth.), al usar 3 mg L⁻¹ de ABA, obtuvieron el promedio más bajo de 8.8 cm de longitud y 6.8 yemas por brotes. En cuanto al número de hojas, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$, Kruskal Wallis), se tuvo una menor formación de hojas en el tratamiento T 14 con una media de 1.83 hojas, seguido por los tratamientos 12 y 13 con medias de 1.88 y 1.86 hojas respectivamente (Tabla 2, Figura 2c), estos resultados son similares a lo reportado por Bautista-Aguilar *et al.* (2021) quienes al conservar vainilla en MS (100 %) suplementado con 3 mg L⁻¹ de ABA, obtuvieron una media de 1 hoja, por su parte, Bello-Bello *et al.* (2014), al conservar caña de azúcar, encontraron una menor formación de hojas obteniendo un promedio de 2.5 hojas, en el tratamiento de mayor concentración con 3 mg L⁻¹ de ABA.

En lo referente al número de raíces, la prueba de Kruskal Wallis evidencia diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), manteniéndose la tendencia observada con anterioridad, presentando la media más baja en el T 14 con una media de 1.50 raíces por explante (Tabla 2, Figura 2d).

Respecto a lo anterior, Páez & González (2001), refieren que el empleo de 1.5 mg L⁻¹ de ABA y 1.5 mg L⁻¹ de CCC, permitieron la obtención del promedio de desarrollo de raíces más bajo en la conservación *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.) (1.15), mientras que Rivera-Calderón *et al.* (2008), señalan que la adición de 10:500 mg L⁻¹ de BAP/CCC al medio de cultivo (MS al 100%), es capaz de inducir la más alta producción de microtubérculos de papa, con un promedio de 9.08. Hussain *et al.* (2006), reportaron además que el empleo de medio de cultivo Murashige y Skoog, adicionado con 200 mg L⁻¹ de CCC es capaz de inducir la máxima formación de tubérculos en papa (16.5 tubérculos/frasco).

Tabla 2. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones de ABA y CCC en la morfogénesis de *V. planifolia*.
Table 2. Effect of the interaction of different concentrations of ABA and CCC on the morphogenesis of *V. planifolia*.

Tratamientos	mg L ⁻¹	Longitud total (cm)	Brotos	Hojas	Raíces	
			Media	Media	Media	
CCC	Control	0.0: 0.0	4.94 ± 1.38 a	3.67 ± 0.57 a	5.52 ± 2.77 a	5.24 ± 1.37 a
	T 01	1	4.77 ± 1.62 a	2.74 ± 0.44 b	5.43 ± 1.20 a	4.13 ± 1.60 b
	T 02	2	4.68 ± 1.68 a	2.0 ± 0.72 c	5.35 ± 2.11 a	4.10 ± 1.74 b
	T 03	4	3.81 ± 1.27 b	1.26 ± 0.44 d	4.22 ± 1.91 b	3.35 ± 1.07 c
	T 04	6	2.90 ± 0.60 c	1.14 ± 0.66 d	3.36 ± 1.01 c	2.50 ± 0.85 d
ABA	T 05	1.5	3.94 ± 0.81 b	1.96 ± 0.73 c	3.24 ± 0.97 c	2.52 ± 0.77 d
	T 10	3	2.73 ± 0.74 c	1.13 ± 0.75 d	2.13 ± 0.92 d	1.74 ± 1.05 e
ABA/CCC	T 06	1.5: 1.0	3.80 ± 0.72 b	1.30 ± 1.02 d	3.17 ± 1.85 c	2.78 ± 1.51 d
	T 07	1.5: 2.0	3.73 ± 0.74 b	1.27 ± 0.76 d	3.14 ± 0.94 c	2.73 ± 1.45 d
	T 08	1.5: 4.0	2.88 ± 0.45 c	1.20 ± 0.76 d	3.0 ± 2.32 c	2.55 ± 0.94 d
	T 09	1.5: 6.0	2.82 ± 0.62 c	1.08 ± 0.70 d	2.20 ± 0.86 d	2.44 ± 0.87 d
	T 11	3.0: 1.0	2.68 ± 0.52 c	1.12 ± 0.79 d	2.08 ± 0.92 d	1.67 ± 1.09 e
	T 12	3.0: 2.0	1.90 ± 0.38 d	0.44 ± 0.71 e	1.88 ± 0.78 d	1.64 ± 0.81 e
	T 13	3.0: 4.0	1.85 ± 0.46 d	0.28 ± 0.46 e	1.86 ± 0.72 d	1.57 ± 0.81 e
	T 14	3.0: 6.0	1.80 ± 0.34 d	0.27 ± 0.46 e	1.83 ± 0.61 d	1.50 ± 0.78 e

Datos obtenidos a 200 días de cultivo. Las medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$, prueba de Dunn) entre tratamientos ($n = 375$ microestacas).

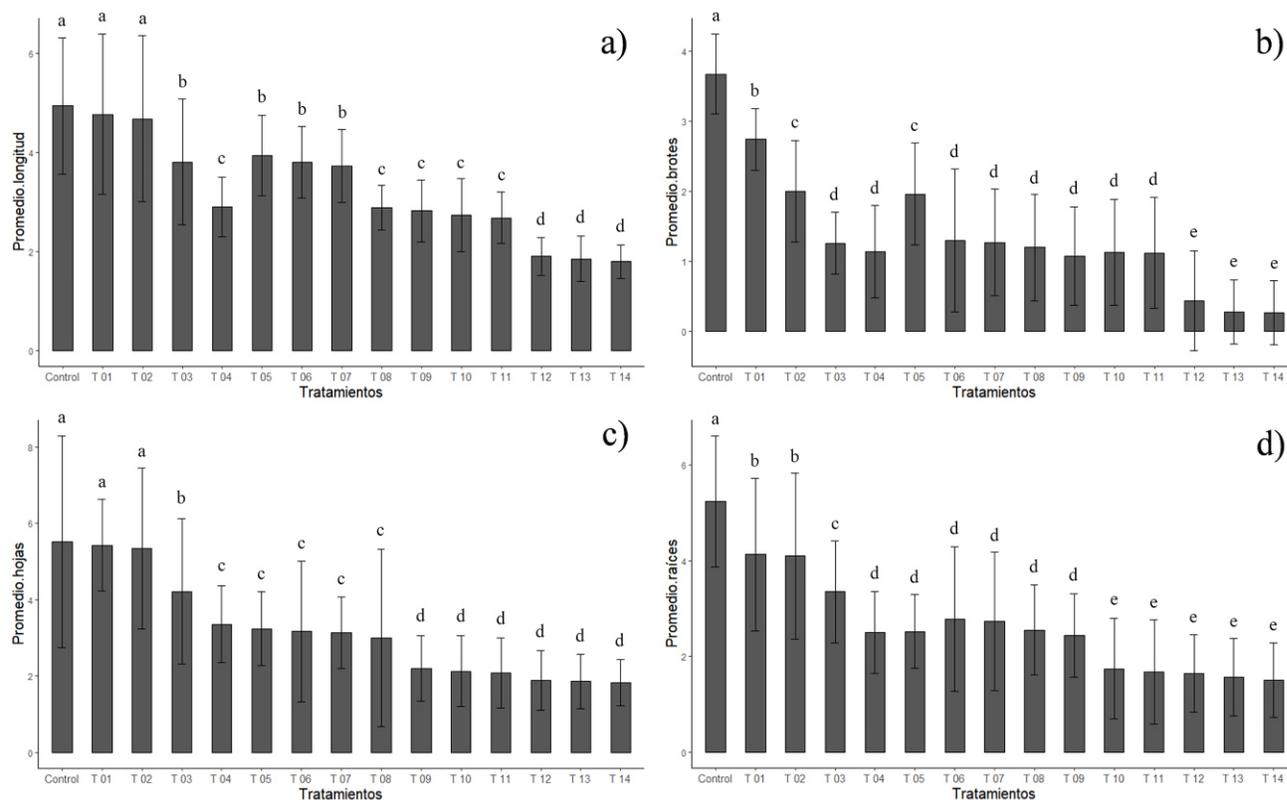


Figura 2. Efecto de la interacción de diferentes tratamientos: ABA/CCC mg L⁻¹, en la morfogénesis de *V. planifolia*, a 200 días de cultivo: a) Longitud total (cm), b) Número de brotes, c) Número de hojas y d) Número de raíces. Las medias con letras diferentes en cada barra indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$, prueba de Dunn) entre tratamientos ($n = 375$ microestacas).

Figure 2. Effect of the interaction of different treatments: ABA/CCC mg L⁻¹, on the morphogenesis of *V. planifolia*, at 200 days of cultivation: a) Total length (cm), b) Number of shoots, c) Number of leaves, and d) Number of roots. Means with different letters on each bar indicate statistically significant differences ($p < 0.05$, Dunn's test) between treatments ($n = 375$ microcuttings).

En lo referente a la supervivencia de los explantes, se observó que los tratamientos T 05 (1.5 mg L⁻¹ de ABA), T 09 (1.5: 6.0 mg L⁻¹) y T 12 (3.0: 2.0 mg L⁻¹) de ABA/CCC, reflejaron los porcentajes más altos con 100% para todos los casos, seguidos por el tratamiento T 11 (3.0: 1.0 mg L⁻¹/ ABA: CCC) con un 96%, mientras que, en el tratamiento T 04 (6.0 mg L⁻¹ de CCC), obtuvo el porcentaje de supervivencia más bajo con un 56% (Figura 3).

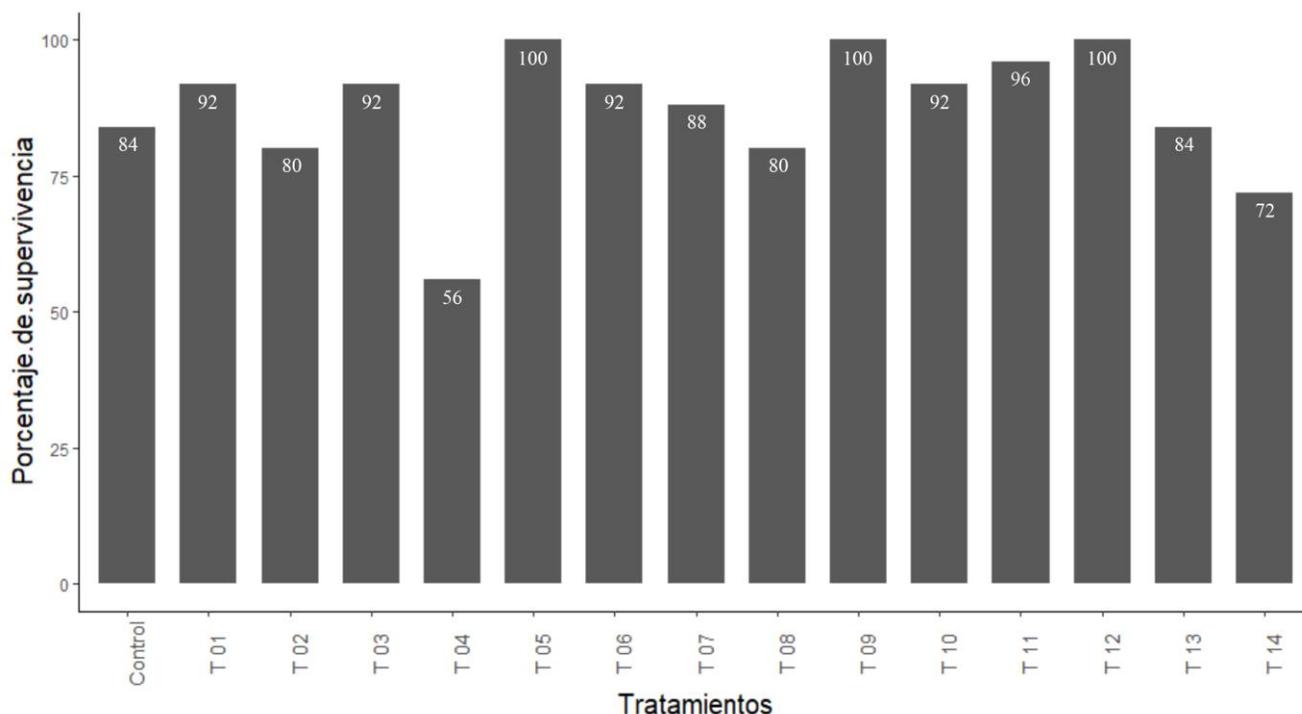


Figura 3. Porcentaje de supervivencia de plántulas de vainilla (*V. planifolia*) con los diferentes tratamientos a 200 días de cultivo.

Figure 3. Percentage of survival of vanilla seedlings (*V. planifolia*) with different treatments at 200 days of cultivation.

Los resultados obtenidos, coinciden con lo reportado por Bello-Bello *et al.* (2015), en el estudio sobre la conservación *in vitro* de vainilla, refieren que con 1, 2 y 3 mg L⁻¹ de ABA obtuvieron un porcentaje de supervivencia del 100, 90 y 90%, respectivamente, mientras que Bautista-Aguilar *et al.* (2021), obtuvieron un 93.3% de supervivencia en explantes de *V. planifolia* conservados en medio MS al 100% adicionado con 3 mg L⁻¹ de ABA e incubado a 22 °C. Además de ser similar a lo reportado por Da Silva & Scherwinski-Pereira (2011), quienes obtuvieron una supervivencia del 100% en *P. aduncum*, en medio MS adicionado con 0.5 y 1.0 mg L⁻¹ de ABA y un 100% en brotes de *P. hispidinervum*, en medio adicionado con 1 y 2 mg L⁻¹ de ABA, para el caso del CCC no se encuentran reportes de sus efectos en la tasa de supervivencia de los explantes.

CONCLUSIÓN

El mejor tratamiento para la conservación *in vitro* a mediano plazo de *V. planifolia* es el tratamiento T 12 (3.0: 2.0 mg L⁻¹/ ABA: CCC, MS al 75%), debido a que presentó una supervivencia del 100% de los explantes y una menor longitud total en un periodo de 200 días, sin síntomas de deficiencias nutrimentales y anomalías en su desarrollo, por lo tanto, puede considerarse como una estrategia para salvaguardar este material vegetal mediante el establecimiento de bancos de germoplasma *in vitro*, para futuros proyectos de reubicación o intercambios con otros bancos de germoplasmas; con menor mano de obra, en comparación con la técnica de conservación a corto plazo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada con número de apoyo: 788729, a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, al programa de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales y a la Bióloga Leydi Judith López Pérez por su apoyo en el laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Alcántara, J. S., Castilla, M. G., & Sánchez, R. M. (2017). Importancia de los cultivos vegetales *In vitro* para establecer bancos de germoplasma y su uso en investigación. *Biociencias*, 71–83. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/2222>
- Azofeifa-Bolaños, J. B., Paniagua-Vásquez, A., & García-García, J. A. (2014). Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla* spp. (Orquidaceae) en Costa Rica. *Agron. Mesoam*, 25(1), 189–202. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43730495019>
- Barrueto, L. P., & Carvalho, C. B. (2008). Importance of abscisic acid (ABA) in the *in vitro* conservation of cassava (*Manihot esculentus*). *Chil. J. Agric. Res*, 68(3), 304–308. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392008000300011>
- Bautista-Aguilar, J. R., Iglesias-Andreu, L. G., Martínez-Castillo, J., Ramírez-Mosqueda, M. A., & Ortiz-García, M. M. (2021). *In Vitro* Conservation and Genetic Stability in *Vanilla planifolia* Jacks. *HortScience*, 56(12), 1494–1498. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16118-21>
- Bello-Bello, J. J., García-García, G. G., & Iglesias-Andreu, L. (2015). Conservación de Vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) bajo condiciones de lento crecimiento *in vitro*. *Rev. Fitotec. Mex*, 38(2), 165–171. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61038806006>
- Bello-Bello, J. J., Morales-Ramos, V., & Gómez-Merino, F. C. (2014). Conservación de recursos genéticos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agro Productividad*, 7(2), 42–46. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/513>
- Bermúdez, R. A. (2018). Efecto de tres concentraciones de Chlormequat (Cycocel®) en producción de plántulas de lechuga cultivar Tropicana. Escuela Agrícola Panamericana.
- Bonilla, M. M., Mancipe, C., & Aguirre, A. C. (2015). Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos. *Rev. Invest. Agra. Amb*, 6(1), 67–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.1264>
- Bory, S., Grisoni, M., Duval, M. F., & Besse, P. (2008). Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genet. Resour. Crop Evol*, 55(4), 551–571. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9260-3>
- Coelho, N., Gonçalves, S., & Romano, A. (2020). Endemic Plant Species Conservation: Biotechnological Approaches. *Plants*, 9(3), 345. <https://doi.org/10.3390/plants9030345>
- Da Silva, T. L., & Scherwinski-Pereira, J. E. (2011). *In vitro* conservation of *Piper aduncum* and *Piper hispidinervum* under slow-growth conditions. *Pesq. Agropec. Bras*, 46(4), 384–389. <https://www.scielo.br/j/pab/a/KVJ4xHcKZtqZzmqVpWRv4Ms/?lang=en&format=pdf>
- Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 47, 5–16. <https://doi.org/10.1007/s11627-010-9327-2>
- Hussain, I., Chaudhry, Z., Muhammad, A., Asghar, R., Naqvi, S. M., & Rashid, H. (2006). Effect of chlorocholine chloride, sucrose and BAP on *in vitro* tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L. CV. Cardinal). *Pak. J. Bot*, 38(2), 275–282. https://www.researchgate.net/publication/267416286_Effect_of_chlorocholine_chloride_su_crose_and_BAP_on_in_vitro_tuberization_in_potato_Solanum_tuberosum_L_cvCardinal
- Kozak, D. (2006). The effect of growth retardants applied *In vitro* on the acclimatization and growth of *Tibouchina urvilleana* cogn. *In vivo*. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 5(1), 65–70.
- Lozano-Rodríguez, M. A., Menchaca-García, R. A., Alanís-Méndez, J. L., & PechCanché, J. M. (2015). Cultivo *in vitro* de yemas axilares de *Vanilla planifolia* Andrews con diferentes citocininas. *Rev. Cient. Biol. Agropec. Tux*, 4(6), 1153–1165.

Recibido:
23/mayo/2023

Aceptado:
8/enero/2024

- https://www.researchgate.net/publication/293556691_Cultivo_in_vitro_de_yemas_axilares_de_Vanilla_planifolia_Andrews_con_diferentes_citocininas
- Mehraj, H., Alam, M. M., Habib, S. U., & Shimasaki, K. (2017). Role of chlorocholine chloride on the *in vitro* PLBs organogenesis of *Phalaenopsis* 'Fmk02010'. In Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference. 173–173.
- Menchaca, R. A., & Lozano, M. A. (2018). Importancia de la Conservación *ex situ* de un cultivo amenazado: la vainilla. In E. Silva-Rivera, V. Martínez-Valdés, M. Lascrain, & E. Rodríguez-Luna (Eds.), *De la recolección a los agroecosistemas soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad* (pp. 253–267).
- Páez, J., & González, R. (2001). Conservación *In Vitro* de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L) Bajo Condiciones de Crecimiento Mínimo. *Rev. Latinoam. Papa*, 12, 121–129. <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/113/116>
- Pastelín, M. C. (2018). Evaluación del establecimiento y desarrollo durante la micropropagación y conservación *in vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). Universidad Veracruzana.
- Pérez, E., Esparza, M. J., & Pérez, M. E. (2012). Conservación *in vitro* de germoplasma de *Agave* spp. Bajo condiciones de crecimiento retardado. *Rev. Fitotec. Mex*, 35(4), 279–287. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000400004
- Ray, A., & Bhattacharya, S. (2008). An improved micropropagation of *Eclipta alba* by *in vitro* priming with chlorocholine chloride. *J. Plant Biotechnol*, 92, 315–319. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9328-y>
- Rayas, A., Mederos, V., García, M., López, J., Cabrera, M., Ventura, J., Martínez, M., Gutiérrez, V., Álvarez, M., & Bauta, M. (2002). Estudio de medios de cultivo para la conservación *in vitro* de la yuca. *Biotecnología Vegetal*, 2(4), 249–251.
- Reed, B. M., Sarasan, V., Kane, M., Bunn, E., & Pence, V. C. (2011). Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 47, 1–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11627-010-9337-0>
- 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 prefacio.
- Rivera-Calderón, A. L., Valbuena-Benavides, R. I., Hidalgo-Hidalgo, R., & Moreno-Mendoza, J. D. (2008). Microtuberización *in vitro* de siete accesiones de papa de la colección central colombiana. *Acta Agron (Palmira)*, 57(3), 175–180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169913320004>
- Rodríguez-Deméneghi, M. V., Aguilar-Rivera, N., Gheno-Heredia, Y. A., & Armas-Silva, A. A. (2023). Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 93–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.009>
- Sánchez-Chiang, N., & Jiménez, V. M. (2010). Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. *Agron. Mesoam*, 21, 193–205. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212010000100020&script=sci_abstract&tlng=es
- Shibli, R., Shatnawi, M., Subaih, W., & Ajlouni, M. (2006). *In vitro* conservation and cryoconservation of plant genetic resources: A review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(4), 372–382.
- Silva-Garza, M. A., Gámez-González, H., Zavala-García, F., Cuevas-Hernández, B., & Rojas-Garcidueñas, M. (2001). Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL*, 4(1), 69–75. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1066>
- Yun-peng, D., Wen-yuan, L., Ming-fang, Z., Heng-bin, H., & Gui-xia, J. (2012). The establishment of a slow-growth conservation system *in vitro* for two wild lily species. *Afr. J. Biotechnol*, 11(8), 1981–1990. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2868>
- Zakaria, M., Hossain, M. M., Khaleque-Mian, M. A., Hossain, T., & Uddin, M. Z. (2008). *In vitro* tuberization of potato influenced by benzyl adenine and chloro choline chloride. *Bangladesh J. Agril. Res*, 33(3), 419–425. <https://doi.org/10.3329/BJAR.V33I3.1601>

**COMPUESTOS ORGÁNICOS EN LA
PROPAGACIÓN *in vitro* DE
Epidendrum falcatum Lindl.
ORQUÍDEA ENDÉMICA DE MÉXICO**

**ORGANICS COMPOUNDS IN THE
in vitro PROPAGATION OF THE
MEXICAN ENDEMIC ORCHID
Epidendrum falcatum Lindl.**

Santiago-Jerónimo, T.; V.M. Chávez-Ávila; S. Carballar-Hernández y R. González-Cubas

COMPUESTOS ORGÁNICOS EN LA PROPAGACIÓN *in vitro* DE *Epidendrum falcatum* Lindl. ORQUÍDEA ENDÉMICA DE MÉXICO

ORGANICS COMPOUNDS IN THE *in vitro* PROPAGATION OF THE MEXICAN ENDEMIC ORCHID *Epidendrum falcatum* Lindl.



Compuestos orgánicos en la propagación *in vitro* de *Epidendrum falcatum* Lindl. orquídea endémica de México

Organics compounds in the *in vitro* propagation of the Mexican endemic orchid *Epidendrum falcatum* Lindl.

Santiago-Jerónimo, T.;
V.M. Chávez-Ávila;
S. Carballar-Hernández
y R. González-Cubas

COMPUESTOS ORGÁNICOS
EN LA PROPAGACIÓN *in vitro*
DE *Epidendrum falcatum*
Lindl. ORQUÍDEA ENDÉMICA
DE MÉXICO

ORGANICS COMPOUNDS
IN THE *in vitro*
PROPAGATION OF THE
MEXICAN ENDEMIC
ORCHID *Epidendrum falcatum*
Lindl.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 157-170. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.9

Tomasita Santiago-Jerónimo

<https://orcid.org/0000-0001-7955-2569>

Tecnológico Nacional de México, Campus San Miguel el Grande,
Carretera a la comunidad de Morelos s/n, San Miguel el Grande,
Tlaxiaco, C. P. 71140, Oaxaca, México

Víctor Manuel Chávez-Ávila

<https://orcid.org/0000-0002-3529-6679>

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, s/n,
Ciudad Universitaria, C. P. 04510 Ciudad de México, México

Santos Carballar-Hernández

<https://orcid.org/0000-0001-8343-2797>

Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo (UCEMICH),
Sahuayo 59103, México

Rigoberto González-Cubas / rigocubas_11@hotmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-9035-9874>

Tecnológico Nacional de México, Campus San Miguel el Grande, Carretera a la
comunidad de Morelos s/n, San Miguel el Grande, Tlaxiaco, C. P. 71140,
Oaxaca, México

RESUMEN: *Epidendrum falcatum* Lindl. es una orquídea endémica de México, con una distribución discontinua en poblaciones silvestres que crecen sobre rocas calizas. Las actividades antropogénicas y la demanda de coleccionistas han provocado una disminución en las poblaciones silvestres de esta especie. El objetivo de este trabajo fue conocer el efecto de dos compuestos orgánicos sobre la propagación *in vitro* de *E. falcatum*. Semillas provenientes de una cápsula indehiscente se cultivaron en medio Murashige y Skoog (MS) modificado a 50% de los macronutrientes y adicionado con 100, 200 y 300 mL L⁻¹ y g L⁻¹ de agua de coco o pulpa de plátano. Los compuestos orgánicos promovieron la germinación de *E. falcatum*; el mayor porcentaje de germinación se obtuvo con agua de coco a 100%. El control presentó mayor número de hojas. Sin embargo, los tratamientos que contenían plátano estimularon significativamente ($p \leq 0.05$) la diferenciación del sistema radicular y de estructuras aéreas. Este estudio representa un método biotecnológico exitoso de propagación *in vitro* para la obtención de ejemplares de *E. falcatum* y así contrarrestar la explotación de las poblaciones silvestres.

Palabras clave: Micropropagación, crecimiento, conservación, orquídeas

ABSTRACT: *Epidendrum falcatum* Lindl. is an endemic orchid of Mexico, with a discontinuous distribution in wild populations growing on limestone rocks. Anthropogenic activities and the demand of collectors have caused a decrease in the wild populations of this species. The objective of this work was to know the effect of two organic compounds on the *in vitro* propagation of *E. falcatum*. Seeds from an indehiscent capsule were grown on Murashige and Skoog (MS) medium modified to 50% of macronutrients and added with 100, 200 and 300 mL L⁻¹ and g L⁻¹ of coconut

water or banana pulp. The organic compounds promoted germination of *E. falcatum*; the highest germination percentage was obtained with 100% coconut water. The control presented a greater number of leaves. However, treatments containing plantain significantly ($p \leq 0.01$) stimulated the differentiation of the root system and aerial structures. This study represents a successful biotechnological method of *in vitro* propagation to obtain specimens of *E. falcatum* and thus counteract the exploitation of wild populations.

Key words: orchid, growth, conservation, micropropagation

INTRODUCCIÓN

La familia Orchidaceae constituye uno de los grupos de plantas más diversos, con alrededor de 25 000 especies descritas a nivel mundial. En México, se han registrado 1300 especies (6% del total mundial), de las cuales, el 40% son endémicas, la distribución de las orquídeas es amplia, pero son más abundantes y diversas en los bosques húmedos del sur del país (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2022; Solano-Gómez *et al.* 2007). Las orquídeas tienen importancia económica y cultural, debido a que son usadas como alimento, medicamento, aromatizante y usos artesanales y ornamentales (Cox-Tamay *et al.*, 2006; Fillat-Ordóñez & Flores, 2022; Solano-Gómez *et al.* 2007). A pesar de su amplio uso, las orquídeas presentan diversos problemas de conservación a consecuencia de la destrucción y transformación de sus hábitats, el tráfico ilegal de las especies, la depredación de ejemplares y el crecimiento urbano (Ávila-Díaz & Salgado-Garciglia, 2006; Espejo-Cruz *et al.*, 2023). Las orquídeas pueden propagarse de manera sexual y vegetativa. Estas producen gran cantidad de semillas, pero solo entre el 0.2 y 0.3% germina en la naturaleza, debido principalmente a la ausencia de endospermo (Arditti, 2010; Islam *et al.*, 2011). Además, la propagación vegetativa suele ser difícil, lenta e ineficiente (Islam *et al.*, 2011; Wida-Utami *et al.*, 2017). Debido a la alta demanda de estas especies, es de vital importancia implementar estrategias para la conservación *in situ* y *ex situ* de las orquídeas, a través de una propagación rápida y eficiente de las especies.

Las técnicas de cultivo *in vitro* son una herramienta de gran utilidad para el estudio, conservación, y propagación rápida y masiva de especies vegetales (Yam & Arditti, 2009) permite producir de manera continua gran cantidad de ejemplares de calidad, con lo que se contribuye a reducir el daño ocasionado por el saqueo de las especies de sus hábitats naturales (Ávila-Díaz & Salgado-Garciglia, 2006; Flores-Hernández *et al.*, 2007; Yam & Arditti, 2009). Diferentes estudios se han enfocado en definir los medios de cultivo más adecuados para la propagación de orquídeas (Damon *et al.*, 2004; Aktar *et al.*, 2008; Ruíz, *et al.*, 2008). Asimismo, se han utilizado varios compuestos orgánicos para suplementar estos medios, tales como, extracto de papa, agua de coco, peptona, homogenizado y pulpa de plátano, arroz integral, jugo de naranja, jugo de tomate, entre otros (Kaewkhiew & Kaewduangta, 2010; Sandoval *et al.*, 2014; David *et al.*, 2015; Teixeira da Silva *et al.*, 2015; Wida-Utami *et al.*, 2017) los cuales han demostrado, en muchos casos, promover el desarrollo y crecimiento de hojas y raíces, estimular la germinación de semillas y formación de brotes, gracias a su composición química (Kaur & Bhutani, 2012; Sandoval *et al.*, 2014; Wida-Utami *et al.*, 2017). Según Yong *et al.*, (2009) el agua de coco contiene reguladores de crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas, ácido salicílico, ácido abscísico, ácido ascórbico, ácido glutámico, ácido aspártico, azúcares, lípidos, sodio, potasio, magnesio, calcio, fósforo, cloruro, hierro, riboflavina, niacina, alanina, treonina, serina, sirosina, isoleucina, leucina, glicina, fenilalanina, histidina (Ovalles *et al.*, 2002; Costa, *et al.*, 2015; Robles-Ozuna *et al.*, 2021). Por su parte la pulpa de plátano es una excelente fuente de potasio, vitaminas; A, B6, C y D. En estado inmaduro, el plátano posee una alta concentración de almidón (70%) en comparación de la fruta en estado maduro. También contiene carbohidratos, proteínas, fósforo, calcio, manganeso, magnesio y cobre (Rinjha, *et al.*, 2022). Dichos compuestos presentes en el agua de coco y plátano regulan y promueven diferentes procesos dentro de la planta.

Aunque se ha generado mucha información sobre la propagación de orquídeas terrestres raras y en peligro de extinción, se sabe poco sobre la propagación de la gran mayoría de las orquídeas epífitas y litófitas, como *E. falcatum* (Damon, *et al.*, 2004). *E. falcatum*, es una orquídea endémica de México, distribuida en diferentes estados del país; sin embargo, a nivel local, se encuentra en poblaciones pequeñas; es una planta litófito que crece en rocas y acantilados de piedra caliza, en bosques de pino y bosques húmedos de pino-encino, en el matorral xerófilo y en bosques espinosos, en altitudes de 1000 a 2100 m snm (Hágsater, 1990). *E. falcatum*, al igual que otras orquídeas es de lento crecimiento, largo ciclo de vida y vulnerable a la destrucción de su hábitat, y poco se conoce sobre su desarrollo y crecimiento en cultivo de tejidos, que permitan la producción en masa de plantas. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue conocer el efecto del agua de coco y pulpa de plátano sobre la germinación y propagación *in vitro* de *E. falcatum*, conocimiento que permitirá definir el compuesto más apto para la propagación *in vitro* de la orquídea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se estableció en el laboratorio del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de la Sierra Juárez, UNSIJ, SUNEIO, Oaxaca, ubicada en el municipio de Ixtlán de Juárez, entre las coordenadas 17° 18' 59.37" de latitud norte y 96° 28' 58.44" de longitud oeste. Su clima es templado húmedo con abundantes lluvias en verano y estación seca en invierno; presenta un rango de temperatura anual de 10-26 °C y un rango de precipitación anual de 700 – 4 000 mm. La vegetación está constituida por bosque de pino-encino y vegetación secundaria derivada del bosque de pino-encino (Clark *et al.*, 2018).

Material biológico

Se utilizó una capsula de semillas de *E. falcatum* para la germinación, éstas provenían de una cápsula indehisciente que se obtuvo de la Unidad de Manejo Ambiental “Campamento de las Flores”, ubicada en la comunidad de Santa María Jaltianguis, Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Después de cortar la cápsula de la planta madre, se colocó en una bolsa de papel estraza y se conservó por 17 días en refrigeración a 5°C hasta su utilización.

El agua de coco utilizado fue extraída directamente de la fruta fresca, de aproximadamente 10 y 11 meses después de la formación del fruto, de la variedad de palma cocotera, el cual fue adquirido en el supermercado. Así mismo la pulpa de plátano se obtuvo directamente de la fruta de la variedad tabasco (*Musa cavendishii*), que fue adquirida en el supermercado, dicha fruta presentaba una madurez de 5 de acuerdo a la Escala de Von Loesecke modificado por Soto (2008) escala usada para medir maduración en frutas de plátano.

Desinfección del material biológico

La cápsula se sumergió en una solución jabonosa por un minuto bajo agitación constante, se enjuagó con agua destilada y, posteriormente, en condiciones de asepsia, bajo cámara de flujo laminar, se realizaron tres enjuagues con alcohol al 70% y se flameó, este proceso se repitió tres veces (Ruiz *et al.*, 2008).

Medio de cultivo

Se utilizaron las sales básicas MS (Murashige & Skoog, 1962), reduciendo al 50% de los macronutrientes y con el 100% de los micronutrientes, suplementados con agua de coco y pulpa de plátano. Este medio basal MS fue suplementado con dos compuestos orgánicos, agua de coco (100, 200 y 300 mL L⁻¹) y pulpa de plátano (100, 200 y 300 g L⁻¹). A todos los medios de cultivo se le adicionaron 30 g L⁻¹ de sacarosa y el pH fue ajustado a 5.7 con el hidróxido de sodio y ácido clorhídrico a una concentración de 1N, antes de la esterilización. Además, se les agregó 4 g L⁻¹ de Gelrite Gellan Gum (Sigma) como agente solidificante y se esterilizaron en

autoclave a 120°C y 15 libras de presión por pulgada cuadrada durante 17 minutos (Moreno & Menchaca, 2007).

Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental completamente al azar para la germinación y desarrollo de plántulas, en dos compuestos orgánicos a diferentes concentraciones y el control con el medio basal MS modificado (Murashige & Skoog, 1962), para un total de siete tratamientos (Tabla 1). Para la fase de germinación los tratamientos tuvieron cinco repeticiones, para un total de 35 unidades experimentales. Mientras que, durante la evaluación del crecimiento de plántulas, se realizaron 10 repeticiones por tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos ensayados para la propagación *in vitro* de *E. falcatum*.

Table 1. Assayed Treatments for the *in vitro* Propagation of *E. falcatum*.

Tratamiento	Descripción
1	Control MS medio basal
2	MS+ 100 mL L ⁻¹ de agua de coco
3	MS+ 200 mL L ⁻¹ de agua de coco
4	MS+ 300 mL L ⁻¹ de agua de coco
5	MS+ 100 g L ⁻¹ de pulpa de plátano
6	MS+ 200 g L ⁻¹ de pulpa de plátano
7	MS+ 300 g L ⁻¹ de pulpa de plátano

Efecto de los compuestos orgánicos sobre la germinación de *E. falcatum*

Una vez desinfectada la cápsula, se le realizó un corte longitudinal, para liberar las semillas de su interior; posteriormente, con la ayuda de una espátula estéril, se pasaron las semillas a una caja de Petri y con la misma espátula se tomó una cantidad de éstas y se dispersaron uniformemente en frascos que contenían los medios de cultivo, de los tratamientos establecidos, los cuales se mantuvieron en un fotoperiodo de 16 h luz (15 watts) y ocho h oscuridad, y se incubaron a 26 ± 2 °C (Mckendrick, 2000).

Después de 45 días de iniciado el cultivo de las semillas de *E. falcatum*, se describió el proceso morfológico de la germinación, de manera cualitativa, considerando los cambios visibles y al microscopio estereoscópico, en escalas de tiempo indefinidas, tomando como semillas germinadas aquellas cuyo embrión emergió de la cubierta seminal. El porcentaje de germinación se determinó de acuerdo con el área ocupada por las semillas germinadas en cada unidad experimental y promediada por el total de las repeticiones de cada tratamiento (Mckendrick, 2000; Ruiz *et al.*, 2008).

Efecto de los compuestos orgánicos en el crecimiento de plántulas de *E. falcatum*

En cámara de flujo laminar, bajo condiciones de asepsia, se tomaron los protocormos con unas pinzas de disección y se colocaron en una caja de Petri estéril. Solo se utilizaron como explante aquellos protocormos que presentaban un diámetro aproximado de 2 mm, primordios foliares y rizoides, los cuales fueron medidos con un vernier digital de la marca Dasqua Premium Tools. Se colocaron cinco protocormos por frasco en cada uno de los tratamientos establecidos (Tabla 1). Los cultivos se mantuvieron en condiciones de un fotoperiodo de 16 h luz y ocho h oscuridad a 26 ± 2 °C.

Después de 83 días de iniciado el cultivo *in vitro*, se realizó la medición de variables. Para determinar el número de hojas y raíces, se extrajo la planta del medio de cultivo y se contabilizaron todas las hojas y raíces presentes. La longitud de la parte aérea y de la raíz, fue tomada desde la base de la planta hasta la punta de la hoja o la raíz más larga, con un vernier

digital de la marca Dasqua Premium Tools. La longitud total se obtuvo sumando la longitud de la parte aérea y la raíz.

Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico, se evaluaron las pruebas la normalidad de la distribución de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk (1965) y gráficos por los cuantiles de una distribución normal. Resultó que las variables de germinación y desarrollo de las plántulas no presentaron una distribución normal, por lo que se optó por utilizar una comparación de medianas con la estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$) con el paquete estadístico R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023)

RESULTADOS

Efecto de los compuestos orgánicos en la germinación de *E. falcatum*

Después de realizada la siembra se documentó el proceso morfológico desde la semilla hasta la formación de protocormos, durante este proceso se observaron cambios en la coloración, pasando por diferentes tonalidades, en orden cronológico se pasó por blanco-amarillento, amarillo, verde-amarillento y verde. También se apreció una hidratación y aumento de tamaño de las semillas, así como la ruptura de la testa seminal, que dio lugar a la formación de protocormos, evidenciándose la germinación (Figura 1).

La germinación de *E. falcatum* se logró después de 35 días de iniciados los cultivos. El porcentaje de germinación en los tratamientos con compuestos orgánicos fue en promedio del 95%; el tratamiento con MS más 100 ml L⁻¹ de agua de coco presentó el mayor porcentaje. Esto demuestra que el uso de compuestos orgánicos tiene un efecto positivo y significativo ($p \leq 0.05$) sobre la germinación de las semillas de *E. falcatum*, con respecto al control (medio basal MS modificado) que solo presentó un 80% de germinación (Figura 2a).

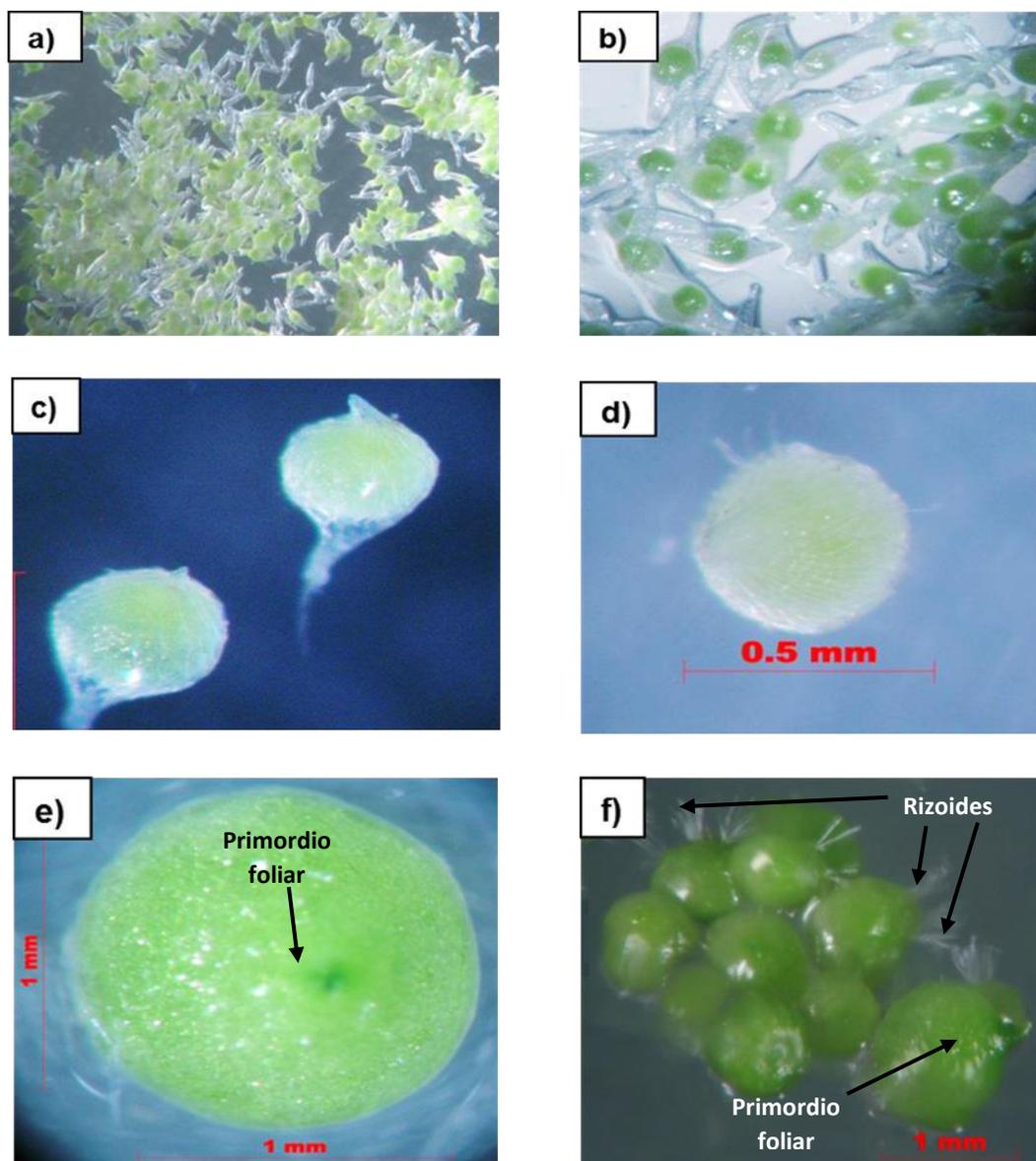


Figura 1. Proceso morfológico de la germinación de *E. falcatum*. a) Semillas hidratadas después de 20 días de iniciado el cultivo, b) Semillas a los 24 días, c) Embrión a los 30 días, d) Ruptura de la cubierta seminal a los 35 días, e) Primordio foliar a los 42 días y f) Aparición de los primeros rizoides, a 45 días de iniciado el cultivo.

Figure 1. Morphological process of the germination of *E. falcatum*. a) Hydrated seeds after 20 days of cultivation initiation, b) Seeds at 24 days, c) Embryo at 30 days, d) Rupture of the seed coat at 35 days, e) Leaf primordium at 42 days, and f) Appearance of the first rhizoids at 45 days of cultivation initiation.

Efecto de los compuestos orgánicos sobre el crecimiento de *E. falcatum*

El número de hojas promedio varió de 2.2 a 4.2 y se observó que la adición de compuestos orgánicos tuvo un efecto negativo sobre esta variable. El tratamiento control presentó el mayor número de hojas, seguido por los tratamientos suplementados con pulpa de plátano, sin presentar diferencias significativas entre ellos. El tratamiento con MS más 300 ml L⁻¹ de agua de coco mostró el menor número de hojas del experimento (Figura 2b).

Todos los tratamientos que contenían MS más pulpa de plátano estimularon la formación de raíces, aunque sin diferencias significativas en relación al control ($p \leq 0.05$). En el tratamiento con MS más 200 g L⁻¹ de pulpa de plátano, se evidenció el mayor número de raíces con un promedio de 3.4; en contraste, el tratamiento con MS más 300 mL L⁻¹ de agua de coco desarrolló en promedio solo 1.6 raíces. Los tratamientos con MS más agua de coco no mostraron una respuesta favorable en el desarrollo de raíces de *E. falcatum* (Figura 2c).

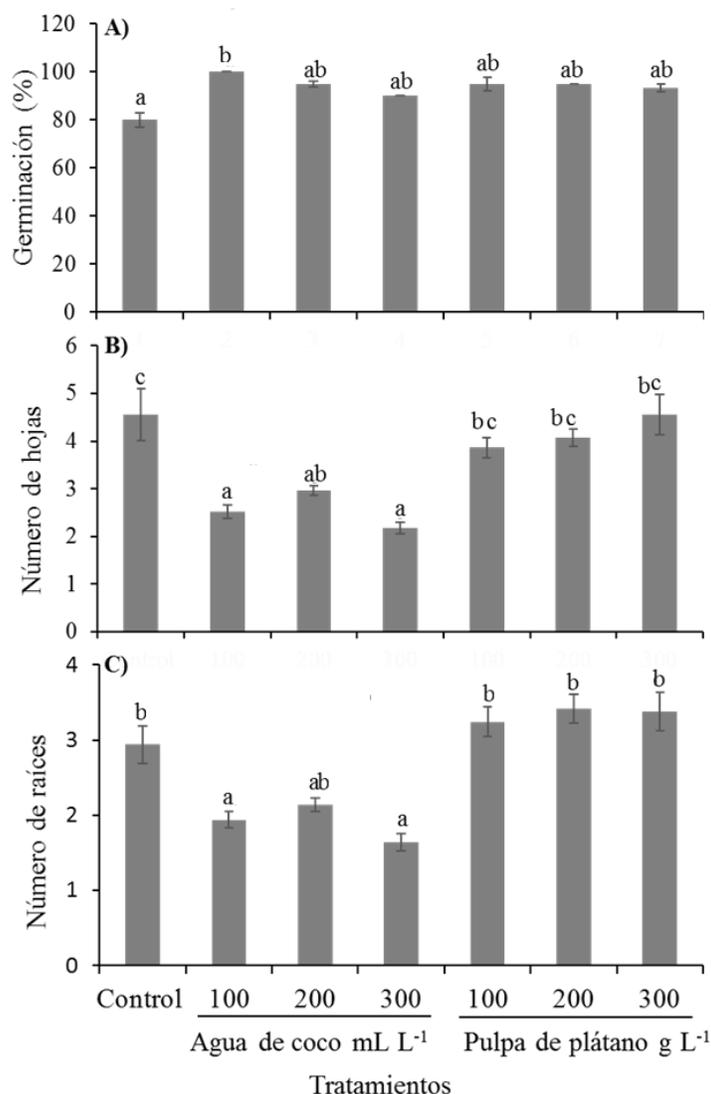


Figura 2. Efecto de compuestos orgánicos sobre; a) germinación, b) número de hojas y c) número de raíces de *E. falcatum*. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba de Duncan, $p=0.05$). Media \pm el error estándar ($n= 5, 10$).

Figure 2. Effect of organic compounds on; a) germination, b) number of leaves, and c) number of roots of *E. falcatum*. Means with the same letter are not significantly different (Duncan's test, $p=0.05$). Mean \pm standard error ($n= 5, 10$).

La longitud de las raíces varió de 1.5 a 3.2 cm y con diferencias significativas entre los tratamientos; los protocormos en los tratamientos con MS más la adición de pulpa de plátano mostraron un mayor crecimiento que los establecidos en MS suplementado con agua de coco.

Sin embargo, el tratamiento control presentó la mayor longitud de raíz con respecto a todos los tratamientos. Por lo tanto, los compuestos orgánicos no mostraron un efecto positivo sobre esta variable (Figura 3a).

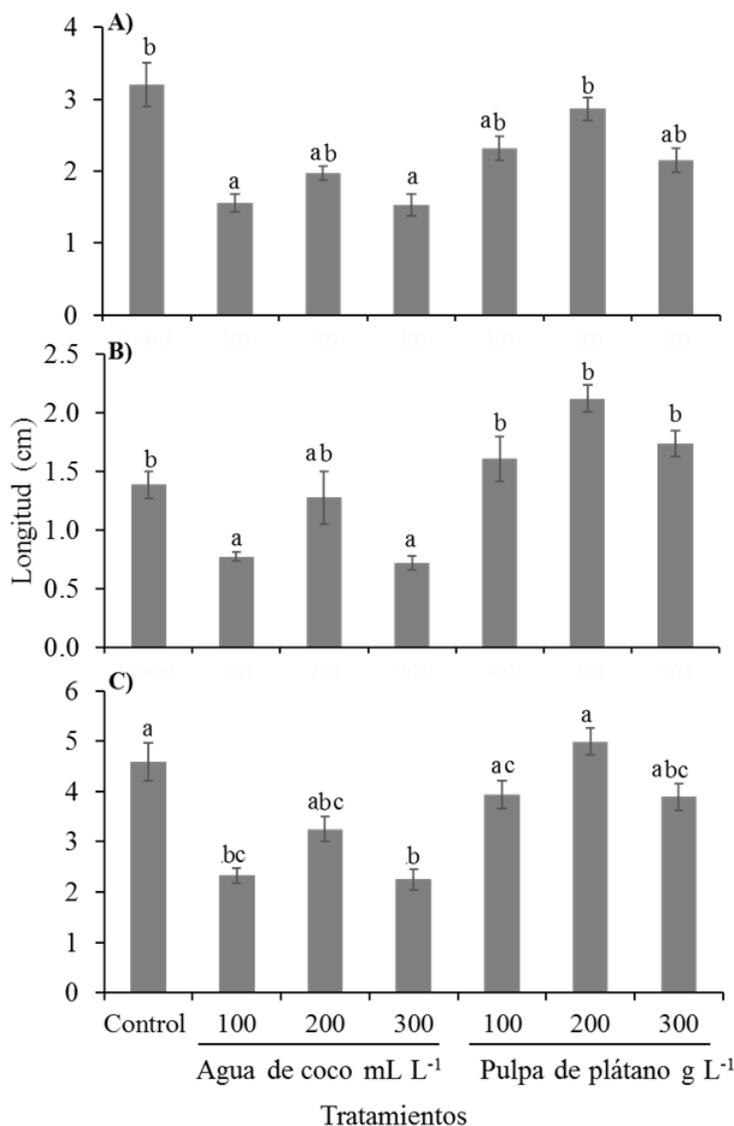


Figura 3. Efecto de compuestos orgánicos sobre la longitud de; a) raíces, b) hojas y c) total de *E. falcatum* propagada *in vitro*. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba de Duncan, $p=0.05$). Media \pm el error estándar ($n=10$).

Figure 3. Effect of organic compounds on the length of; a) roots, b) leaves, and c) total of *in vitro* propagated *E. falcatum*. Means with the same letter are not significantly different (Duncan's test, $p=0.05$). Mean \pm standard error ($n=10$).

La longitud promedio de la parte aérea varió de 0.72 a 2.1 cm, con diferencias significativas entre el compuesto orgánico y las concentraciones ($p \leq 0.05$). Los protocormos cultivados en los tratamientos con MS más la adición de pulpa de plátano presentaron, en general, un crecimiento mayor en la parte aérea, pero no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con respecto al control (Figura 3b). Por otro lado, los tratamientos con la adición de agua de coco presentaron los valores más bajos en la longitud de la parte aérea.

La longitud total de las plantas varió de 2.2 a 5.0 cm. El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre compuestos orgánicos y entre concentraciones. Las concentraciones al 10 y 30% de los dos compuestos orgánicos siempre presentaron valores más bajos con respecto a la concentración del 20%. Las plantas de los tratamientos con agua de coco fueron más pequeñas que las del control y que las establecidas en medio de cultivo con adición de pulpa de plátano. El tratamiento con MS más 200 g L⁻¹ de pulpa de plátano presentó el mayor tamaño de plantas, 4.9 cm en promedio, mientras que, las plantas en el tratamiento con MS más 300 mL L⁻¹ agua de coco tuvieron un tamaño de 2.3 cm, siendo las más pequeñas del experimento (Figura 3c).

DISCUSIÓN

El almacenamiento del fruto indehisciente de *E. falcatum* por 17 días no afectó la viabilidad de las semillas, por lo que con esta investigación se hace un aporte aproximado sobre el tiempo adecuado de almacenamiento de las semillas de esta especie, el cual aún no ha sido reportado en la literatura. Sin embargo, Ossenbach *et al.* (2007) recomiendan sembrar las semillas en el menor tiempo posible después de su colecta, principalmente cuando se desconoce el tiempo de madurez del fruto, el estado de desarrollo de las semillas (maduración) y los factores adecuados para mantenerlas por tiempo prolongado.

Efecto de los compuestos orgánicos en la germinación de *E. falcatum*

Las semillas son un explante conveniente a emplear para iniciar el cultivo *in vitro*, ya que a partir de su germinación se logra la obtención de plántulas libres de agentes patógenos y se conserva e incrementa de forma natural la variabilidad genética de las plantas.

En este estudio, se encontró un alto porcentaje de germinación en todos los tratamientos, incluyendo el control, el cual no contenía compuestos orgánicos. Esto podría deberse a que las semillas contienen la cantidad adecuada de reguladores de crecimiento endógenos para la germinación, por lo que pueden germinar en medios basales sin adición de reguladores de crecimiento (Shu-Fung *et al.*, 2004). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la germinación también está influenciada por el grado de madurez de la semilla, por lo que los resultados aquí mostrados no se pueden atribuir en su totalidad al medio de cultivo (Shu-Fung *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en el porcentaje de germinación son similares a los reportados por Moreno y Menchaca (2007), quienes encontraron un 90% para *Sthanopea tigrina*. De la misma manera Mamani-Sánchez *et al.*, (2022), reportaron 98% de germinación en semillas de *Zigopetalum maculatum* al utilizar 10% de agua de coco. Y también son más altos que los encontrados por Flores-Escobar *et al.*, (2011), quienes reportan porcentajes de germinación de 48, 57 y 50% para las especies *Oncidium stramineum*, *Brassia verrucosa* y *Encyclia adenocaula*, respectivamente. Las bajas germinaciones en el cultivo *in vitro* de orquídeas de *Oncidium stramineum*, *Brassia verrucosa* y *Encyclia adenocaula* se pueden deber a factores propios de las semillas, como la baja viabilidad, embriones pequeños en relación a la testa, por lo que el volumen de la semilla puede estar ocupado por un 96% de aire y la humedad no llega al embrión (Koene *et al.*, 2020), comparado con las semillas de *E. falcatum*, que presentaron mayor viabilidad y un estado de madurez óptimo de la capsula.

Al suplementar el medio de cultivo con agua de coco y pulpa de plátano, se logró un mayor porcentaje de germinación, lo que demuestra que el uso de compuestos orgánicos en el medio de cultivo tiene un efecto positivo sobre la germinación de semillas de *E. falcatum*, siendo el tratamiento que contenía MS más 100 mL L⁻¹ de agua de coco el que presentó el mayor porcentaje de germinación (Santiago-Jerónimo *et al.*, 2015). Resultados similares fueron hallados por Salazar-Mercado (2012), quien obtuvo un porcentaje de germinación de 95.7% en *Cattleya mendelii* en el medio de cultivo MS con 200 mL L⁻¹ de agua de coco. El agua de coco ha sido utilizada en diferentes estudios, donde se ha comprobado su efecto benéfico sobre la germinación de semillas de orquídeas (Minea *et al.*, 2004; Flores-Escobar *et al.*, 2011; Kaur &

Bhutani, 2012; Chen *et al.*, 2015), debido a que contiene reguladores de crecimiento como auxinas, citocininas y giberelinas, involucrados en la división, diferenciación y elongación celular indispensables en este proceso (Yong *et al.*, 2009). Asimismo, está compuesto por azúcares, aminoácidos, minerales, ácidos orgánicos y vitaminas, que al estar en las concentraciones adecuadas pueden contribuir a la germinación (Yong *et al.*, 2009). Aunado a esto, se ha observado que, en algunas orquídeas, particularmente las epifitas y litófitas, el proceso de germinación puede ser afectado de manera negativa a altas concentraciones de compuestos orgánicos, ya que generalmente viven en hábitats con deficiencias de nutrientes (Damon *et al.*, 2004; Flores-Escobar *et al.*, 2008). Una de las ventajas de agregar compuestos orgánicos al medio de cultivo es su bajo costo, comparado con el de los reguladores de crecimiento vegetal de tipo comercial, como las auxinas y las citocininas, que se utilizan de manera frecuente en la germinación de orquídeas (Islam *et al.*, 2011; Kaur & Bhutani, 2012; Moreno & Menchaca, 2007). No obstante, debido a que se desconoce la composición química exacta del agua de coco, y a que la concentración de los compuestos varía de una fuente a otra por diferentes factores, el uso de estos puede generar variabilidad de los resultados en los estudios (Flores-Escobar *et al.*, 2008, 2011).

Efecto de los compuestos orgánicos sobre el crecimiento de *E. falcatum*

En este estudio, los dos compuestos orgánicos usados tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.01$) sobre todas las variables de crecimiento. Flores-Escobar *et al.*, (2008) reportan que la adición de extractos orgánicos de plátano, manzana, tomate y agua de coco al medio de cultivo promovió una mayor cantidad de raíces en *Oncidium stramineum*. Sin embargo, para esta investigación los tratamientos con agua de coco mostraron un efecto negativo sobre todas las variables, observándose siempre valores más bajos que el control. Esto difiere de los resultados obtenidos por Shu-Fung *et al.*, (2004) quienes encontraron que el número de hojas y raíces fue mayor en los medios de cultivo MS 50% con agua de coco a una concentración del 8%. Sin embargo, Arias-Hernández, *et al.*, (2006) reportaron que el crecimiento de *Guarianthe skinerii* no mejoró significativamente con la adición de agua de coco y que concentraciones superiores de 300 mL L⁻¹ influían negativamente sobre la altura de las plántulas, lo cual concuerda con lo reportado en este trabajo. El efecto negativo de la adición del agua de coco sobre el crecimiento de las plántulas puede deberse a la presencia del ácido abscísico, el cual a altas concentraciones tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de las plantas (Arias-Navarro *et al.*, 2023). Por lo que, esta investigación aporta un resultado importante para posteriores experimentos, en los cuales se utilicen concentraciones inferiores al 100% que puedan mejorar el crecimiento de las plántulas de *E. falcatum*.

En contraste, los tratamientos con pulpa de plátano presentaron un mayor número de raíces, longitud total y longitud aérea, con respecto al control, presentando diferencias significativas sólo en la última variable. Lo cual concuerda con lo obtenido por Minea *et al.*, (2004) quienes observaron que la adición de pulpa de plátano a 100 g L⁻¹ al medio de cultivo aumentaba el crecimiento, el número de brotes y raíces en tres especies de orquídeas del género *Spathoglottis*. Además, se ha encontrado que la pulpa de plátano incrementa casi al doble la formación de raíces y aumenta la longitud de las plántulas de *Stanhopea tigrina* (Moreno & Menchaca, 2007), así mismo, Arzate-Fernández *et al.*, (2023) reportaron resultados favorables con la utilización de compuestos orgánicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio para el cultivo *in vitro* de *E. falcatum*, es conveniente utilizar concentraciones inferiores a 300 g L⁻¹ de pulpa de plátano, para obtener plántulas con mayor número de hojas, raíces y longitud de la parte aérea, debido a que a bajas concentraciones la planta asimila mejor los compuestos presentes en la pulpa (Arias-Hernández *et al.*, 2006). Por otro lado, aunque la adición de plátano puede mejorar el crecimiento de las plántulas, la cantidad de plátano utilizado para obtener una tasa de crecimiento satisfactoria dependerá de la especie de orquídea estudiada (Minea *et al.*, 2004; Moreno & Menchaca, 2007; Flores-Escobar *et al.*, 2011; Wida-Utami & Hariyanto, 2020). En general en este estudio, ninguno de los tratamientos aplicados influyó significativamente en todas las variables en

conjunto. Por lo anterior, se debe encontrar la concentración adecuada de los compuestos orgánicos para cada especie, y la combinación correcta con los medios basales, de tal forma que no se presente un efecto negativo por la adición de compuestos orgánicos y se logre mejorar todas las variables con respecto al control.

CONCLUSIONES

El empleo de técnicas de cultivo *in vitro* resultó eficiente para promover la germinación y crecimiento de las plantas de *E. falcatum*, especialmente al utilizar bajas concentraciones de agua de coco y pulpa de plátano. Con la utilización de los compuestos orgánicos y de acuerdo con los resultados obtenidos puede deducirse que disminuye los costos de propagación de *E. falcatum*. Así mismo el establecimiento de un protocolo para el cultivo *in vitro* de *E. falcatum* contribuyó a la disminución del tiempo requerido en la reproducción *in vivo*, por lo tanto, constituye una alternativa viable para la propagación eficiente de la especie, de tal forma que se puede contribuir en la reducción de la presión que se ejerce sobre las poblaciones silvestres, contribuyendo de esta manera a su conservación y aprovechamiento sustentable.

LITERATURA CITADA

- Aktar, S., Nasiruddin, K., & Hossain, K. (2008). Effects of Different Media and Organic Additives Interaction on *In Vitro* Regeneration of *Dendrobium* Orchid. *J Agric Rural Dev*, 69-74.
- Arditti. (2010). History of orchid propagation. *AssPac J. Mol. Biol.* 1.1. *BBioitoetcehcnhonl.*, 171-174.
- Arias-Hernández, M., Santibáñez, S., Rincón, R., Ayora T., R., & Gutiérrez M., F. (2006). Efecto de agua de coco y homogeneizados de jitomate y plátano sobre el crecimiento de la orquídea *Guarianthe skinnerii*, cultivada *in vitro*. *Ciencia y Tecnología de la Frontera*, 23-28.
- Arias-Navarro, C., Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J., Ochoa-Jiménez, V., Pérez-Ramírez, I., Berumen-Varela, G., & Bautista-Rosales, P. (2023). Frutos de Mango Partenocárpicos y Estenospermocárpicos: Una Revisión de Posibles Factores Causantes. *Revista Bio Ciencias*, 1-26.
- Arzate-Fernández, A., Rosas-Chávez, R., Norman-Mondragón, T., Corona-Rodríguez, M., & Piña-Escutia, J. (2023). Multiplicación *in vitro* de *Phalaenopsis* sp. usando reguladores de crecimiento vegetal, aguamiel y pulque (complejos orgánicos). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1-10.
- Ávila-Díaz, I., & Salgado-Garciglia, R. (2006). Propagación y mantenimiento *in vitro* de orquídeas mexicanas, para colaborar en su conservación. *Biológicas*, 138-149.
- Chen, Y., Manage, G., Xu-Li, F., & Jiang-Yun, G. (2015). Asymbiotic seed germination and *in vitro* seedling development of *Paphiopedilum spicerianum*: An orchid with an extremely small population in China. *Global Ecology and Conservation*, 367-378.
- Clark T., R., Fuente C., M., Alonso C., C., Ramos M., M., & Aguirre H., V. (2018). *Manejo Forestal Comunitario y Sustentabilidad en la Sierra Juárez, Oaxaca*. CDMX: Fontamara S.A. de C.V.
- Costa, B., Souza, M., Soprani, C., Oliveira, G., Ogawa, M., Korres, M., . . . Romão, W. (2015). Monitoring the physicochemical degradation of coconut water using ESI-FT-ICR MS. *Food Chemistry*, 139-146.
- Cox-Tamay, L., Ruiz-Cruz, Y., & Pérez-García, E. (2006). Diversidad y uso de las orquídeas. *Bioagrociencias*, 1-6.
- Damon, A., Aguilar-Guerrero, E., Rivera, L., & Nikolaeva, V. (2004). Germinación *in vitro* de semillas inmaduras de tres especies de orquídeas de la región del Soconusco, Chiapas, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 195-203.

- David, D., Jawan, R., Marbawi, H., & Gansau, J. (2015). Organic Additives Improves the *in Vitro* Growth of Native Orchid *Vanda helvola* Blume. *Not Sci Biol*, 192-197.
- Espejo-Cruz, A., Espejo-Martínez, A., Chávez-Ángeles, M., Lagunez-Rivera, L., & Solano, R. (2023). Deficiencias in compliance with environmental regulation for orchid trade via social networks in Mexico. *Botanical Sciences*, 400-416.
- Fillat-Ordóñez, N., & Flores, I. (2022). *Orquídeas de la región sur del Estado de México*. Estado de México: 1ra Ed.
- Flores-Escobar, G., Gil-Vásquez, I., Colinas-León, M., & Mata-Rosas, M. (2011). Propagación *in vitro* de la orquídea *Brassia verrucosa* Bateman ex. Lindl. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5-8.
- Flores-Escobar, G., Legaria-Solano, J., Gil-Vásquez, I., & Colinas-León, M. (2008). Propagación *in vitro* de *Oncidium stramineum* Lindl. una orquídea amenazada y endémica de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 347-353.
- Flores-Hernández, L., Robledo-Paz, A., & Jimarez-Montiel, M. (2007). Medio de cultivo y sustitutos del agar en el crecimiento *in vitro* de orquídeas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1315-1328.
- Gutiérrez-Rodríguez, B., Vásquez-Cruz, M., & Sosa, V. (2022). Phylogenetic endemism of the orchids of Megamexico reveals complementary areas for conservation. *Plant Diversity*, 351-359.
- Hágsater, E. (1990). Icones Orchidacearum. *Asociacion Mexicana de Orquideologia A.C.*, 30-31.
- Islam, M., Akter, M., & Prodhan, A. (2011). Effect of potato extract on *in vitro* seed germination and seedling growth of local *Vanda roxburgii* orchid. *J. Bangladesh Agril. Univ*, 211-215.
- Kaewkhiew, P., & Kaewduangta, W. (2010). Natural Additives Modification Medium: Growth of *Rhynchostylis gigantea* by Tissue Culture Technique. *Asian Journal of Plant Scientific Information*, 498-501.
- Kaur, S., & Bhutani, K. (2012). Organic growth supplement stimulants for *in vitro* multiplication of *Cymbidium pendulum* (Roxb.) Sw. *Hort. Sci. (Prague)*, 47-52.
- Koene, M., Amano, É., Smidt, E., & Fortes-Ribas, L. (2020). Asymbiotic germination and morphological studies of seeds of Atlantic Rainforest micro-orchids (Pleurothallidinae). *PLoS ONE*, 1-17.
- Mamani-Sánchez, B., Nova-Pinedo, M., & Espinal-Coaquira, J. (2022). Germinación *in vitro* de *Zigopetalum maculatum* con diferentes protocolos de desinfección y adición de agua de coco en el medio de cultivo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 26-36.
- Mckendrich, S. (2000). *Manual para la germinación in vitro de orquídeas*. Quito, Ecuador.: Ceiba Foundation for Tropical Conservation.
- Minea, M., Piluek, C., Menakanit, A., & Tantiwiwat, S. (2004). A Study on Seed Germination and Seedling Development of *Spathoglottis* Bl. Orchids. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 141-156.
- Moreno, M., & Menchaca, G. (2007). Efecto de los compuestos orgánicos en la propagación *in vitro* de *Stanhopea tigrina* Bateman (Orchidaceae). *Foresta Veracruzana*, 27-32.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised Medium for Rapid Grow and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia plantarum*, 473-497.
- Ossenbach, C., Arce, J., & Warner, J. (2007). Almacenamiento de semillas de diferentes especies de orquídeas para su conservación en un banco de germoplasma: II. Deshidratación, almacenamiento y pruebas de viabilidad de las semillas. *Tierra Tropical*, 47-59.
- Ovalles, D., León, L., Vielma, R., & Medina, A. (2002). Determinación del contenido de aminoácidos libres del agua de coco tierno por HPLC y Revisión electrónica sobre la nueva tecnología para el envasado del agua de coco. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 50-59.
- R Core Team. (10 de Noviembre de 2023). *The R Project for Statistical Computing*. Obtenido de The R Project for Statistical Computing: <https://www.r-project.org/>

Recibido:
7/agosto/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Rinjha, N., Irfan, S., Nadeem, M., & Mahmood, S. (2022). A Comprehensive Review on Nutritional Value, Medicinal Uses, and Processing of Banana. *Food Reviews International*, 199-225.
- Robles-Ozuna, L., Martínez-Núñez, Y., Robles-Burgeño, M., Valenzuela-Meléndrez, M., Tortoledo-Ortiz, O., Madera-Santana, T., & Montoya-Ballesteros, L. (2021). Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en el coco (*Cocos nucifera* L.) y su aceite: Efecto del cultivar y región de cultivo. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22-29.
- Ruiz, B., Laguna, C., Iglesias, A., Damon, A., Marín, H., Azpíroz, R., & Moreno, M. (2008). Germinación *in vitro* de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae). *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 203-215.
- Salazar-Mercado. (2012). Germinación asimbiótica de semillas y desarrollo *in vitro* de plántulas de *Cattleya mendelii* Dombrain (Orchidaceae). *Acta botánica*, 69-78.
- Sánchez M., B., Pinedo N., M., & Espinal C., J. (2022). Germinación *in vitro* de *Zigopetalum maculatum* con diferentes protocolos de desinfección y adición de agua de coco en el medio de cultivo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 26-36.
- Sandoval, P., Chiavazza, P., Faggio, A., & Contessa, C. (2014). Effect of coconut water and growth regulator supplements on *in vitro* propagation of *Corylus avellana* L. *Scientia Horticulturae*, 91-94.
- Santiago-Jerónimo, T., Carballar-Hernández, S., & Chávez-Ávila, V. (2015). Germinación y regeneración *In Vitro* de *Epidendrum falcatum* Lindl. En E. Figueroa, F. Pérez, & E. Godínez, *Ciencias de la Biología y Agronomía Hanbook T-1* (págs. 151-160). Texcoco de Mora-México: ECORFAN.
- Shu-Fung, L., Nalawade, S., Chao-Lin, K., Chung-Li, C., & Hsin-Sheng, T. (2004). Asymbiotic germination of immature seeds, plantlet development and *ex vitro* establishment of plants of *Dendrobium tosaense* Makino – a medicinally important orchid. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 528-535.
- Solano-Gómez, R., Bello-López, R., & Vásquez-Martínez, A. (2007). Listado de las orquídeas de la región de Juquila, Oaxaca, México. *Naturaleza y Desarrollo*, 5-14.
- Soto, M. (2008). *Técnicas de Producción, Manejo Poscosecha y comercialización*. San José Costa Rica: Litografía e imprenta LIL.
- Teixeira da Silva, J., Tsavkelova, E., Bun, N., Parthibhan, S., Dobránszki, J., Cardoso, J., & Rao, M. (2015). Asymbiotic *in vitro* seed propagation of *Dendrobium*. *Plant Cell Rep*, 1-22.
- Wida-Utami, E., & Hariyanto, S. (2020). Organic Compounds: Contents and Their Role in Improving Seed Germination and Protocorm Development in Orchids. *International Journal of Agronomy*, 1-12.
- Wida-Utami, E., Hariyanto, S., & Wulan, M. (2017). *In vitro* propagation of the endangered medicinal orchid, *Dendrobium lasianthera* J.J.Sm through mature seed culture. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 406-406.
- Yam, W., & Arditti, J. (2009). History of orchid propagation: a mirror of the history of biotechnology. *Plant Biotechnol Rep*, 1-56.
- Yong, J., Liya, G., Fei, N., & Ngin, T. (2009). The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules*, 5144-5164.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

REGENERACIÓN *in vitro* DE *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther

***In vitro* REGENERATION OF *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther**

Hernández-Meneses, E.; S.E. Rangel-Estrada; J. Canul-Ku y E.J. Barrios-Gómez

REGENERACIÓN *in vitro* DE *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther

In vitro REGENERATION OF *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 171-181 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.10



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

Regeneración *in vitro* de *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther***In vitro* regeneration of *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther**

Hernández-Meneses, E.;
S.E. Rangel-Estrada;
J. Canul-Ku
y E.J. Barrios-Gómez

REGENERACIÓN *in vitro* DE
Tillandsia takizawae Ehlers &
H. Luther

In vitro REGENERATION OF
Tillandsia takizawae Ehlers &
H. Luther

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 171-181. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.10

Eleodoro Hernández-Meneses / doromeneses@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2401-4733>

Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra-Tecnológico Nacional de México
Carretera Teapa-Tacotalpa, km 4.5, Francisco Javier Minea, 86801,
Teapa, Tabasco Tel (932)3240650 ext 126

Sandra Eloísa Rangel-Estrada / sandrarangel@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8676-7277>

Jaime Canul-Ku / canulku2001@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-9875-0736>

Edwin Javier Barrios-Gómez / barrios.edwin@inifap.gob.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1765-5981>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo
Experimental Zacatepec. Carretera Zacatepec Galeana s/n, Centro, 62780,
Zacatepec de Hidalgo, Morelos. Tel (01) (800) 0882222 ext. 86608

RESUMEN: *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther es una bromelia epífita microendémica de México de inflorescencias vistosas con brácteas de color rosa que contrastan con las flores de color verde. Estos atributos le otorgan potencial como planta ornamental. La conservación de la especie y aprovechamiento comercial requiere de sistemas de propagación eficientes que eviten la extracción de plantas de su hábitat natural. Los objetivos de esta contribución fueron establecer las condiciones óptimas para la germinación *in vitro* de semillas y la regeneración de plantas por organogénesis. Semillas se sembraron en medio de Murashige y Skoog (MS) con la mitad de concentración de sales adicionado con bencil adenina (BA) y ácido naftalenacético (ANA). Para el alargamiento y enraizamiento de brotes se evaluó el ácido giberélico (AG₃) y el ácido indolbutírico (AIB), respectivamente. En todos los tratamientos se obtuvo una germinación promedio de 97%. La combinación de BA y ANA favorecieron la inducción de brotes en las plántulas recién germinadas. La mayor cantidad de brotes por explante fue de 41.4 con 1 mg L⁻¹ de BA y 0.25 mg L⁻¹ de ANA a las 12 semanas de cultivo. El alargamiento de los brotes se logró en el medio MS completo con 1 mg L⁻¹ de AG₃ después de ocho semanas. La mejor respuesta de enraizamiento fue con 1 mg L⁻¹ de AIB que indujo la formación promedio de 7.7 raíces en todos los brotes a las cuatro semanas. En la aclimatación de plantas la supervivencia fue de 95 % después de cuatro semanas.

Palabras clave: bromelia, endémica, epífita, germinación, organogénesis

ABSTRACT: *Tillandsia takizawae* Ehlers & H. Luther is an epiphytic bromeliad microendemic from Mexico with showy inflorescences with pink bracts that contrast with the green flowers. These attributes give it potential as an ornamental plant. The conservation of the species and commercial use requires efficient propagation systems that avoid the extraction of plants from their natural habitat. The objectives of this contribution were to establish the optimal conditions for *in vitro* seed germination and plant regeneration by organogenesis. Seeds were established in Murashige and Skoog medium (MS) with half the concentration of salts added with benciladenine (BA) and naftalen acetic acid (NAA). In the elongation and rooting of shoots, the gibberellic acid (GA₃) and the indol butiric acid (IBA) were evaluated, respectively. In all treatments an average germination of 97% was obtained. The combination of BA and NAA promoted the induction of shoots in recently germinated seedlings. The highest number

of shoots per explant was 41.4 with 1 mg L⁻¹ of BA and 0.25 mg L⁻¹ of NAA after 12 weeks of culture. Shoots elongation was achieved in the complete MS medium with 1 mg L⁻¹ of GA₃ after eight weeks. The best rooting response was with 1 mg L⁻¹ of IBA, which induced the average formation of 7.7 roots in all shoots at four weeks. In the acclimatization of plants the survival was 95 % after four weeks.

Key words: Bromeliad, endemic, epiphyte, seed germination, organogenesis

INTRODUCCIÓN

Las bromelias son plantas monocotiledóneas originarias de las regiones tropicales, subtropicales y templadas del continente americano, con excepción de *Pitcairnia feliciana* que se encuentra en África (Benzing, 2000). El listado más actualizado de bromelias en el mundo incluye 3,408 especies organizadas en 58 géneros y dos notogéneros (Luther, 2014). En México se han reportado 422 especies agrupadas en 19 géneros, de las cuales cerca del 75% presentan endemismo y 172 especies microendémicas (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018). La riqueza florística de bromelias mexicanas representa 12.4% del total de especies de la familia y se incrementa gradualmente conforme se describen nuevas especies (Hernández-Cárdenas *et al.*, 2020; García-Martínez & Beutelspacher, 2022).

Dentro de la familia, los géneros con mayor diversidad son *Tillandsia*, *Pitcairnia* y *Vriesea*, en conjunto agrupan a más de un tercio (37%) de las especies (Luther, 2014). En México el género *Tillandsia* es el más diverso con 230 especies que representan el 54.5% del total de los registros (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018). La mayoría de las especies son epífitas que prosperan sobre ramas y tallos de árboles de corteza gruesa o sobre rocas.

Las bromelias se pueden usar como forraje, alimento (Hornung-Leoni, 2011), medicamento (Meza-Espinoza *et al.*, 2017), en cercos vivos o artesanal; sin embargo, el uso más destacado es como planta ornamental. En este sentido se pueden usar para la decoración de interiores, jardines, paisajismo o festividades religiosas (Jiménez-López *et al.*, 2019). La belleza única y sorprendente de estas plantas se debe a la morfología de rosetas (tanque), las formas y colores de sus hojas, los colores intensos y formas de sus brácteas florales, así como los colores contrastantes de sus flores. El potencial ornamental de este grupo de plantas se complementa con los periodos de floración prolongados, la resistencia a problemas fitosanitarios y su adaptabilidad a condiciones climáticas extremas. Todos estos atributos las convierten en un recurso fitogenético florícola valioso para las comunidades rurales donde habitan y para la industria ornamental.

Tillandsia takizawae Ehlers & H. Luther es una bromelia microendémica del Valle de Tehuacán, Puebla, México; posee hojas coriáceas de color verde grisáceo e inflorescencias erectas vistosas con brácteas color rosa que contrastan con el verde de las flores (Ehlers, 2000). Estos atributos hortícolas le otorgan potencial ornamental como planta en maceta, aunque normalmente crece como epífita sobre *Stenocereus marginatus*, *Stenocactus weberi*, *Opuntia streptacantha*, *Polaskia chichipe* o *Quercus* sp.

En nuestro país, los ejemplares de esta especie que se comercializan se extraen de sus hábitats naturales, para su uso en festividades religiosas principalmente, y es una práctica ilegal que constituye una seria amenaza para las poblaciones silvestres. Es importante resaltar que muchas de las especies son endémicas y la sobreexplotación de sus poblaciones conduce a la extinción de las especies. La atención de esta problemática es apremiante y se requieren estrategias viables que favorezcan su conservación y aprovechamiento sustentable sin alterar dichas poblaciones silvestres. El desarrollo de sistemas de propagación eficientes es una de esas estrategias. Las técnicas del cultivo de tejidos vegetales *in vitro* se han consolidado como herramientas biotecnológicas útiles para el rescate, conservación y aprovechamiento de especies

amenazadas o en peligro de extinción (Anis & Ahmad, 2016), ya sea vía organogénesis o embriogénesis somática.

En *T. takizawae*, como en muchas otras especies de bromelias mexicanas, no existen reportes sobre su propagación y cultivo, ya sea de forma convencional o *in vitro*, que permitan su conservación y aprovechamiento de forma sustentable. A partir de estos antecedentes, los objetivos de esta contribución fueron definir las condiciones óptimas para la germinación *in vitro* de semillas de *Tillandsia takizawae* y establecer un sistema de regeneración vía organogénesis a partir de las plántulas germinadas *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desinfección de semillas

Las cápsulas maduras con semillas se colectaron de ejemplares silvestres (Figura 1a) ubicados en las coordenadas 17° 42' 52'' LN y 97° 39' 38'' LO en vegetación de bosque tropical caducifolio en el municipio de Huajuapán de León, Oaxaca, México. Las semillas sanas y de tamaño uniforme se lavaron con detergente comercial por 5 min seguido de enjuagues con agua de la llave y agua destilada esterilizada. Enseguida se pasaron por una solución de hipoclorito de sodio comercial (Cloralex®; 30 % v/v) por 15 min en agitación continua y cinco enjuagues con agua destilada estéril. Finalmente, las semillas se lavaron con Captan (N-triclorometilitio-4-ciclohexeno-1,2 dicarboximida, 1.0 g L⁻¹) por 10 min y nuevamente se enjuagaron cinco veces con agua destilada esterilizada.

Medio de cultivo y condiciones de incubación

El medio de cultivo utilizado en la germinación y la organogénesis fue el de Murashige y Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con sacarosa (30 g L⁻¹), glicina (2 mg L⁻¹), mio-inositol (100 mg L⁻¹), ácido nicotínico (0.5 mg L⁻¹), piridoxina (0.5 mg L⁻¹), tiamina (0.1 mg L⁻¹) y solidificado con agar-agar (Merck®, 9 g L⁻¹). El pH del medio se ajustó a 5.7 con NaOH o HCl 1N y se esterilizó en autoclave vertical (FELISA®, modelo FE-405) a 121 °C y 1.5 kg cm⁻² de presión por 20 min. Los cultivos se mantuvieron a 25 ± 2 °C en fotoperiodo de 16 horas e intensidad luminosa de 45 μmol m⁻² s⁻¹.

Establecimiento *in vitro*

Las semillas desinfectadas se establecieron en medio de cultivo MS con 50% de la concentración de sales y concentraciones diferentes de 6-benciladenina (BA; 0, 0.25, 0.5 y 1 mg L⁻¹), sola o en combinación con ácido α-naftalenacético (ANA; 0, 0.1 y 0.25 mg L⁻¹). Se usaron frascos de vidrio de 45 mL de capacidad con 15 mL de medio de cultivo. Después de tres semanas se contabilizó la germinación (%). Para promover el crecimiento de los brotes se hizo un subcultivo a las cuatro semanas a medio de cultivo MS completo sin reguladores de crecimiento y a las 12 semanas se registró la brotación (porcentaje de plántulas que generaron brotes) y número brotes por explante. El experimento se condujo en un diseño completamente al azar en arreglo factorial 4x3; cada tratamiento estuvo representado por diez repeticiones y la unidad experimental consistió de un frasco con 20 semillas.

Alargamiento de brotes

Para promover el crecimiento, los brotes de 1.5 cm de longitud se establecieron en el medio MS adicionado con ácido giberélico (AG₃; 0, 0.25 y 0.5 mg L⁻¹). Después de ocho semanas se cuantificó la altura de los brotes (cm). El diseño experimental fue completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento; la unidad experimental fueron cinco brotes por frasco.

Enraizamiento de brotes

Para inducir el enraizamiento, brotes de 3 cm de longitud se establecieron en medio MS con 50% de la concentración de sales adicionado con ácido indolbutírico (AIB; 0, 0.25, 0.5 y 1 mg L⁻¹). Después de cuatro semanas se cuantificó el enraizamiento (%), número de raíces y altura

de la planta (cm). El diseño experimental fue completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento; la unidad experimental fueron tres plantas por frasco.

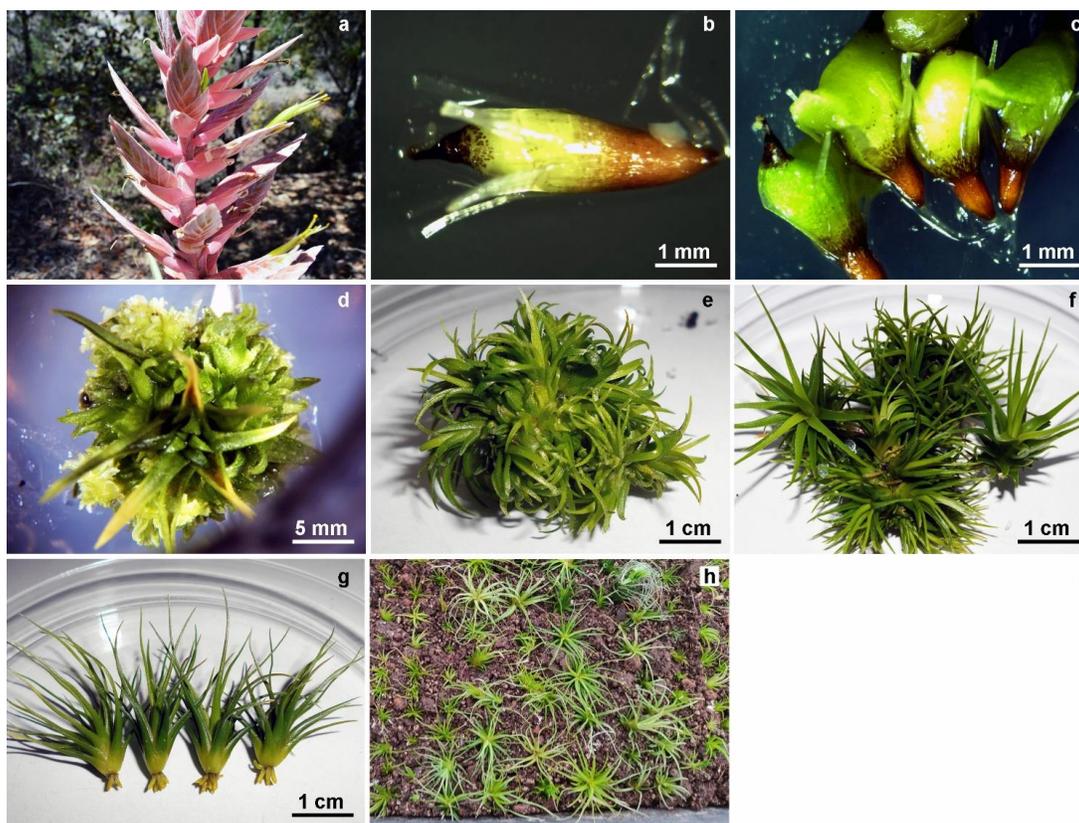


Figura 1. Germinación *in vitro* de *Tillandsia takizawae* y regeneración de plantas por organogénesis directa. a) Inflorescencia; b) Germinación después de una semana de cultivo; c) Plantas con las primeras hojas después de tres semanas de iniciar el cultivo; d) Inducción de brotes a partir de plántulas con 1 mg L^{-1} de BA y 0.25 mg L^{-1} de ANA a las seis semanas; e) Alargamiento de brotes inducidos con 1 mg L^{-1} de BA y 0.25 mg L^{-1} de ANA a las 12 semanas; f) Crecimiento de plantas con 0.5 mg L^{-1} de AG_3 después de ocho semanas; g) Enraizamiento de los brotes en medio MS a la mitad de sales con 1 mg L^{-1} de AIB a las dos semanas; h) Aclimatación de plantas después de cuatro semanas de cultivarse en la mezcla de sustratos.

Figure 1. *In vitro* germination of *Tillandsia takizawae* and plant regeneration through direct organogenesis. a) Inflorescence; b) Germination after one week of cultivation; c) Plants with the first leaves after three weeks of initiating cultivation; d) Shoot induction from seedlings with 1 mg L^{-1} BA and 0.25 mg L^{-1} NAA at six weeks; e) Elongation of induced shoots with 1 mg L^{-1} BA and 0.25 mg L^{-1} NAA at 12 weeks; f) Plant growth with 0.5 mg L^{-1} GA3 after eight weeks; g) Rooting of shoots in half-strength MS medium with 1 mg L^{-1} IBA at two weeks; h) Acclimatization of plants after four weeks of being cultivated in the substrate mixture.

Aclimatación de plantas

Plantas enraizadas de 4 a 6 cm de altura promedio se colocaron en una mezcla de sustratos a base de turba (peat moss), perlita y corteza de pino (1:1:1). Se utilizaron charolas especiales para la aclimatación de plantas sin cavidades de 50 cm de largo por 30 cm de ancho provistas de un domo protector transparente. Las plantas se mantuvieron en condiciones de invernadero a $26 \text{ }^\circ\text{C}$ y se regaron cada tercer día con 50% de las sales del medio MS. A las dos semanas los domos se fueron levantando gradualmente para favorecer el intercambio de humedad con el

exterior hasta retirarlo por completo a las cuatro semanas y así contabilizar el porcentaje de supervivencia.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en los experimentos de establecimiento *in vitro*, alargamiento y enraizamiento se sometieron a análisis de varianza con el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc, 2003) y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores de porcentajes se transformaron mediante la raíz cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Establecimiento *in vitro*

Durante el establecimiento *in vitro* de las semillas las respuestas morfogénicas fueron afectadas significativamente por la composición del medio de cultivo. La germinación se presentó en todos los tratamientos evaluados y alcanzó porcentajes entre 95.5 y 99% después de tres semanas. En cambio, los tratamientos con BA y ANA, además de permitir la germinación, favorecieron la organogénesis a partir de las plántulas. En este caso, la citocinina BA fue quien tuvo mayor efecto sobre el porcentaje de formación de brotes adventicios y sobre el número de brotes por explante (Cuadro 1).

La emergencia de la radícula, considerada como el inicio de la germinación, ocurrió después de una semana en todos los tratamientos (Figura 1b) mientras que las primeras hojas se observaron después de la tercera semana (Figura 1c). En las bromeliáceas silvestres las semillas constituyen el método de propagación más efectivo en su hábitat natural comparado con la vegetativa por medio de vástagos (hijuelos). Se ha reportado que normalmente las semillas no enfrentan limitantes para la germinación (Benzing, 2000), no obstante, la limitada cantidad de plántulas que alcanza el estado adulto puede relacionarse con la distribución diferencial de estas epífitas dentro del dosel, ya que algunas no encuentran las condiciones apropiadas para su crecimiento (Winkler *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Germinación *in vitro*, formación de brotes adventicios y número de brotes por explante de *Tillandsia takizawae* con benciladenina (BA) y ácido naftalenacético (ANA).

Table 1. *In vitro* germination, adventitious shoot formation, and number of shoots per explant of *Tillandsia takizawae* with benzyladenine (BA) and naphthaleneacetic acid (NAA).

BA (mg L ⁻¹)	ANA (mg L ⁻¹)	† Germinación (%)	†† Formación de brotes adventicios (%)	††† Número de brotes por explante
0	0	96.5 a	0 b	0.0 h
0	0.1	97.0 a	0 b	0.0 h
0	0.25	98.0 a	0 b	0.0 h
0.5	0	99.0 a	100 a	3.8 g
0.5	0.1	96.0 a	100 a	8.1 ef
0.5	0.25	97.0 a	100 a	12.2 c
1	0	98.0 a	100 a	10.9 d
1	0.1	98.5 a	100 a	25.6 b
1	0.25	95.5 a	100 a	41.4 a
2	0	95.5 a	100 a	6.9 f
2	0.1	98.0 a	100 a	8.7 e
2	0.25	99.0 a	100 a	12.9 c
	DMSH	0.8	0	1.2

† Datos obtenidos a las tres semanas; †† datos obtenidos a las 12 semanas. Medias con letras iguales dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

† Data obtained at three weeks; †† data obtained at 12 weeks. Means with the same letters within each column are not statistically different (Tukey, 0.05). DMSH = honest significant difference.

En la germinación *in vitro* de bromelias los mejores resultados se han obtenido con el medio MS, ya sea con el 100% o con la mitad de la concentración de sales (Guerra & Dal Vesco, 2010), aunque también se ha reportado el medio Knudson C y sus modificaciones (Pickens *et al.*, 2003). En *Vriesea heliconioides* el 98% de germinación promedio se obtuvo en el medio MS (Hernández-Meneses *et al.*, 2018). En cambio, las semillas de *V. gigantea* y *V. philippocoburgii* germinaron en las sales completas del medio MS, pero las plántulas no continuaron su crecimiento después de algunas semanas (Droste *et al.*, 2005).

El éxito en la germinación *in vitro* promedio de 97% en *T. takizawae* podría estar relacionada con la edad de las semillas, ya que se colectaron de cápsulas que tenían entre 15 días y un mes de haber iniciado su dehiscencia. A reserva de más estudios sobre la viabilidad de semillas almacenadas en *T. takizawae*, en especies del género *Tillandsia* se ha reportado que la germinación se puede mantener por más de un año, pero ésta se reduce gradualmente. En *T. caput-medusae* 81.7% de las semillas germinaron después de un año de almacenamiento a 25 °C, mientras que en *T. recurvata* sólo 8 % (Flores-Palacios *et al.*, 2015). En cambio, en el caso de *Vriesea heliconioides* se reportó 98% de germinación después de un año y 72% después de dos años (Hernández-Meneses *et al.*, 2018).

En la literatura no existen reportes sobre la germinación de semillas de *Tillandsia takizawae* en su hábitat natural; pero por ser una epífita, el crecimiento de las plántulas está condicionado a que las semillas germinen sobre la corteza de tallos o ramas de árboles y que encuentren las condiciones ambientales apropiadas para crecer; las semillas que se caen al suelo pueden germinar pero no pueden continuar con su desarrollo. En condiciones naturales se ha reportado que los bajos porcentajes de germinación de bromelias epífitas se deben a factores como el clima y sustrato, y ello puede limitar la capacidad de las especies para colonizar hábitats perturbados y la distribución dentro del dosel (Hietz *et al.*, 2012).

Organogénesis a partir de plántulas germinadas *in vitro*

Las concentraciones de 0.5, 1 y 2 mg L⁻¹ de BA combinadas con 0.1 y 0.25 mg L⁻¹ de ANA promovieron la organogénesis en 100% de las plántulas recién germinadas. Debido al crecimiento lento de la especie, fue necesario hacer un subcultivo a medio MS libre de reguladores de crecimiento a las cuatro semanas para después contabilizar el número de brotes a las 12 semanas de la siembra *in vitro*. De este modo, la mejor respuesta, considerada como la mayor cantidad de brotes, fue favorecida por la combinación de 1 mg L⁻¹ de BA y 0.25 mg L⁻¹ de ANA que produjo 41.4 brotes por plántula (Cuadro 1), (Figura 1d-e). Esta respuesta superó por más del triple la mayor cantidad de brotes obtenidos con 0.5 y 2 mg L⁻¹ de BA combinadas con 0.25 mg L⁻¹ de ANA, que fueron 12.2 y 12.9 brotes por explantes, respectivamente.

El efecto inductor de la BA y ANA en la organogénesis de *T. takizawae* se ha reportado en la propagación *in vitro* de otras especies de bromelias mexicanas utilizando como explantes plántulas germinadas *in vitro*. Si bien los reportes son escasos, en *Tillandsia eizii*, endémica de México, la combinación de 2 mg L⁻¹ de BA y 0.1 mg L⁻¹ de ANA en medio MS promovió la formación de yemas adventicias en 40% de plántulas de 12 semanas de edad empleadas como explantes (Pickens *et al.*, 2006). En la organogénesis de *Tillandsia viridiflora* se indujeron 10.4 brotes por explante con 1.5 mg L⁻¹ de BA y 0.01 mg L⁻¹ de ANA en medio MS después de 12 semanas de cultivo (Márquez-Martínez *et al.*, 2020). En el caso de *V. heliconioides*, la inducción de 6.8 brotes por explante fue posible con 2.25 mg L⁻¹ de BA y 0.2 mg L⁻¹ de ANA en medio MS después de 12 semanas de cultivo (Hernández-Meneses *et al.*, 2018).

En otras especies como *V. gigantea* el medio MS con 2.0 mg L⁻¹ de BA y 0.5 mg L⁻¹ de ANA indujo 3.1 brotes por explante después de 16 semanas de cultivo a partir de plántulas *in vitro*; mientras que en *V. philippocoburgii* en el mejor tratamiento se obtuvieron 5 brotes por explante con estas mismas concentraciones de BA y ANA pero en el medio Knudson (Droste *et al.*, 2005). La variación en las respuestas *in vitro*, entendida como la cantidad de brotes generados por explante, entre las especies de bromeliáceas reportadas, indica que el genotipo tiene una fuerte influencia sobre la capacidad morfogénica. Por ello es muy importante desarrollar protocolos de propagación *in vitro* específicos para cada especie de bromelia.

Con los resultados obtenidos en la organogénesis de *T. takizawae* se abre la posibilidad de producir mayor cantidad de plantas y representa una ventaja sobre la germinación. El establecimiento *in vitro* de semillas en medio MS sin reguladores de crecimiento con la mitad de concentración de sales favorece la germinación, pero solo se puede generar una plántula.

Alargamiento de los brotes

Los tres tratamientos evaluados favorecieron el alargamiento de los brotes, pero la respuesta fue mejor con las concentraciones de 0.25 y 0.5 mg L⁻¹ de AG₃ en comparación con el medio sin reguladores de crecimiento. La mayor longitud promedio de brotes fue de 6.8 cm con 0.5 mg L⁻¹ de AG₃, seguido de 3.8 cm con 0.25 mg L⁻¹ de AG₃; en el medio sin reguladores la altura fue de 3.3 cm (Figura 1f). El crecimiento de las bromelias se caracteriza por ser perenne en su ambiente natural, con raíces cortas, y está en función del suministro de agua, nutrientes y calidad de luz (Laube & Zotz, 2003). En *T. takizawae* este crecimiento también se observó durante el cultivo *in vitro*, aunque la fuente de carbono, los nutrientes y los reguladores de crecimiento aportados por el medio de cultivo favorecieron el desarrollo. En esta especie no se conoce con exactitud el tiempo estimado para que alcancen su floración, pero es probable que pueden tardar años.

En bromelias se ha reportado que el AG₃ promueve el alargamiento de las plantas; no obstante, la efectividad de la giberelina dependerá de la especie y la dosis empleada. El alargamiento de los brotes de *Vriesea friburgensis* (Alves & Guerra, 2001) y *Dyckia distachya* (Pompelli & Guerra, 2005) fue promovido con 1.7 mg L⁻¹ de AG₃; mientras que en *V. reitzii* los brotes crecieron mejor con 3.4 mg L⁻¹ (Dal Vesco & Guerra, 2010).

Enraizamiento de brotes

El enraizamiento se presentó en todos los tratamientos evaluados y fue mejor en los medios con AIB. El número mayor de raíces y mayor altura de planta se indujeron con 1 mg L⁻¹ de AIB con promedio de 7.7 raíces por planta y 6.2 cm, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Enraizamiento de los brotes de *Tillandsia takizawae* regenerados *in vitro* en presencia de ácido indolbutírico (AIB), después de cuatro semanas de cultivo.

Table 1. In vitro germination, adventitious shoot formation, and number of shoots per explant of *Tillandsia takizawae* with benzyladenine (BA) and naphthaleneacetic acid.

AIB (mg L ⁻¹)	Enraizamiento (%)	Número de raíces	Altura de planta (cm)
0	100	a	2.2
0.25	100	a	4.0
0.5	100	a	6.8
1	100	a	7.7
DMSH	0		0.7

Medias con letras iguales dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

El enraizamiento se observó a partir de la segunda semana de cultivo en todos los tratamientos (Figura 1g); las raíces fueron de color amarillo claro y después de la cuarta semana se tornaron de color café. Generalmente, la fase de enraizamiento en el cultivo *in vitro* se induce al reducir las concentraciones de citocininas y aumentar las de auxinas (Anis & Ahmad, 2016). El AIB es una de las auxinas sintéticas usadas para inducir el enraizamiento de brotes regenerados *in vitro* (Phillips & Garda, 2019) y en *T. takizawae* resultó eficiente después de cuatro semanas de cultivo.

En las bromelias epífitas la función principal de las raíces es brindar anclaje a la planta ya que la absorción de agua y nutrientes es llevada a cabo por los tricomas que se ubican en las hojas, como sucede en las especies del género *Tillandsia* (Mondragón *et al.*, 2011). Con respecto a la altura de las plantas *in vitro* de bromelias se ha reportado que es uno de los factores limitantes previo a la etapa de aclimatación, ya que plantas menores de 3 cm comprometen la tasa de supervivencia (Guerra & Dal Vesco, 2010).

Aclimatación de plantas

La supervivencia de las plantas de *T. takizawae* cultivadas en la mezcla de turba, perlita y corteza de pino fue de 95% (Figura 1h). En la aclimatación de bromelias se pueden emplear diferentes sustratos con resultados óptimos como mezclas de corteza de pino (*Pinus L.*), cáscara de arroz carbonizada, vermiculita, turba, arena o fibra de coco (Dal Vesco y Guerra, 2010; De Resende *et al.*, 2016; Hernández-Meneses *et al.*, 2018). Después de esta fase se deben aplicar prácticas de manejo agronómico, en condiciones de invernadero o bajo malla sombra, que garantice el crecimiento de las plantas para que puedan sobrevivir a las condiciones definitivas o para los fines a los que se destinen.

CONCLUSIONES

La germinación *in vitro* de semillas de *Tillandsia takizawae* y la organogénesis a partir de plántulas pueden solventar las restricciones de bajas tasas de germinación y mortalidad de plantas en condiciones naturales. Los resultados de este estudio abren la posibilidad de propagar gran cantidad de plantas como una estrategia más que ayude a la protección de la especie, la recuperación de poblaciones silvestres y su eventual aprovechamiento sustentable con fines comerciales. Este protocolo de propagación *in vitro* a partir de semillas permite mantener la variabilidad genética de la especie.

AGRADECIMIENTOS

Al Campo Experimental Zacatepec del INIFAP, por las facilidades otorgadas para llevar a cabo el estudio en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos e invernadero.

LITERATURA CITADA

- Alves, G. M., & Guerra, M. P. (2001). Micropropagation for mass propagation and conservation of *Vriesea friburgensis* var. *paludosa* from microbuds. *Journal of the Bromeliad Society*, 51(5), 202-212.
- Anis, M., & Ahmad, N. (2016). Plant tissue culture: a journey from research to commercialization. En M. Anis, & N. Ahmad, *Plant tissue culture: propagation, conservation and crop improvement* (págs. 3-13). Singapore: Springer Science+Business Media.
- Benzing, D. H. (2000). *Bromeliaceae: Profile of an Adaptive Radiation*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

- Dal Vesco, L. L., & Guerra, M. P. (2010). *In vitro* morphogenesis and adventitious shoot mass regeneration of *Vriesea reitzii* from nodular cultures. *Scientia Horticulturae*, 125(4), 748-755. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.030
- De Resende, C., Ribeiro, C., Mendes, G. C., Soares, C. G., Braga, V., da Cruz, B. P., . . . Peixoto, P. H. (2017). *In vitro* culture of *Vriesea cacuminis* L.B. Sm. (Bromeliaceae): an endemic species of Ibitipoca State Park, MG, Brazil. *Iheringia, Série Botânica*, 71(1), 55-61. doi:https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/488
- Droste, A., Silva, A. M., Matos, A. V., & Almeida, J. W. (2005). *In vitro* culture of *Vriesea gigantea* and *Vriesea philippocoburgii*: two vulnerable bromeliads native to Southern Brazil. *Brazilian Archives of biology and Technology*, 48, 717-722. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000600006
- Ehlers, R. (2000). A new *Tillandsia* from southern Mexico. *Journal of the Bromeliad Society*, 50, 216-221.
- Espejo-Serna, A., & López-Ferrari, O. R. (2018). La familia Bromeliaceae en México. *Botanical Sciences*, 96(3), 533-554. doi:https://doi.org/10.17129/botsci.1918
- Flores-Palacios, A., Bustamante-Molina, A. B., Corona-López, A. M., & Valencia-Díaz, S. (2015). Número de semillas, germinación y longevidad en especies de *Tillandsia* silvestres de bosque seco de valor hortícola. *Scientia Horticulturae*, 187, 72-79. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.003
- García-Martínez, R., & Beutelspacher, C. R. (2022). A new stoloniferous species of *Catopsis* (Bromeliaceae) from Chiapas, Mexico. *Journal of the Bromeliad Society*, 72(3), 119-127.
- Guerra, M. P., & Dal Vesco, L. L. (2010). Strategies for the micropropagation of bromeliads. En S. M. Jain, & S. J. Ochatt, *Protocols for in vitro propagation of ornamental plants. Methods in Molecular Biology* (págs. 47-66). New York, USA: Humana Press–Springer. doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-1-60327-114-1_6
- Hernández-Cárdenas, R. A., Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., & Lara-Godínez, S. A. (2020). *Tillandsia dichromantha* (Tillandsioideae; Bromeliaceae), a new species from the state of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 447(2), 81-87. doi:https://doi.org/10.11646/phytotaxa.447.2.1
- Hernández-Meneses, E., Rangel-Estrada, S. E., López-Peralta, M. C., Guerrero-Hilario, A., Ortiz-Gil, G., & Martínez-Bolaños, L. (2018). Germinación, viabilidad y regeneración *in vitro* de plantas de *Vriesea heliconioides* (Kunth) Hook. Ex Walp. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(2), 99-106. doi:https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.99-106
- Hietz, P., Winkler, M., Scheffknecht, S., & Hülber, K. (2012). Germination of epiphytic bromeliads in forests and coffee plantations: microclimate and substrate effects. *Biotropica*, 44(2), 219-229. doi:https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00791.x
- Hornung-Leoni, C. T. (2011). Bromeliads: traditional plant food in Latin America since prehispanic times. *Polibotánica*, 32, 219-229.
- Jiménez-López, D. A., Solórzano, J. V., Vibrans, H., Espejo-Serna, A., & Peralta-Carreta, C. (2019). Ceremonial use of bromeliads and other vascular epiphytes in cemeteries of two indigenous communities of Las Margaritas, Chiapas, Mexico. *Economic Botany*, 73(1), 127-132. doi:https://doi.org/10.1007/s12231-019-09445-4
- Laube, S., & Zotz, G. (2003). Which abiotic factors limit vegetative growth in a vascular epiphyte? *Functional Ecology*, 17(5), 598-604. doi:https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2003.00760.x
- Luther, H. E. (2014). *An alphabetic list of bromeliad binomials*. Florida, USA: The Marie Selby Botanical Gardens and The Bromeliad Society International.
- Márquez-Martínez, J., López-Peralta, M. C., Hernández-Meneses, E., & Cruz-Huerta, N. (2020). Regeneración *in vitro* de plantas de *Tillandsia viridiflora* (beer) baker por organogénesis directa. *Agrociencia*, 54(6), 763-778. doi:https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2180
- Meza-Espinoza, L., García-Magaña, M. L., Vivar-Vera, M. A., Sáyo-Ayerdi, S. G., Chacón-López, A., Becerra-Verdín, E. M., . . . Montalvo-González, E. (2017). Aspectos etnobotánicos, nutricionales y actividad biológica de extractos de frutos del género *Bromelia*. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 40(4), 425-437.

Recibido:
5/septiembre/2023

Aceptado:
15/enero/2024

- Mondragón-Chaparro, D. M., Ramírez-Morillo, I. M., Flores-Cruz, M., & García-Franco, J. G. (2011). *La familia Bromeliaceae en México*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-493.
- Phillips, G. C., & Garda, M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 55, 242-257. doi:<https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
- Pickens, K. A., Affolter, J. M., Wetzstein, H. Y., & Wolf, J. H. (2003). Enhanced seed germination and seedling growth of *Tillandsia eizii* in vitro. *HortScience*, 38(1), 101-104. doi:<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.1.101>
- Pickens, K. A., Wolf, J., Affolter, J. M., & Wetzstein, H. Y. (2006). Adventitious bud development and regeneration in *Tillandsia eizii*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 42, 348-353. doi:<https://doi.org/10.1079/IVP2006779>
- Pompelli, M. F., & Guerra, M. P. (2005). Micropropagation enables the mass propagation and conservation of *Dyckia distachya* Hassler. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 5(1), 117-126.
- SAS Institute Inc . (2003). *The SAS system for windows. Release 9.1*. Cary, N.C., U.S.A.
- Winkler, M., Huelber, K., & Hietz, P. (2005). Effect of canopy position on germination and seedling survival of epiphytic bromeliads in a Mexican humid montane forest. *Annals of Botany*, 95(6), 1039-1047. doi:<https://doi.org/10.1093/aob/mci115>

GERMINACIÓN E INDUCCIÓN DE CALLO PARA LA PRODUCCIÓN DE ALCALOIDES DE DOS ESPECIES DE *Lupinus* EN CONDICIONES *in vitro*

GERMINATION AND CALLUS INDUCTION FOR ALKALOID PRODUCTION OF TWO *Lupinus* SPECIES UNDER *in vitro* CONDITIONS

Salcedo-Morales, G.; K. Morales-Muñoz; G. Paredes-Sastre; J.A. Valdovinos-Bazaldua; A.B. Castrejón-Lorenzo; F. Rosales-de la Vega; Y. León Romero; E. Montes Hernández; I. Mejía Vigueras y K. Bermúdez-Torres

GERMINACIÓN E INDUCCIÓN DE CALLO PARA LA PRODUCCIÓN DE ALCALOIDES DE DOS ESPECIES DE *Lupinus* EN CONDICIONES *in vitro*

GERMINATION AND CALLUS INDUCTION FOR ALKALOID PRODUCTION OF TWO *Lupinus* SPECIES UNDER *in vitro* CONDITIONS



Germinación e inducción de callo para la producción de alcaloides de dos especies de *Lupinus* en condiciones *in vitro*

Germination and callus induction for alkaloid production of two *Lupinus* species under *in vitro* conditions

Salcedo-Morales, G.;
K. Morales-Muñoz;
G. Paredes-Sastre;
J.A. Valdovinos-Bazaldúa;
A.B. Castrejón-Lorenzo;
F. Rosales-de la Vega;
Y. León-Romero;
E. Montes-Hernández;
I. Mejía-Vigueras
y K. Bermúdez-Torres

GERMINACIÓN E
INDUCCIÓN DE CALLO
PARA LA PRODUCCIÓN DE
ALCALOIDES DE DOS
ESPECIES DE *Lupinus* EN
CONDICIONES *in vitro*

GERMINATION AND
CALLUS INDUCTION FOR
ALKALOID PRODUCTION
OF TWO *Lupinus* SPECIES
UNDER *in vitro* CONDITIONS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 183-197. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.11

Guadalupe Salcedo-Morales

<https://orcid.org/0000-0003-0909-0551>

Lab. de Cultivo de Células vegetales, Depto. de Biotecnología,
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional.
Calle CEPROBI núm. 8, Colonia San Isidro, CP 62730, Yautepec, Morelos

Karina Morales-Muñoz

Guadalupe Paredes-Sastre

Universidad Politécnica de Tlaxcala. A. Universidad Politécnica, No.1,
San Pedro Xalcaltzinco, 90180 Tlaxcala

José Alfredo Valdovinos-Bazaldúa

Ana Belem Castrejón-Lorenzo

Franco Rosales-de la Vega

Universidad Politécnica del Estado de Morelos,
P. Cuauhnahuac 566, Lomas del Texcal, 62574 Jiutepec, Mor.

Yatzil León-Romero

<https://orcid.org/0000-0001-5913-9443>

Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud Unidad Milpa Alta IPN
Carretera Xochimilco - Oaxtepec Km 39.5, 12000 Milpa Alta, CDMX

Edith Montes-Hernández

<https://orcid.org/0009-0007-6280-8776>

Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca,
Ciudad Nezahualcóyotl, México, México.

Israel Mejía-Vigueras

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional.
Calle CEPROBI núm. 8, Colonia San Isidro, CP 62730, Yautepec, Morelos.

Kalina Bermúdez-Torres / kbermudes@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7267-7657>

Depto. de Biotecnología, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos,
Instituto Politécnico Nacional. Calle CEPROBI núm. 8,
Colonia San Isidro, CP 62730, Yautepec, Morelos

RESUMEN: *Lupinus* sintetiza alcaloides quinolizidínicos (AQ) como estrategia de defensa en contra de herbívoros. Estos compuestos tienen una amplia variedad de aplicaciones; sin embargo, es necesario contar con la suficiente cantidad de materia prima para satisfacer las necesidades del mercado. Las especies ricas en estos compuestos son especies silvestres, lo que limita la obtención de la materia prima. Una de las estrategias para la obtención de materia prima y la producción de metabolitos secundarios es el uso de herramientas biotecnológicas como el cultivo de tejidos vegetales. En este trabajo se reporta la caracterización de la germinación, la inducción de callo de *Lupinus bilineatus* y *L. montanus* y la caracterización del crecimiento *in vitro* y producción de AQ. El medio de cultivo y el protocolo de escarificación

permitieron la germinación de las semillas de ambas especies a los 12 días con porcentajes de 100% para *L. bilineatus* y de 74% para *L. montanus*. Con respecto a la inducción de callo, se empleó un barrido de concentraciones de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y cinetina (CIN) utilizando como explante cotiledón, hipocótilo y raíz. La mejor respuesta para la inducción de callo para ambas especies se presentó usando raíz con una combinación de 2 mg L⁻¹ de 2,4-D y 1 mg L⁻¹ de CIN para *L. bilineatus* y 1 mg L⁻¹ de 2,4-D y 0.5 mg L⁻¹ de CIN para *L. montanus*, en ambos casos se obtuvo callo friable con dos coloraciones: verde y beige. El crecimiento y la producción de AQ se caracterizaron para el callo verde, pues los AQ se sintetizan en tejidos fotosintéticos. La cinética de crecimiento muestra una característica curva de tres fases, una fase de adaptación que se alarga hasta el día siete, la fase de crecimiento más rápido y finalmente una fase de senescencia que inicia el día 18. La producción de AQ se observó el día 21. Este trabajo contribuye al conocimiento del comportamiento de la germinación, la inducción de tejido dediferenciado y el crecimiento y producción de alcaloides en un cultivo de callo de dos especies de *Lupinus*, *L. montanus* y *L. bilineatus*, ambas con potencial en la industria química y de agroquímicos.

Palabras clave: Germinación, *in vitro*, callogénesis, *Lupinus montanus*, *Lupinus bilineatus*, Alcaloides quinolizidínicos

ABSTRACT: *Lupinus* synthesizes quinolizidine alkaloids (AQ) as a defense strategy against herbivores. These compounds have a wide variety of applications; however, it is necessary to have a sufficient amount of raw material to satisfy market needs. The species rich in these compounds are wild species, which limits the obtaining of the raw material. One of the strategies for obtaining raw material and producing secondary metabolites is the use of biotechnological tools such as plant tissue culture. In this work we report the characterization of germination, callus induction of *Lupinus bilineatus* and *L. montanus* and the characterization of *in vitro* growth and AQ production. The culture medium and seed scarification protocol allowed the germination of seeds of both species with percentages at 12 days of 100% for *L. bilineatus* and 74% for *L. montanus*. With respect to callus induction, a sweep of indolbutyric acid (2,4-D) and cinetin (CIN) concentrations was employed using leaf, stem and root as explants. The best response for callus induction for both species was presented using root with a combination of 2 mg L⁻¹ of 2,4-D and 1 mg L⁻¹ of CIN for *L. bilineatus* and 1 mg L⁻¹ of 2,4-D and 0.5 mg L⁻¹ of CIN for *L. montanus*, in both cases friable callus was obtained with two colorations: green and beige. Growth and AQ production were characterized for green callus, since AQ are synthesized in photosynthetic tissues. The growth kinetics shows a characteristic three-phase curve, an adaptation phase extending to day seven, the fastest growth phase and finally a senescence phase starting on day 18. AQ production was observed on day 21. This work contributes to the knowledge of germination behavior, the induction of dedifferentiated tissue and the growth and production of alkaloids in a callus culture in two species of *Lupinus*, *L. montanus* and *L. bilineatus*, both with potential in the chemical and agrochemical industry.

Key words: Germination, *in vitro*, callogenesis, *Lupinus montanus*, *Lupinus bilineatus*, Quinolizidine alkaloids.

INTRODUCCIÓN

En el mundo se han descrito cerca de 280 especies de *Lupinus* (Eastwood *et al.*, 2008), siendo México unos de los centros secundarios de diversificación. En nuestro país se han reportado entre 65 y 110 especies del género *Lupinus*, que representan entre el 23 al 40% de las especies a nivel mundial (Bermúdez Torres *et al.*, 1999; Sousa & Delgado, 1998). Las especies de ese género han sido utilizadas desde los tiempos de los romanos, griegos e incas como fuente de proteína vegetal (Clements *et al.*, 2005; Domínguez *et al.*, 2023; Gladstones, 1998). Las especies del género *Lupinus* sintetizan alcaloides quinolizidínicos (AQ) como estrategia de defensa contra herbívoros (Wink, 1993; Wink *et al.*, 1995). Estos compuestos tienen una gran diversidad de actividades biológicas que les confieren potencial en la industria de los agroquímicos como fuente de bioinsecticidas (Ruiz-López *et al.*, 2010; Wink *et al.*, 1995), en la

industria química como fuente de catalizadores quirales (Regla *et al.*, 2019) y en la industria farmacéutica como moduladores de la secreción de insulina (García López *et al.*, 2004), entre otros. Nuestro grupo de investigación ha evidenciado que los extractos de AQ de *L. bilineatus* presentan actividad larvívica y larvístática sobre larvas de *Aedes aegypti*, vector del dengue y *Spodoptera frugiperda*, gusano cogollero del maíz (Bermúdez-Torres *et al.*, 2009, 2017; Michi Flores, 2016; Reyes Izquierdo, 2013). Para el abasto de estos compuestos se requieren grandes cantidades de materia prima; sin embargo, ambas especies son silvestres, lo que limita la obtención de este material. Una alternativa interesante es el cultivo *in vitro*, que permite la propagación y crecimiento de las especies de interés en condiciones controladas y la producción inducida de los AQ. Al respecto, Montes-Hernández (2010) reporta la inducción de callo y suspensiones de *L. aschenbornii*, indicando que bajo estas condiciones es posible obtener AQ; sin embargo, la producción de AQ es dos a tres órdenes menores a lo reportado para la planta, por lo que será necesario incluir a futuro procedimientos de elicitación para incrementar la producción de estos compuestos. Con base en el potencial de las especies mexicanas de *Lupinus* como fuentes de moléculas de interés y la necesidad de obtener suficiente materia prima, este trabajo tuvo como objetivo establecer las condiciones de germinación, inducción de callo y producción de alcaloides en dos especies de *Lupinus*, *L. montanus* y *L. bilineatus* en condiciones *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se utilizaron semillas de *L. bilineatus* y *L. montanus* que fueron recolectadas en el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, Estado de México, México y almacenadas a 4°C y 8-12% de humedad relativa. Los datos de colecta de las semillas de las dos especies se muestran en la tabla 1. Las semillas fueron desinfectadas y escarificadas de acuerdo con el protocolo reportado por Ramírez-Betancourt (2019).

Tabla 1. Datos geográficos de la colecta de las especies de *Lupinus*
Table 1. Geographical Data of the Collection of *Lupinus* Species.

Espece	Código de población	Altitud (m s.n.m)	Longitud	Latitud	Fecha de colecta
<i>L. bilineatus</i> (No. de Voucher: MEXU 1297305)	LIP2camp	2937	N19°04'30.2"	W98°42'02.2"	Agosto del 2018
<i>L. montanus</i> (No. de Voucher: MEXU 1297279)	LIP2mon	3889	N19°08'26.8"	W98°38'59.8"	Septiembre del 2016

Germinación. Se sembraron 50 semillas de cada una de las especies de *Lupinus* en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) al 100% (Murashige y Skoog, 1962; Sigma-Aldrich) a razón de 4.4 g L⁻¹, suplementado con 30 g L⁻¹ de sacarosa y 2.2 g L⁻¹ de fitagel y ajustado a un pH de 5.8. Se sembraron cinco semillas por frasco y se cultivaron en un cuarto de cultivo a 25 °C de temperatura, un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad y una humedad relativa del 90%. Las semillas se observaron durante 12 días, se evaluaron las siguientes variables: emergencia y tamaño de radícula, documentadas mediante fotografías.

Inducción de callo de *L. montanus* y *L. bilineatus*. Para la inducción de callo se sembraron explantes de raíz, hipocótilo y cotiledón de aproximadamente 1cm de longitud en medio semisólido MS, suplementado con sacarosa (30 g L⁻¹), fitagel (2.2 g L⁻¹), adicionado con

combinaciones de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D, 0.5, 1 y 2 mg L⁻¹) y cinetina (CIN, 0.0, 0.5 y 1 mg L⁻¹). El pH de los medios se ajustó a 5.8. La raíz y el hipocótilo fueron sembrados colocándolos sobre el medio de manera horizontal y para el caso de los cotiledones fueron sembrados con el haz hacia arriba, se colocaron cuatro explantes por frasco, de un total de 8 frascos. Las variables que se evaluaron fueron hinchamiento y formación de callo.

Crecimiento *in vitro* de células desdiferenciadas de *L. montanus* y *L. bilineatus*. Para realizar la cinética de crecimiento, se sembraron 0.25 g de biomasa obtenida de callos sembrados en medio semisólido MS, suplementado con sacarosa (30 g L⁻¹) y fitagel (2.2 g L⁻¹). Los medios de cultivo se ajustaron a un pH de 5.8 y se adicionó la combinación de reguladores que dio la mejor respuesta a la formación de callo para cada especie. Se cosecharon cuatro frascos en los días 0, 3, 7, 11 17 y 21 y se determinaron la biomasa fresca (BF) y biomasa seca (BS). Para la determinación de BF, las muestras fueron filtradas en una malla de 60 micras y se pesaron en una balanza analítica. Para determinar la BS las muestras fueron secadas en un horno a 40 °C por 48 h hasta peso constante y se pesaron en una balanza analítica. Se calculó la velocidad específica de crecimiento y el tiempo de duplicación de acuerdo con las siguientes fórmulas:

Velocidad específica de crecimiento

$$\mu = \frac{\ln X_f - \ln X_o}{t_f - t_o}$$

Tiempo de duplicación

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Donde:

X_f= Biomasa final

X_o= Biomasa inicial

t_f= Tiempo final

t_o= Tiempo inicial

Determinación de AQ. Los AQ fueron extraídos utilizando el protocolo reportado por Ramírez-Betancourt *et al.* (2021) y determinados por cromatografía de capa fina, utilizando como fase móvil ciclohexano (C₆H₁₂) y dietilamina (C₄H₁₁N), las placas fueron documentadas con el equipo Visualizer (CAMAG, Suiza) y el protocolo reportado por Ramírez-Betancourt (2019). Las muestras analizadas se colectaron a los 0, 3, 7, 11 17, y 21 días, correspondientes a la cinética de crecimiento y producción, para el análisis de los AQ las muestras cuatro muestras se unificaron.

RESULTADOS

Germinación de las especies de *Lupinus*

Los resultados muestran que al cuarto día el porcentaje de semillas germinadas fue igual o superior al 70% para ambas especies, 78 y 70% *L. bilineatus* y *L. montanus*, respectivamente, mientras que a partir del día siete el proceso de germinación en el caso de *L. montanus* se estancó en 74%, la germinación de las semillas de *L. bilineatus* continuó incrementando paulatinamente de 78% al 4to día, a 80% en el 5to, 88% al 6to, 92% al 7mo, llegando a 100% en el 12vo día (Figura 1). Tomando en cuenta los reportes sobre germinación de semillas, los resultados sugieren que las condiciones para la germinación de las semillas que se utilizaron para ambas especies de *Lupinus* fueron las adecuadas, ya que ambas tuvieron porcentajes mayores al 70% (Wolny *et al.*, 2018) y fueron mayores a lo reportado por Pablo Pérez *et al.*, (2013) para *L. montanus* (48%).

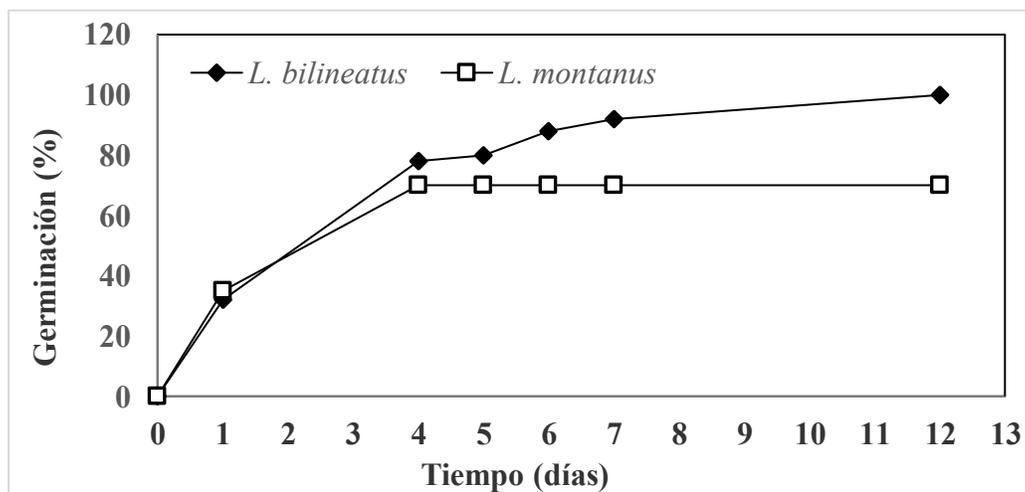


Figura 1. Germinación de *L. bilineatus* y *L. montanus*.
Figure 1. Germination of *L. bilineatus* and *L. montanus*.

Durante el proceso de germinación se realizaron observaciones del desarrollo en ambas especies, desde el inicio hasta el día 12 (Figura 2 y Figura 3). En el caso de *L. bilineatus*, las semillas presentaron una coloración entre amarilla y café con motes oscuros, de acuerdo con lo ya reportado por Ramírez-Betancourt (2019). A partir del día uno (Figura 2B) se observó el rompimiento de la testa, dando inicio al crecimiento radicular (flecha roja) con una coloración amarilla y una longitud aproximada de 0.4 mm. Lo anterior corresponde a lo reportado por Wolny *et al.* (2018), quien define que la germinación de una semilla inicia con la absorción de agua y finaliza cuando la radícula sobresale de la estructura que la cubre, en este caso la testa, así como la emergencia del eje embrionario o radícula (Bewley, 1997). Wolny *et al.* (2018) reportan que durante el proceso de germinación hay tres fases, en la fase I hay una relación muy estricta con la tasa de absorción de agua (imbibición de agua por la semilla seca), hasta llegar a una completa hidratación de la semilla. Posteriormente, en la fase II hay una completa hidratación de la semilla, por lo tanto, ya no hay un requerimiento de agua. Finalmente, se tiene la fase III donde hay un aumento en la absorción del agua y está relacionada con la terminación de la germinación. Lo anterior, correlaciona con lo observado en este trabajo, ya que inicialmente las semillas de ambas especies vegetales mostraron un proceso de hinchamiento referido a la absorción de agua y posteriormente, la emergencia de la radícula, *in stricto sensu*, momento de la germinación. Posteriormente, en el día cuatro se observó un incremento en el crecimiento radicular hasta 5 veces más (llegando a aproximadamente 4.5 cm), adoptando una forma curva (flecha roja) y cambiando a un color crema (Figura 2C). En el día seis la raíz se sumergió en el medio de cultivo y se observó la presencia de vellosidades de aproximadamente 0.2 a 0.5 mm de longitud (flecha negra), además de que se observaron cambios en la coloración de esta, mientras que en la parte superior mostró un tono rosado, en la parte inferior la coloración fue crema (Figura 2D); en esta etapa de crecimiento la raíz presentó una longitud de hasta 7.7 cm. A partir del día siete se observó un crecimiento vertical y la presencia de vellosidades (Figura 2 EFG; flecha negra). En el día 12, continuo el crecimiento y desarrollo de las plántulas sin desprendimiento de la testa (Figura 2HIJK) y en algunos casos se llegaron a observar los cotiledones (Figura 2 IJ), indicados con una flecha roja, de tal forma que, en esta especie vegetal no se observó el desprendimiento de la testa y el desarrollo de las plántulas en su mayoría llegó a una altura de 6.5 cm, al límite superior del frasco Gerber (Figura 2 K).

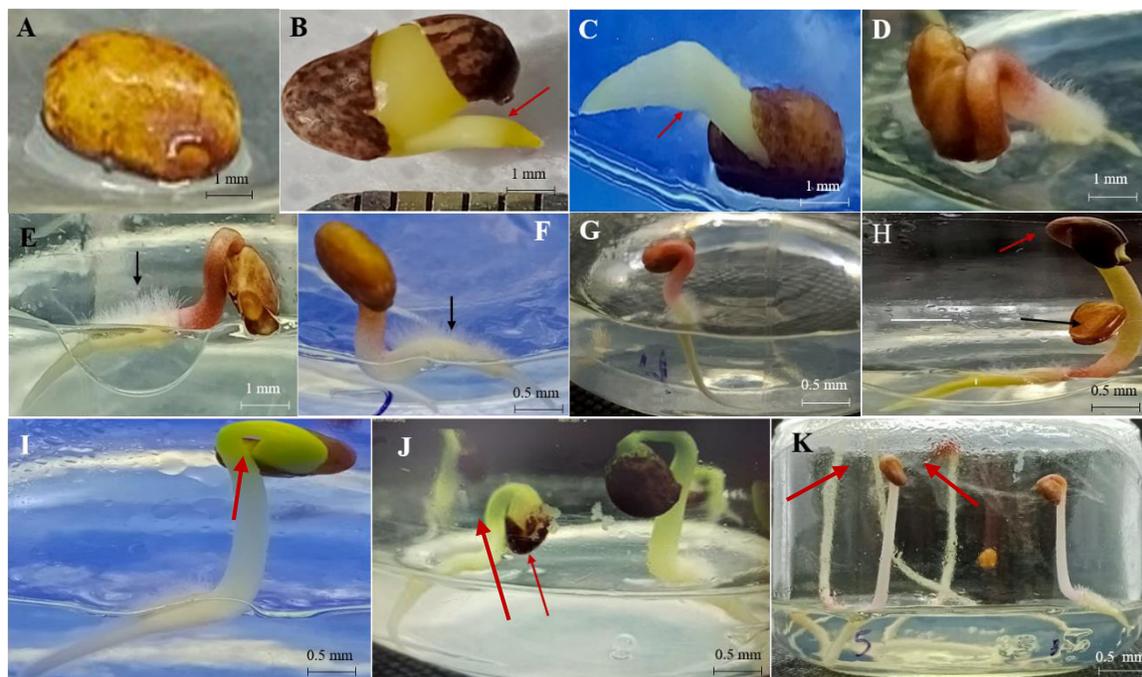


Figura 2. Germinación de semillas de *Lupinus bilineatus* después de 12 días de incubación a $25 \pm 2^\circ\text{C}$. A) Día 1, B) Día 2, C) Día 4, D) Día 6, EFG) Día 7, HIJK) Día 12.

Figure 2. Germination of *Lupinus bilineatus* seeds after 12 days of incubation at $25 \pm 2^\circ\text{C}$. A) Day 1, B) Day 2, C) Day 4, D) Day 6, EFG) Day 7, HIJK) Day 12.

Las semillas de *L. montanus* presentaron una coloración cremosa con pequeños puntos color café (Figura 3A) y un tamaño entre 0.4 y 0.7 mm, las semillas más grandes tardaron hasta dos días en romper la testa; mientras que, en las semillas más pequeñas la radícula se pudo observar a partir del día uno con una longitud de hasta 0.4 cm (Figura 3B). Posteriormente, al día cuatro la radícula llegó a una longitud de hasta 4.5 cm, evidenciando un incremento del 99% respecto al día uno (Figura 3D) y se observó como la radícula se sumergió en el medio de cultivo (flecha roja) buscando un soporte más firme. En el día cinco no hubo un crecimiento evidente de la radícula, sin embargo, se observó el crecimiento de pequeños pelos radiculares de aproximadamente 0.5 mm de longitud (flecha negra, Figura 3E), así como el inicio del desprendimiento de la testa (flecha roja). El crecimiento de la radícula continuó durante los días seis, siete y ocho, hasta alcanzar 3.3 cm de longitud (Figura 3 FGH). El proceso de desprendimiento de la testa continuó durante los días 9, 10 y 11 (Figura 3 IJK) y fue hasta el día 12 cuando la testa se desprendió totalmente, a diferencia de *L. bilineatus*, que mantuvo la testa. Hasta este día 12 las plántulas alcanzaron una longitud aproximada de 9.5 cm. A partir de las plántulas, se realizó la inducción de tejido desdiferenciado (callos).



Figura 3. Germinación de semillas de *L. montanus*. A) 0 día, B) 2 días, C) 3 días, D) 4 días, E) 5 días, F) 6 días, G) 7 días, H) 8 días, I) 9 días, J) 10 días, K) 11 días, L) 12 días.

Figure 3. Germination of *L. montanus* seeds. A) 0 days, B) 2 days, C) 3 days, D) 4 days, E) 5 days, F) 6 days, G) 7 days, H) 8 days, I) 9 days, J) 10 days, K) 11 days, L) 12 days.

Inducción de tejido desdiferenciado a partir de explantes de *L. bilineatus* y *L. montanus*

Con respecto a la respuesta a la inducción de callo utilizando las condiciones mencionadas en materiales y métodos, los resultados muestran que, en cuanto a la combinación de reguladores, *L. bilineatus* presentó mayores porcentajes de inducción de callo con 2,4-D (1 mg mL^{-1}) y Cin (1 mg mL^{-1}), mientras que *L. montanus* con 2,4-D (1 mg mL^{-1}) y Cin (0.5 mg mL^{-1}) (Tabla 2).

Tabla 2. Inducción de tejido desdiferenciado en dos especies de *Lupinus* empleando una combinación de 2,4-D y Cin.

Table 2. Induction of undifferentiated tissue in two *Lupinus* species using a combination of 2,4-D and Cin.

Explante	2,4-D (mg/mL)	Cin (mg/mL)	Respuesta a la formación de callo	
			<i>L. bilineatus</i>	<i>L. montanus</i>
Raíz	0.5	0.5	-	-
	1	0.5	-	+
	2	1	+	-
Cotiledón	0.5	0.5	-	-
	1	0.5	-	-
	2	1	-	-
Hipocótilo	0.5	0.5	-	-
	1	0.5	-	-
	2	1	-	-

La desdiferenciación del tejido inicia con un proceso de hinchamiento, los explantes de raíz de *L. bilineatus* con una combinación de reguladores de crecimiento 2,4-D (1 mg mL^{-1}) y Cin (1 mg mL^{-1}), mostraron una respuesta del 85% de hinchamiento con respecto a 71 y 33% en relación con lo observado con cotiledón y tallo, respectivamente. Como se puede observar con cotiledón, solo cuatro de 17 explantes que pasaron por un proceso de hinchamiento, dieron respuesta a la formación de callo (Tabla 3). Así mismo, cuando se utilizó como explante hipocótilo, de nueve cortes solo el 44% dio respuesta a la formación de callo, contrariamente a lo observado cuando se utilizó raíz, donde el 75% de los explantes dieron respuesta a la formación de callo. Con respecto a *L. montanus* (Tabla 4) con una combinación de reguladores de crecimiento de 2,4-D (1 mg mL^{-1}) y Cin (0.5 mg mL^{-1}), se observó una respuesta de hinchamiento de los explantes del 40%, 100% y 40% con raíz, cotiledón e hipocótilo, respectivamente, obteniendo una mayor respuesta respecto a lo observado con *L. bilineatus*. Así mismo, la mejor respuesta a la formación de callo se dio empleando como explante la raíz (100%). A una semana de haber sembrado los explantes de ambas especies de *Lupinus*, el explante de raíz de *L. bilineatus* mostró formación de callo en el tratamiento de 2,4-D de 2 mg L^{-1} y Cn 1 mg L^{-1} a partir del día 7, mientras que el explante de raíz de *L. montanus* mostró formación de callo hasta el día 11 con una concentración de 2,4-D de 1 mg L^{-1} y Cn 0.5 mg L^{-1} .

Tabla 3. Respuesta de los explantes de *Lupinus bilineatus* al tratamiento para inducción de callo.

Table 3. Response of *Lupinus bilineatus* explants to callus induction treatment.

Explante	No. de explantes	% de cada explante	No. de explantes hinchados	% de explantes hinchados	No. de explantes con callo	% de explantes con callo
Cotiledón	24	100	17	70.8	4	16.7
Raíz	28	100	24	85.7	21	75
Hipocótilo	27	100	9	33.3	4	33.3

Tabla 4. Respuesta de los explantes de *Lupinus montanus* tratamiento para inducción de callo.

Explante	No. de explantes	% de cada explante	No. de explantes hinchados	% de explantes hinchados	No. de explantes con callo	% de explantes con callo
Cotiledón	25	100	10	40	4	16
Raíz	25	100	25	100	25	100
Hipocótilo	25	100	10	40	3	12

En el caso del explante de hipocótilo se observó la emergencia de pequeñas hojas adventicias a la semana de haber sido sembrados, mientras que los explantes de cotiledones experimentaron una elongación, pero no hubo una buena respuesta a la formación de callo (Figura 4B), lo anterior fue observado con ambas especies de *Lupinus*, mientras que el explante de raíz presentó a las dos semanas un proceso de hinchamiento y posteriormente al mes se pudo observar la presencia de callo friable de pigmentación verde y beige (Figura 4E y F) para ambas especies, *L. bilineatus* y *L. montanus*.

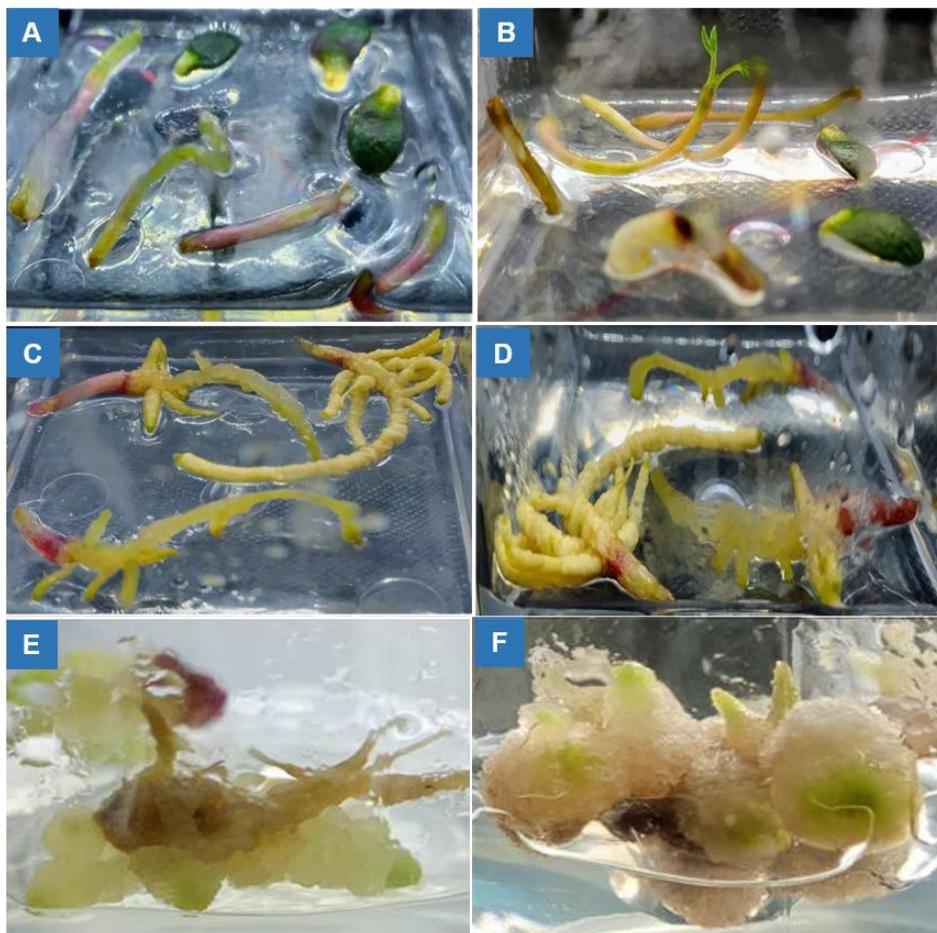


Figura 4. Inducción de tejido desdiferenciado (callo). A) Explantes, hipocótilo, cotiledón, raíz, B) Elongación de algunos explantes, C) Hinchamiento explantes de raíz, D) Inducción de tejido desdiferenciado, con raíz, E) Callo de *L. bilineatus* y F) Callo de *L. montanus*.

Figure 4. Induction of undifferentiated tissue (callus). A) Explants, hypocotyl, cotyledon, root, B) Elongation of some explants, C) Swelling of root explants, D) Induction of undifferentiated tissue, with root, E) Callus from *L. bilineatus*, and F) Callus from *L. montanus*.

Incremento de la biomasa en callos de *L. bilineatus* y *L. montanus*.

El incremento de la biomasa para ambas especies presenta tres fases: la fase lag o de adaptación, que se encuentra desde el día cero al día siete, momento en que inicia la fase exponencial, la cual se alarga hasta el día 21 en ambas especies *L. montanus* y *L. bilineatus*, con una velocidad específica de $\mu = 0.08049 \text{ h}^{-1}$ y 0.0568 h^{-1} y un tiempo de duplicación (td) de 8.60 h y 12.20 h, respectivamente. Los anteriores resultados nos indican diferencias en los parámetros finales μ y td de ambas especies de *Lupinus*. Mientras que en las etapas iniciales y hasta el día 14 el comportamiento de ambas especies similar, 0.0612 y 0.0647 g BS para *L. montanus* y *L. bilineatus*, respectivamente. Posteriormente, en el día 18, ambas especies alcanzaron su pico máximo de crecimiento: *L. montanus* con 0.0931 g BS y *L. bilineatus* con 0.0745 g BS y a partir de este tiempo, ambas iniciaron la fase de muerte.

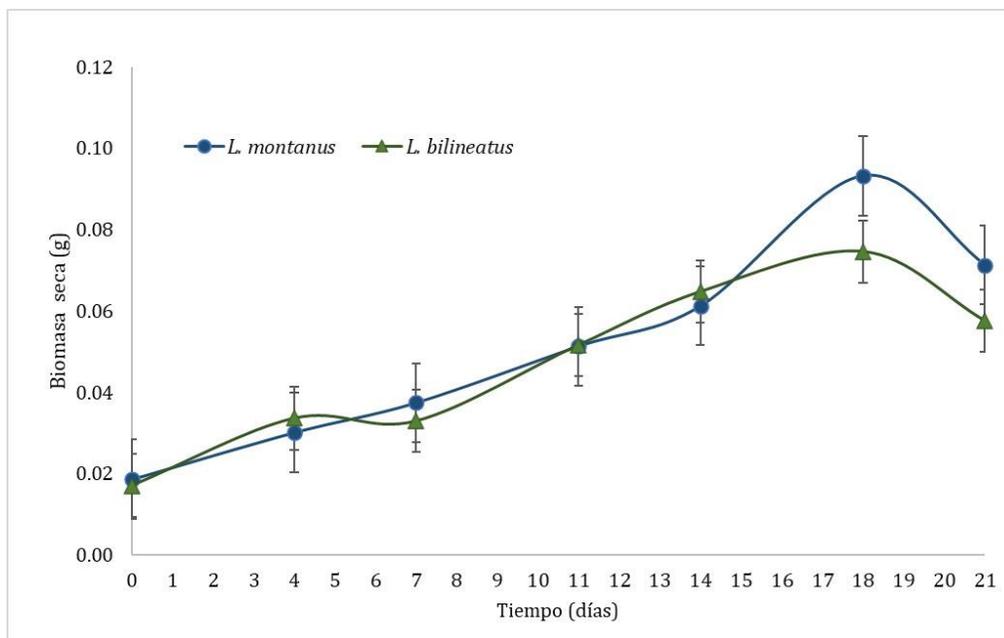


Figura 5. Crecimiento en base a biomasa seca (BS) de callos de ● *L. montanus* y ▲ *L. bilineatus*.
Figure 5. Growth based on dry biomass (DB) of calli from ● *L. montanus* and ▲ *L. bilineatus*.

Producción de alcaloides quinolizidínicos (AQ) en callos

Se determinó la presencia de AQ por cromatografía de capa fina a diferentes tiempos de la cinética de crecimiento de 0, 4, 7, 11, 14, 18 y 21 días (Figura 6). Como se puede observar, en ambas especies durante los primeros días de crecimiento no se detectaron AQ, fue hasta el día 21 que se observó para ambas especies la presencia de AQ.

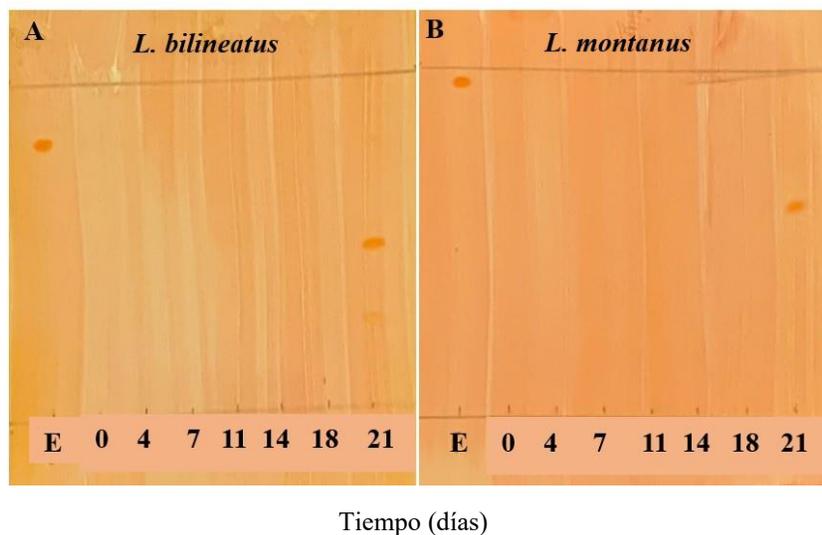


Figura 6. Evidencia de la producción de AQ en callos de *L. bilineatus* (A) y *L. montanus* (B) por cromatografía en capa fina. Las letras E corresponde al estándar de esparteína.

Figure 6. Evidence of the production of alkaloids in calli of *L. bilineatus* (A) and *L. montanus* (B) by thin-layer chromatography. The letter E corresponds to the standard of sparteine.

DISCUSIÓN

Germinación

Durante el proceso de germinación se pudieron observar diferencias importantes. Con *L. montanus* a partir del día cuatro se alcanzó un 70% de germinación, llegando hasta un 74% al día siete, mientras que las semillas de *L. bilineatus* alcanzaron un 100% de germinación al día 12. De acuerdo con lo reportado por Acosta-Percástegui y Rodríguez-Trejo (2005) la temperatura, la luz y la escarificación de las semillas son factores que afectan la germinación. El almacenaje a condiciones de baja temperatura y baja humedad relativa, así como el protocolo de escarificación utilizado (Ramírez Betancourt, 2019) favorecieron la respuesta de germinación de ambas especies, *L. montanus* y *L. bilineatus*. Otros autores reportan porcentajes de germinación menores, Mariel (2006) reporta un 56% de germinación de las semillas de *L. montanus* con escarificación mecánica, mientras que con tratamientos imbibición en agua caliente en semillas de *Lupinus diffusus*, los autores refieren daño grave de los embriones, ya que no emergió ninguna plántula (Dehgan *et al.*, 2003). En este trabajo es posible que las diferencias en el porcentaje de germinación se deban a la especie, la edad de las semillas, la susceptibilidad a los desinfectantes utilizados en el proceso de desinfección, etc. Las semillas de ambas especies fueron caracterizadas físicamente, observándose que ambas presentan testas ornamentadas y de coloración café con manchas oscuras. Ambas especies iniciaron el rompimiento de la testa a los dos días, seguida de la emergencia y crecimiento de la radícula hasta el desarrollo de las plántulas. Una diferencia notable entre las especies estudiadas en el presente trabajo es que las plántulas de *L. bilineatus* aun cuando mostraron la emergencia de los cotiledones no liberaron la testa (Figura 2K), mientras que *L. montanus* libera la testa en la fase de emergencia de los cotiledones, observándose también la emergencia de pelos radiculares (Figura 3E). Posteriormente, a los 11 días se observó como la testa estuvo a punto de ser liberada, sin embargo, no se desprendió totalmente; este comportamiento también ha sido observado en plántulas de *L. bilineatus* en condiciones *ex vitro* (datos no reportados).

Inducción de callo

Para ambas especies, el explante de raíz presentó mayor respuesta a la formación de callo (Figura 4), a diferencia de experiencias anteriores que refieren una mayor inducción de callo para *L. aschenbornii* utilizando hipocótilo con una combinación similar a la que se utilizó en este trabajo para la inducción de callo de *L. montanus* (Montes-Hernández, 2010), mientras que Sator (1985), reportó una alta generación de callo utilizando todas las partes de la planta de las especies de *L. polyphyllus*, *L. hartwegii*, *L. angustifolius* y *L. luteus* cuando se aplican combinaciones de ácido 3-indol-acético (AIA) y 6-bencilaminopurina (BAP) y Ramírez-González (2013) reportó una respuesta del 50% en cuanto a la inducción de callo en la especie de *L. montanus* (HBK), empleando como explante hipocótilo. A partir de las dos semanas se empezó a observar la presencia de tejido desdiferenciado, similar a lo reportado por Montes-Hernández (2010) quien menciona que a partir de los 15 días observó la iniciación de tejido desdiferenciado y al mes se tenía completamente la formación de callo, lo cual fue similar a lo observado en este trabajo para ambas especies. Los anteriores resultados indican un comportamiento similar en *L. bilineatus* y *L. montanus* en cuanto al tipo de explante, el tiempo de respuesta y la pigmentación de los callos, los cuales presentaron una coloración beige y verde (Figura 4E y 4F). En cuanto a la textura, los callos verdes fueron más compactos respecto a los beige, estos últimos presentaron una consistencia más friable, similar a lo reportado por Ramírez-González (2013) para los callos generados con *L. montanus*, los cuales presentaron estructura compacta y una coloración verde.

Incremento de biomasa en callos

Respecto a la cinética de crecimiento de ambas especies *L. bilineatus* y *L. montanus*, ambas presentaron un crecimiento similar hasta el día 14, donde *L. bilineatus* llegó a la fase estacionaria y decayó a la fase de muerte, mientras que *L. montanus* continuó en la fase estacionaria (Figura 4A). Caso contrario a lo reportado por Montes-Hernández (2010), este autor reporta para *L. aschenbornii* una fase exponencial de 7 a 14 días y una prolongada fase

estacionaria de 6 días y con una biomasa final de 4.6 gPF/L. Esto último similar a lo obtenido en este trabajo con *L. bilineatus*. Con respecto a *L. montanus*, se obtuvieron 5.24 veces más biomasa partiendo de 0.25 g (inóculo) con respecto a lo generado con *L. aschenbornii*. Con respecto a la biomasa seca, fue mayor con *L. montanus* (0.0931 g) respecto a *L. bilineatus* (0.0745 g). Es importante mencionar que no existen muchos reportes respecto a la generación de tejido desdiferenciado y al comportamiento en una cinética de crecimiento y producción, lo cual se reporta en este trabajo.

Producción de alcaloides

La presencia de alcaloides solo pudo ser detectada hasta el día 21. Lo anterior podría coincidir con lo reportado por Montes-Hernández (2010) para *L. aschenbornii*, que indica que la producción de AQ en cultivos en suspensión es dos a tres magnitudes menor que en hoja o semilla de planta silvestre. Aunque también puede deberse a la baja sensibilidad y baja especificidad para algunos AQ del reactivo de Dragendorff (Zhang *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Se obtuvieron altos porcentajes de germinación para las semillas de ambas especies, *L. bilineatus* (100%) y *L. montanus* (74%).

El explante que dio una mejor respuesta para la inducción de callo en ambas especies fue la raíz a una relación de reguladores de crecimiento de 2 mg L⁻¹ de 2,4-D y 1 mg L⁻¹ de CIN para *L. bilineatus* y para *L. montanus* 1 mg L⁻¹ de 2,4-D y 0.5 mg L⁻¹ de CIN.

La cinética de crecimiento presentó un comportamiento similar para ambas especies, con tres fases evidentes: la fase lag o de adaptación, la fase exponencial y la fase de senescencia.

La producción de AQ se detectó para ambas especies en el día 21.

La utilización de estos protocolos de germinación, inducción de callo y la realización de las cinéticas de crecimiento ofrecen una alternativa para la producción de metabolitos secundarios de gran importancia como son los AQ.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Percástegui, J., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2005). Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* SEEDS. *Interciencia*, 30(9), 576–579.
- Bermúdez Torres, K., Robledo Quintos, N., Martínez Herrera, J., Tei, A., & Wink, M. (1999). Alkaloid profiles of leaves and seeds of *Lupinus aschenbornii* Schauer from Mexico. In E. van Santen, M. Wink, S. Weissmann, & P. Roemer (Eds.), “*Lupin, an ancient Crop for the new millenium*” *Proceedings 9th international lupin conference* (pp. 301–305). International Lupin Association.
- Bermúdez-Torres, K., Figueroa Brito, R., & Michi Flores, R. S. (2017). *Extracto para el control de plagas de Aedes aegypti* (Patent MX/a/2017/015640).
- Bermúdez-Torres, K., Martínez Herrera, J., Figueroa Brito, R., Wink, M., & Legal, L. (2009). Activity of quinolizidine alkaloids from three Mexican *Lupinus* against the lepidopteran crop pest *Spodoptera frugiperda*. *BioControl*, 54(3), 459–466. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9180-y>
- Bewley, J. Derek. (1997). Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell*, 9, 1055–1056. <https://academic.oup.com/plcell/article/9/7/1055/5986415>
- Clements, J. C., Dracup, M., Buirchell, B. J., & Smith, C. G. (2005). Variation for seed coat and pod wall percentage and other traits in a germplasm collection and historical cultivars of lupins. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(1), 75–83.

- Dehgan, B., Norcini, J. G., Kabat, S. M., & Pérez, H. E. (2003). Effect of Seed Scarification and Gibberellic Acid Treatment on Seedling Emergence of Sky-Blue Lupine (*Lupinus diffusus*). *Journal of Environmental Horticulture*, 21(2), 64–67.
- Domínguez, R., Bermúdez, R., Pateiro, M., Lucas-González, R., & Lorenzo, J. M. (2023). Optimization and Characterization of Lupin Protein Isolate Obtained Using Alkaline Solubilization-Isoelectric Precipitation. *Foods*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/foods12203875>
- Eastwood, R. J., Drummond, C. S., Schifino-Wittmann, M. T., & Hughes, C. E. (2008). Diversity and evolution history of *Lupinus*-insights from new phylogenies. In J. A. Palta & J. B. Berger (Eds.), “*Lupins for Health and Wealth*” *Proceedings 12th international lupin conference* (pp. 346–354). International Lupin Association.
- García López, P. M., De La Mora, P. G., Wysocka, W., Maiztegui, B., Alzugaray, M. E., Del Zotto, H., & Borelli, M. I. (2004). Quinolizidine alkaloids isolated from *Lupinus* species enhance insulin secretion. *European Journal of Pharmacology*, 504(1–2), 139–142. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2004.09.008>
- Gladstones, J. S. (1998). Distribution, origin, taxonomy, history and importance. In J. S. Gladstones, C. Atkins, & J. Hamblin (Eds.), *Lupins as crop plants; Biology, production and utilization* (pp. 1–4). CABI International.
- Mariel Valdez, O. J. (2006). *Evaluación de un método para la desinfestación y germinación de semillas de Lupinus montanus H.B.K* [Tesis de Técnico Superior Universitario]. Universidad Tecnológica de Tecámac.
- Michi Flores, R. S. (2016). *Efecto de extractos de alcaloides quinolizidínicos sobre larvas de Aedes aegypti*. Instituto Politécnico Nacional.
- Montes-Hernández, E. (2010). *Perfil de alcaloides quinolizidínicos en plantas y cultivos in vitro de Lupinus aschenbornii Shauer* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico.
- Ramírez-Betancourt, A. P. (2019). *Perfiles de alcaloides quinolizidínicos en etapas tempranas del desarrollo de Lupinus aschenbornii S. Schauer, L. bilineatus Benth y L. montanus Kunth* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional.
- Ramírez-Betancourt, A., Hernández-Sánchez, A. M., Salcedo-Morales, G., Ventura-Zapata, E., Robledo, N., Wink, M., & Bermúdez-Torres, K. (2021). Unraveling the biosynthesis of quinolizidine alkaloids using the genetic and chemical diversity of Mexican lupins. *Diversity*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/d13080375>
- Ramírez-González, G., Rodríguez-de La O, J. L., Arreola-Ávila, J. G., & Álvarez-Moctezuma, J. G. (2013). Morphogenic responses of three explants of *Lupinus montanus* (H.B.K.) cultured *in vitro*. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(1), 17–27. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.07.022>
- Regla, I., López-Ortiz, M., Jiménez, O., Hernández-Ortega, S., Ramírez-Betancourt, A., & Bermúdez-Torres, K. (2019). Sustainable Process for Sparteine Sulfate Preparation. *Organic Process Research and Development*, 23(11), 2567–2570. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.9b00379>
- Reyes-Izquierdo, L. (2013). *Efecto biológico de cultivos desarrollados in vitro de Lupinus campestris inducidos con metil jasmonato sobre Spodoptera frugiperda*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ruiz-López, M. A., García-López, P. M., Rodríguez-Macias, R., Zamora Natera, J. F., Isaac-Virgen, M. L., & Múzquiz, M. (2010). Mexican wild lupines as a source of quinolizidine alkaloids of economic potential. *Polibotánica*, 29, 159–164.
- Sator, C. (1985). Studies on shoot regeneration of lupins (*Lupinus* spp.). *Plant Cell Reports*, 4, 126–128.
- Sousa, S. M., & Delgado, S. A. (1998). Leguminosas mexicanas: fitogeografía, endemismo y orígenes. In T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución* (pp. 449–500). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wink, M. (1993). Quinolizidine alkaloids. In P. C. Waterman (Ed.), *Methods in plant biochemistry* (Vol. 6, pp. 197–2039). Academic Press.

Recibido:

7/septiembre/2023

Aceptado:

15/enero/2024

- Wink, M., Meissner, C., & Witte, L. (1995). Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry*, 38(1), 139–153.
- Wolny, E., Betekhtin, A., Rojek, M., Braszewska-Zalewska, A., Lusinska, J., & Hasterok, R. (2018). Germination and the early stages of seedling development in brachypodium distachyon. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijms19102916>
- Zhang, N., Wang, M., Li, Y., Zhou, M., Wu, T., & Cheng, Z. (2021). TLC–MS identification of alkaloids in Leonuri Herba and Leonuri Fructus aided by a newly developed universal derivatisation reagent optimised by the response surface method. *Phytochemical Analysis*, 32(3), 242–251. <https://doi.org/10.1002/pca.2970>

**COMPUESTOS FENÓLICOS,
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y
ACTIVIDAD ANTIHIPERTENSIVA DE
MEMBRILLO (*Cydonia oblonga* Miller)
CULTIVADO EN ZACATECAS**

**PHENOLIC COMPOUNDS,
ANTIOXIDANT CAPACITY AND
ANTIHYPERTENSIVE ACTIVITY OF
QUINCE (*Cydonia oblonga* Miller)
HARVESTED IN ZACATECAS**

Aguayo-Rojas, J.; S. Mora-Rochín, X. Tovar-Jiménez; R.O. Navarro-Cortez; M. Valdez-Morales y J.L. Ayala-Lujan

COMPUESTOS FENÓLICOS, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD ANTIHIPERTENSIVA DE MEMBRILLO (*Cydonia oblonga* Miller) CULTIVADO EN ZACATECAS

PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITY AND ANTIHYPERTENSIVE ACTIVITY OF QUINCE (*Cydonia oblonga* Miller) HARVESTED IN ZACATECAS



**Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y actividad antihipertensiva de membrillo
(*Cydonia oblonga* Miller) cultivado en Zacatecas**

**Phenolic compounds, antioxidant capacity and antihypertensive activity of quince
(*Cydonia oblonga* Miller) harvested in Zacatecas**

Aguayo-Rojas, J.;
S. Mora-Rochín;
X. Tovar-Jiménez;
R.O. Navarro-Cortez;
M. Valdez-Morales y
J.L. Ayala-Lujan

COMPUESTOS FENÓLICOS,
CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE Y
ACTIVIDAD
ANTIHIPERTENSIVA DE
MEMBRILLO (*Cydonia
oblonga* Miller) CULTIVADO
EN ZACATECAS

PHENOLIC COMPOUNDS,
ANTIOXIDANT CAPACITY
AND ANTIHYPERTENSIVE
ACTIVITY OF QUINCE
(*Cydonia oblonga* Miller)
HARVESTED IN
ZACATECAS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 199-212. Enero 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.57.12

Jesús Aguayo-Rojas / jesus_aguayo@uaz.edu.mx

*Universidad Autónoma de Zacatecas, Químico en Alimentos/Biotecnología,
Carretera Zacatecas-Guadalajara Km 6, La Escondida. Zacatecas, Zacatecas, México.
CP. 98160. Fax: (492) 7169647*

S. Mora-Rochín / smora@uas.edu.mx

*Universidad Autónoma de Sinaloa,
Boulevard de las Américas S/N, Col. Universitaria. Culiacán, Sinaloa,
México. CP. 80000., Fax: (667) 7137860*

X. Tovar-Jiménez / xtovar@upp.edu.mx

*Universidad Politécnica de Pachuca
Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara
Zempoala, Hidalgo, México. CP. 43830., Fax: (771) 5477510*

R.O. Navarro-Cortez / ronc2584@gmail.com

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Rancho Universitario, Avenida Universidad Km. 1, Ex-Hacienda de Aquetzalpa
Tulancingo, Hidalgo, México. CP. 43600. Fax: (771) 7172000*

Maribel Valdez-Morales / maribelvaldez47@hotmail.com

*CIIDIR-Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional
Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250 Col. San Joachin. CP. 81100
Guasave, Sinaloa, México., Fax: (687) 8729626*

J.L. Ayala-Lujan

*Universidad Autónoma de Zacatecas, Químico en Alimentos/Biotecnología,
Carretera Zacatecas-Guadalajara Km 6, La Escondida. Zacatecas,
Zacatecas, México. CP. 98160.*

RESUMEN: Las frutas contienen niveles altos de compuestos biológicamente activos que imparten beneficios a la salud, Zacatecas ocupa los primeros lugares en producción de membrillo a nivel nacional. El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido y el perfil de compuestos fenólicos, así como las propiedades antioxidante y antihipertensiva del membrillo cultivado en Zacatecas. Se realizaron extractos metanólicos para evaluar la capacidad antioxidante y se determinó por los métodos DPPH y ABTS. La actividad antihipertensiva fue evaluada mediante la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina I, presentando una inhibición del 45% y el perfil de compuestos fenólicos se determinó por HPLC-DAD. El contenido de flavonoides y taninos fue de 422 y 250 mg equivalentes de catequina/100 g (bs), respectivamente; para fenólicos totales fue de 122 mg equivalentes de ácido gálico/100 g (bs) y para cumarinas de 46 mg equivalentes de cumarina/100 g (bs). En cuanto a la capacidad antioxidante, se obtuvieron niveles de 6,853 y 11,050 μmol equivalentes de Trolox/100 g (bs) para DPPH y ABTS, respectivamente. Se identificaron cuatro flavonoides: catequina, quercetina, rutina y mericetina y dos ácidos fenólicos ferúlico y sinápico, estos compuestos fenólicos pueden ser los responsables de los beneficios a la salud del membrillo.

Palabras clave: Fitoquímicos, capacidad antioxidante, actividad antihipertensiva, flavonoides.

ABSTRACT: Fruits contain high levels of biologically active compounds that impart health benefits, Zacatecas occupies the first places in quince production nationwide. The objective of the present study was to evaluate the content and profile of phenolic compounds, as well as to the antioxidant and antihypertensive of quince harvested in Zacatecas. Methanolic extracts were made to evaluate the antioxidant capacity and it was determined by the DPPH and ABTS methods. The antihypertensive activity was evaluated by means of the inhibition of the angiotensin converting enzyme I, presenting an inhibition of 45%, and the phenolic compounds profile was determined by HPLC-DAD. The flavonoid and tannin content were 422 and 250 mg of catechin equivalents/ 100 g (db), respectively; for total phenolics it was 122 mg of gallic acid equivalents/ 100 g (db) and for coumarins 46 mg of coumarin equivalents/100 g (db). Regarding antioxidant capacity, levels of 6,853 and 11,050 μmol Trolox equivalents/100 g (db) were obtained for DPPH and ABTS, respectively. Four flavonoids catechin, quercetin, rutin and myricetin and two phenolic acids ferulic and sinapic were identified, these phenolic compounds may be responsible for the health benefits of quince.

Key words: Phytochemicals, antioxidant capacity, antihypertensive activity, flavonoids.

INTRODUCCIÓN

Frutas, vegetales y plantas son fuentes ricas en compuestos químicos con el potencial de prevenir enfermedades crónicas, el valor medicinal de las plantas y frutas radica en las sustancias químicas contenidas en ellas, que producen una determinada acción fisiológica en el cuerpo humano (Al-matani, Said Al-Wahaibi & Amzad-Hossain, 2015). La hipertensión es uno de los mayores factores de riesgo asociados con la mortalidad en todo el mundo, que representa más de la mitad de todos los casos de las enfermedades cardiovasculares (Bhagani, Kapil & Lobo, 2018). La inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) es un importante enfoque terapéutico empleado en el tratamiento de la presión arterial alta. Esta enzima es una metalopeptidasa dependiente de zinc que convierte la angiotensina I en angiotensina II (octapéptido vasoconstrictor), por lo que aumenta la presión arterial. La ECA también promueve la degradación de la bradicinina que funciona como un vasodilatador y regula el estrés oxidativo (Chakraborty & Roy, 2021). Los fitoquímicos con potencial antioxidante contenidos en frutas, como los compuestos fenólicos, brindan efectos protectores a la salud, ya que tienen la capacidad de reducir las consecuencias del estrés oxidativo, que originan el desarrollo de enfermedades como la hipertensión y el proceso de envejecimiento (Álvarez-Suarez *et al.*, 2014; Rocha da Costa *et al.*, 2023). El membrillo (*Cydonia oblonga* Miller) es una fuente importante de compuestos con efectos positivos a la salud, debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas, anticarcinogénicas y antiulcerosas (Stojanovic *et al.*, 2017). Los frutos de membrillo no son muy apreciados plenamente como productos frescos debido a su dureza, lo fibroso de la pulpa, amargor y sobre todo por su astringencia, pero una vez maduros son muy demandados para la elaboración de mermeladas, jaleas y licores (Szychowski, *et al.*, 2018). En México su producción supera las cinco mil 100 toneladas, siendo Durango, Jalisco, y Zacatecas los líderes productores, en conjunto concentran el 77 por ciento del total nacional (SIAP, 2021). Por lo tanto el objetivo fue cuantificar e identificar el contenido de compuestos fenólicos del membrillo cultivado en Zacatecas y analizar su potencial hipertensivo, ya que no se ha realizado anteriormente, esto proporcionara datos para su posible uso industrial, empleándolo como harina funcional, es importante identificar frutas que podrían ser una fuente importante de metabolitos para el desarrollo de fármacos (antioxidante y antihipertensivos) o alimentos nutraceuticos y así cumplir los deseos del consumidor a través de frutas con beneficios para la salud

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos maduros de membrillo (*Cydonia oblonga* Miller) de un productor local fueron colectados en el municipio de Rio Grande, Zacatecas, México (23° 49' 2" N 103° 02' 10" O) en el mes de septiembre 2020. Las condiciones climáticas son semiárido cálido, con una temperatura media anual de 17.1 °C, con una altura de 1857 m. s. n. m., el material vegetal se cortó en rodajas y se deshidrató en un horno forzado hasta alcanzar una humedad del 15% (Precision DN Instruments, Model -43) a 35°C por 48 h, la humedad se determinó de acuerdo al método 925.098, de la AOAC (1999). Los frutos secos fueron molidos (UD Cyclone Sample Mill, UD Corp., Boulder, CO) hasta pasar por una malla 80-US (0.180 mm), y empacados en bolsas de plástico. La harina resultante contenía todas las partes anatómicas del fruto, pulpa y cáscara con excepción de las semillas. La harina obtenida fue almacenada en bolsas de polietileno con sello hermético a -20 °C y en oscuridad para evitar la degradación de fitoquímicos.

Extracción de fitoquímicos

La fracción libre que no está unida a la pared celular de fitoquímicos en membrillo fue extraída de acuerdo con Adom & Liu (2002). Se pesaron 0.5 g de harina y se mezclaron con 10 mL de metanol al 80% (80:20, v/v); esta suspensión se homogenizó en un agitador rotatorio (OVAN noria R, EUA, 2010) por 10 min, y fue centrifugada a 3000 x g a 10 °C durante 10 min. El sobrenadante se colocó en tubo nuevo y se concentró al vacío a 35 °C (Speed Vac Concentrator, Thermo Electron Corporation) hasta alcanzar un volumen final de 2 mL.

Determinación de flavonoides

En una placa de 96 celdas, se agregaron 20 µL del extracto, se agregaron 80 µL de agua destilada y 6 µL de NaNO₂ al 5% (p/v) y se dejó reposar por 5 minutos. Posteriormente fueron adicionados 12 µL de AlCl₃ al 10% (p/v), 10 µL de NaOH 1M y 20 µL de agua destilada. Después de 30 min de reposo la absorbancia fue determinada a 510 nm (Synergy TM HI, Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT, EUA), se empleó catequina (25 ppm a 300 ppm) como estándar (99%, Sigma Chemical Co.) y el contenido de flavonoides fue expresado como mg equivalentes de catequina (mg EC)/100 g de muestra en base seca (bs), esto al restar la humedad de la harina, las determinaciones se realizaron por triplicado (Adom & Liu, 2002).

Determinación de taninos condensados

Debido a su estructura polimérica y para su mejor extracción, ya que se tienen que separar de la pared celular y fraccionar la molécula polimérica, esto se aclara en el apartado de discusión, no se emplearon los extractos de fitoquímicos obtenidos anteriormente. 1 g de harina de membrillo se mezcló con 10 ml de acetona (80:20, v/v). A 20 µL de este extracto, se adicionaron 1200 µL de una solución de vainillina al 4% (p/v) en metanol (99.5%) y 600 µL de HCl concentrado, se dejaron en reposo durante 15 min a temperatura ambiente. Se empleó catequina (50 µg/ml a 1000 µg/ml) como estándar (99%, Sigma Chemical Co.) y se midió la absorbancia a 500 nm (Synergy TM HI, Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT, EUA). Los resultados se calcularon y expresaron como mg equivalentes de catequina (mg EC)/100 g (bs). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Xu & Chang, 2007).

Determinación de Cumarinas

Las cumarinas son un compuesto sólido y cristalino con una temperatura de fusión de 69 a 73 °C, por lo que es importante no emplear altas temperaturas, en su extracción y sobre todo cuando se fabrican harinas de los frutos de donde se obtienen (Santos & Silva, 2008), en nuestro caso la temperatura empleada para la elaboración de la harina de membrillo fueron 35 °C. Para determinar el contenido de cumarinas, en las harinas de membrillo, se mezclaron 24 mg de harina en 50 mL de una solución metanol/agua (80:20). Una segunda dilución se realizó tomando una alícuota de 8 mL de la solución stock en 25 mL de la solución metanol/agua (80:20), obteniendo una concentración final teórica de 153.6 µg/mL. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (Synergy HT, Biotek Instrument), a una longitud de onda de 275 nm.

Se preparó una curva de calibración tomando como estándar de cumarina, la 2H-1-benzopirano-2-ona de Fluka (Sigma-Aldrich) y los resultados fueron expresados como mg equivalentes de cumarina (mg ECU)/100 g (bs), las mediciones se realizaron por triplicado (Soares e Silva *et al.*, 2012).

Determinación de compuestos fenólicos totales

En una placa de 96 celdas, se agregaron 20 μ L del extracto. Se mezclaron con 180 μ L del reactivo de Folin Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), la reacción se neutralizó con 50 μ L Na_2CO_3 al 7% y posteriormente se dejó reposar por 90 min. Se empleó ácido gálico como estándar (Sigma Chemical Co.) y se midió la absorbancia a 750 nm (Synergy TM HI, Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT, EUA), el contenido de fenólicos totales fue expresado como mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG)/100 g (bs), las determinaciones se realizaron por triplicado (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999).

Determinación del perfil de compuestos fenólicos

La determinación del perfil de compuestos fenólicos en el extracto metanólico fue realizada con un cromatógrafo de líquidos de alta resolución Dionex UltiMate 3000 acoplado a un detector de arreglo de fotodiodos DAD3000(RS) (Thermo Scientific) (HPLC-DAD), equipado con una bomba cuaternaria de titanio (LPG-3400AB), un muestreador automático (WPS3000TBPL) y un horno para columna (Thermo Scientific). La separación fue realizada empleando una columna analítica Acclaim 120 A (C18, 5 μ m, 120 Å, 4.6 \times 250 mm), de Dionex (Thermo Fisher Scientific), a temperatura ambiente. La elución de los ácidos fenólicos y flavonoides fue realizada con el siguiente gradiente: agua acidificada con ácido acético (pH 2.8) (A) y acetonitrilo (B). El gradiente inicia con 95% A, de 0 a 8 min; 6 a 12% B, de 8 a 14 min; 12 a 20% B, de 14 a 18 min; 20 a 35% B, de 18 a 24 min; 35 a 95% B, de 24 a 27 min; 95 a 60% B, de 27 a 31 min; 60 a 40% B, de 31 a 34 min; 40 a 20% B, de 34 a 38 min; and, 20 a 5% B, de 38 a 45 min. Las longitudes de onda establecidas fueron 260, 270, 275, 280, 285, 290, 295, y 300 nm, se emplearon estándares certificados de cada uno de los compuestos fenólicos identificados (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany) (Valdez Morales, *et al.*, 2014).

Evaluación de la actividad antioxidante

Se empleó el método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), adaptado para celdas. Se mezclaron 20 μ L del extracto con 200 μ L de la solución de DPPH (Sigma Chemical Co.) en una placa de 96 celdas. Se incubó por 30 minutos. La absorbancia fue determinada a 540 nm (Synergy TM HI, Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT, EUA). La actividad antirradical fue expresada como μ mol equivalentes de Trolox (Sigma Chemical Co.) (μ mol ET)/100 g (bs). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Cardador-Martínez, Loarca-Piña, & Ooman, 2002). La actividad antirradical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico) se llevó a cabo de acuerdo con Re, Pellegrini, Proteggente, Yang, & Rice-Evans (1999). A 1980 μ L de la dilución (3.5 mM, pH 7) del radical ABTS•+ (Sigma Chemical Co.) se le añadieron 20 μ L de extracto de fitoquímicos y se incubaron 15 min en oscuridad para posteriormente medir la absorbancia a 735 nm (Synergy TM HI, Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT, EUA). Para ambos métodos se construyó una curva estándar de Trolox (0-125 μ M) y la actividad antirradical fue expresada como μ mol equivalentes de Trolox (ET)/100 g (bs) y las determinaciones se realizaron por triplicado.

Actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina

Se midió la actividad de 0.05 mL (0.025 U/mL) de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) frente a su sustrato, Hipuril-L-Histidil-L-Leucina (Sigma Chemical Co.) a una concentración de 0.3% (p/v). Bajo las mismas condiciones se realizó la medición de la actividad de la ECA adicionando enalapril, a una concentración de 0.4% (p/v) como control positivo, para inhibir la actividad de la ECA. Para evaluar la propiedad inhibitoria de membrillo se utilizó una concentración de los extractos de 0.2% (p/v) en un buffer de fosfatos PBS (400 mM, pH 8.5). Durante el procedimiento se realizó una incubación de la enzima con su sustrato a 37 °C por 30 minutos y según era el caso, con los inhibidores (enalapril o extracto de membrillo);

Hubo modificación a la técnica original, donde la reacción fue detenida con 0.25 ml de HCl 1M. Posteriormente se realizó una extracción del producto de la actividad enzimática, el ácido hipúrico, con 1.0 mL de acetato de etilo, seguido de la evaporación del exceso de acetato de etilo; este producto se disolvió en 1.5 mL de agua destilada y se determinó su absorbancia a una longitud de onda de 228 nm (Wang, Saito, Tatsumi, & LI, 2003). La actividad de inhibición de la ECA se expresó como % inhibición de la ECA y se calcula como sigue:

$$\% \text{ Inhibición} = (\text{Absorbancia control} - \text{Absorbancia muestra}) / (\text{Absorbancia control}) \times 100$$

Análisis estadístico

Cada una de las determinaciones se realizó por triplicado. Los resultados son reportados como la media y desviación estándar.

RESULTADOS

Compuestos fenólicos en los extractos de membrillo

En el presente estudio el contenido de flavonoides determinado en membrillo fue de 422 ± 4 mg EC/100 g (bs) y taninos de 250 ± 8 mg EC/100 g (bs). El contenido total de fenólicos obtenidos en membrillo fue de 122 ± 10 mg EAG/100 g (bs) y de cumarinas de 46 ± 2 mg ECU/100 g (bs). Por HPLC-DAD se detectaron 4 tipos de flavonoides catequina (534.02 $\mu\text{g/g}$), rutina (4,811.11 $\mu\text{g/g}$), quercetina (924.20 $\mu\text{g/g}$) y miricetina (35.51 $\mu\text{g/g}$) y 2 tipos de ácidos fenólicos diferentes, ferúlico (610.32 $\mu\text{g/g}$) y sinápico (653.92 $\mu\text{g/g}$), siendo la rutina el compuesto fenólico que se encontró en mayor cantidad.

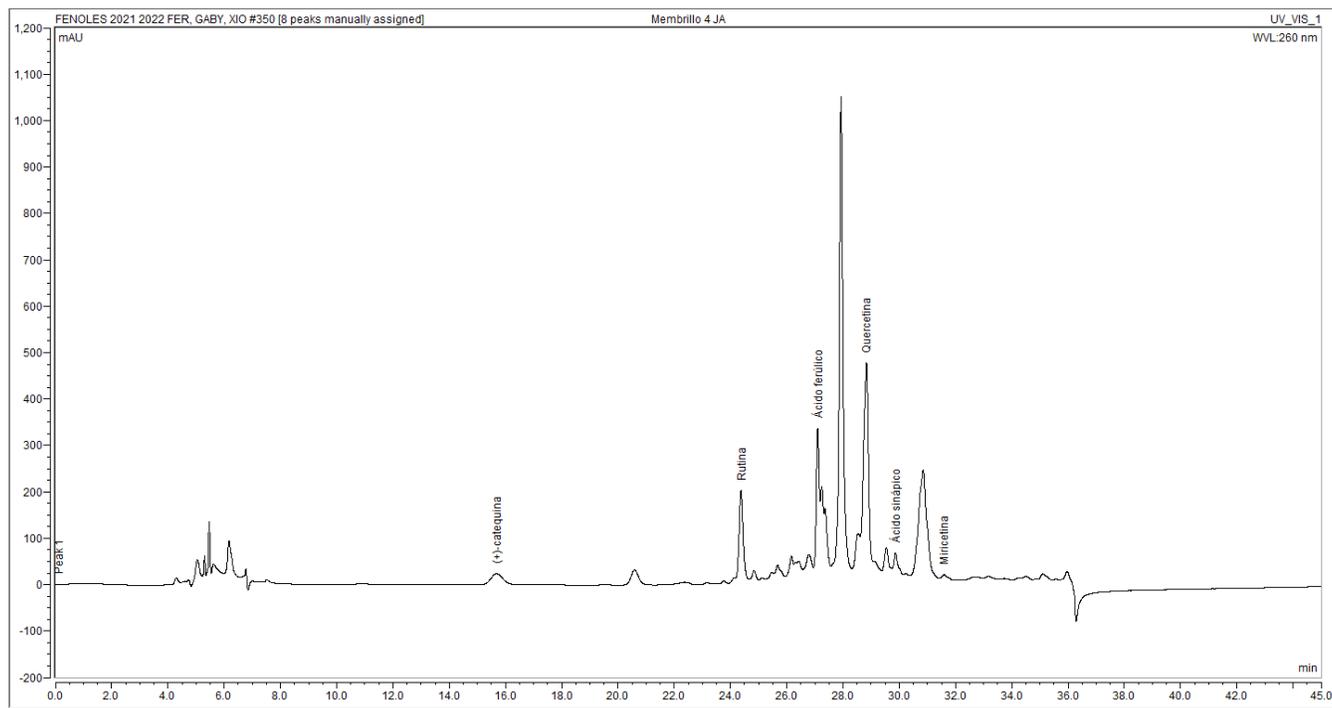


Figura 1. Cromatograma HPLC de los compuestos fenólicos del extracto metanólico de membrillo.
Figure 1. HPLC Chromatogram of the phenolic compounds in the methanolic extract of quince (*Cydonia oblonga* Miller).

Actividad antioxidante

Los valores de actividad antioxidante en membrillo obtenidos en esta investigación por DPPH y ABTS fueron $6,853 \pm 178$ y $11,040 \pm 151$ $\mu\text{mol ET}/100$ g, respectivamente.

Actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina (ECA)

El extracto metanólico de membrillo logró una inhibición de la ECA del $45 \pm 0.5\%$, no existen estudios científicos que señalen el efecto del membrillo sobre la ECA.

DISCUSIÓN

En el caso de pulpa y en cáscara de membrillo se han reportado contenidos de flavonoides en un rango de 17.28 a 44.65 y de 41.23 a 63.41 mg EC/100 g, respectivamente. Y en mezclas de cáscara y pulpa como en esta investigación en un rango de 119.8 a 211.5 mg EC/100 g, es importante tener en cuenta que los flavonoides representan un porcentaje considerable, en el contenido total de compuestos fenólicos presentes en membrillo, con un intervalo del 24% al 33% (Karadeniz, Burdurlu, Koca & Soyer, 2005; Stojanovic *et al.*, 2017). Los valores reportados en este estudio son mayores, que lo reportado por otros investigadores, estas diferencias podrían ser atribuidas por el área de cultivo, el tiempo de cosecha, las condiciones climáticas, además de la variedad y al estado de maduración. Conforme avanza la maduración, la cantidad de los flavonoides disminuye, esto puede ser atribuido a la condensación de diferentes ácidos fenólicos en los últimos estados de maduración, formando algunos complejos fenólicos con taninos y la lignina (Ben Ahmed, Ben Rouina, Sensoy & Boukhriss, 2009).

Los flavonoles están acumulados en la capa externa del tejido de la cutícula, debido a la luz se estimula su biosíntesis. En este trabajo se identificaron tres flavonoles, el glucósido rutina>quercetina>miricetina. Una importante diferencia en su concentración existe entre los diferentes tipos de frutas, dependiendo del grado de exposición a la luz del sol (Stojanovic *et al.*, 2017). Este efecto es benéfico para la salud humana, ya que la quercetina tiene una fuerte actividad antioxidante y puede proteger el organismo de radicales libres dañinos (Szychowski *et al.*, 2018).

Los polifenoles presentes en membrillo incluyen a los flavan-3-oles como la catequina que también se identificó, que junto con la miricetina fueron los compuestos fenólicos que se encontraron en menor cantidad en el extracto. Se ha tenido especial interés en los flavonoles, ya que son los responsables del color del fruto y en los taninos, debido a su fuerte actividad antioxidante (Wojdyło, Oszmian' ski & Bielicki, 2013). Los taninos son definidos usualmente como compuestos fenólicos con un alto grado de polimerización y se encuentran normalmente tanto en la pulpa como en la cáscara.

Las procianidinas poliméricas, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles representan el 63%, 36% y 1% del total de compuestos fenólicos en membrillo, sin embargo, sus contenidos, son fuertemente dependientes del tipo de cultivo (Wojdyło, Teleszko & Oszmianski, 2014). No existen reportes del contenido total de taninos en membrillo, por métodos espectrofotométricos, pero se han reportado valores del contenido de procianidinas poliméricas, determinadas por HPLC en otras variedades de membrillo, obteniendo datos de 4900 a 5600 mg/100 g, de este compuesto (Teleszko & Wojdyło, 2015).

En otras frutas como kiwi, arándanos y durazno se han reportado valores de taninos de 240 a 597 mg EC/100 g (bs) (McDougall, Kulkarni & Stewart, 2009; Park *et al.*, 2011; Belhadj *et al.*, 2016; Aguayo-Rojas, Mora-Rochín, Tovar-Jiménez, Rochín-Medina, & Navarro-Cortez, 2022). La alta concentración de taninos en membrillo, tanto en su pulpa, como en los jugos obtenidos de él, puede explicar su astringencia y amargor característico. El amargor y la astringencia dependerán del contenido de flavonoles, ya que estos son las unidades estructurales, que

conforman a este tipo de polímero fenólico, así como su grado de polimerización y de la pectina residual unida a él (Vidal *et al.*, 2004).

El grado de polimerización de los taninos afecta las propiedades fisicoquímicas de las procianidinas (Le Bourvellec, Picot, & Renard, 2006). Este grado de polimerización, en la fruta puede ser de 8 a 11 unidades (Wojdyło *et al.*, 2013), pero en el caso de los jugos de 2 hasta 13 unidades, en este tipo de productos es importante considerar el grado de polimerización, debido a que los taninos son responsables de generar turbidez, por eso entre menor grado presenten, los jugos serán más claros y estables (Oszmian' ski, Wojdyło & Kolniak, 2009). También se ha demostrado que, durante el procesamiento, los taninos son transferidos de las vacuolas del fruto, hacia el jugo o al producto procesado (Le Bourvellec *et al.*, 2004), esto es importante para conocer el posible uso industrial del membrillo y su efecto durante su procesamiento.

Como se mencionó anteriormente los taninos se unen principalmente a las pectinas, en lugar de otros componentes de la pared celular y pueden formar puentes entre las pectinas altamente solubles y las protopectinas insolubles (Arranz, Saura-Calixto, Shaha & Kroon, 2009). Las cumarinas son una de las 8000 estructuras de compuestos fenólicos reportados, que están presentes en los vegetales, las cumarinas están ampliamente distribuidas en diferentes partes anatómicas de las plantas, son conocidas por su agradable olor a vainilla y se encuentran en altas concentraciones en frutas como el membrillo de Bengala (*Aegle marmeleos*), así como en semillas, raíces, cortezas y hojas (Borges-Bubols *et al.*, 2013; Davis, Maresca & Supuran, 2013).

Su estructura básica consta de un anillo bencénico, unido a un anillo α -pirona con un átomo de oxígeno en la posición α , y un grupo cetona en el carbono 2 (C2), además, pueden tener diferentes actividades bioactivas, como antibacterianas, antioxidante, antiinflamatorias, anticuagulantes y sobre todo anticarcinogénicas (Zhang *et al.*, 2014; Kubrak, Podgórski & Stompor, 2017).

Existen pocos reportes sobre el contenido de cumarinas en frutas, pero se han reportado hasta 15 diferentes tipos de cumarinas en frutos como el membrillo de bengala (*Aegle marmelos*), también se ha reportado su presencia en pomelo (*Citrus maxim*) un fruto cítrico, en los frutos de plantas como la *Cullen corylifolium* y la *Angelica officinalis* L. siendo cuatro, las principales cumarinas identificadas por HPLC, imperatorina, isoimperatorina, xantotoxina y bergapteno (Sezer Senol *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2018). Como se indicó anteriormente, no existen reportes del contenido de cumarinas en membrillo, pero Soares e Silva *et al.* (2012) desarrollaron el método utilizado en la presente investigación, y reportaron valores de 4.7 a 5.0 g ECU/100 g en harinas de hojas de guaco (*Mikania glomerata*), una planta trepadora de Brasil, que es empleada en la medicina tradicional, para el tratamiento del asma, tos y bronquitis, esta planta es conocida por sus altos contenidos de cumarinas, por lo que, se puede considerar una presencia significativa de este compuesto en nuestra muestra.

Hoy en día las cumarinas continúan recibiendo atención debido a sus diversas bioactividades, algunas han sido usadas en el tratamiento de diversas enfermedades, un ejemplo es la 4-hidroxycumarina empleada junto con la aspirina y heparina como anticoagulantes (Mueller, 2004).

Los compuestos fenólicos tienen un rol diverso como antioxidantes, adicionalmente, presentan un papel importante en los atributos sensoriales del fruto (astringencia y amargor), el membrillo es considerado una buena fuente de estos compuestos y esto se puede probar, por su alta intensidad de amargor y astringencia que presenta, incluso en su máxima etapa de maduración (Wojdyło *et al.*, 2013). La distribución y composición de los compuestos fenólicos en frutas son afectados por la madurez, tipo de cultivar, prácticas hortícolas, origen geográfico, estación de crecimiento, condiciones de almacenamiento en poscosecha y las condiciones de procesamiento (Kim, Jeong & Lee, 2003).

Estudios previos realizados por diversos investigadores, con membrillo de varios países, como España, Turquía, Portugal, Irán, Serbia y Túnez han reportado, valores de fenólicos totales en un rango de 71 a 159 mg EAG/100 g en pulpa y de 327 a 710 mg EAG/100 g en la cáscara, se puede observar claramente, que la mayor cantidad de estos compuestos, se encuentran principalmente en la cáscara, esto puede atribuirse, a que estos compuestos sirven como mecanismo de defensa contra parásitos, además de una serie de reacciones químicas y enzimáticas, que ocurren durante la maduración, originando un aumento en el contenido de compuestos fenólicos, al ser liberados de la pared celular por acción de enzimas pectinolíticas (Wojdyło *et al.*, 2014).

En la presente investigación, no se separó la cáscara de la pulpa y los resultados fueron obtenidos de una mezcla de ellas, también hay que señalar que en este estudio, solo se cuantificó la fracción libre de los compuestos fenólicos, por lo que la cantidad total de fenólicos totales podría ser mayor, sin embargo, los resultados son muy parecidos a lo reportado por otros investigadores en pulpa (Silva, Andrade, Martins, Seabra & Ferreira, 2006; Fattouch *et al.*, 2007; Legua *et al.*, 2013; Szychowska *et al.*, 2014). Es bien conocido que el contenido de estos fitoquímicos está determinado por la locación, variedad, madurez, pero también por las condiciones de crecimiento. Factores como luz solar, temperatura y nutrientes del suelo pueden tener una sustancial influencia sobre la composición de la fruta (Stojanovic *et al.*, 2017).

Para la evaluación de la actividad antioxidante en frutas, la especificidad y sensibilidad de un solo método no indica la completa exanimación de los fitoquímicos en el extracto, de esta forma, la combinación de varios métodos puede proveer una evaluación más confiable del perfil de antioxidantes en las frutas. Dos ensayos fueron empleados para evaluar las propiedades antioxidantes en los extractos crudos de membrillo, cada ensayo tiene su propia ventaja y limitación, de esta forma los datos obtenidos por los dos métodos aumentan la confianza del potencial antioxidante del membrillo.

La determinación de la capacidad antioxidante es una reacción dependiente del mecanismo. En el presente estudio se emplearon análisis de antioxidantes basados en reacciones químicas (DPPH y ABTS). La actividad antioxidante está fuertemente relacionada con el contenido de compuestos fenólicos, ya que son los principales responsables de la misma (Szychowski *et al.*, 2018). Otros investigadores han reportado una mayor actividad antioxidante en la cáscara, que en la pulpa en el membrillo, esto es atribuido a la mayor concentración de compuestos fenólicos en la piel, esto es importante destacar, ya que si los productos alimenticios elaborados de este fruto (jugos, mermeladas, ates etc.), requieren tener altos niveles de capacidad antioxidante, es necesario procesarlos, incluyendo la cáscara.

También se ha reportado una mayor capacidad antioxidante hidrofílica, que la lipofílica, esto debido a la mayor concentración de compuestos bioactivos polares o hidrofílicos en membrillo, como lo son los flavonoides, ácidos fenólicos y taninos, con respecto a los lipofílicos, como los carotenoides (Zaouay, Mena, Garcia-Viguera, & Mars, 2012; Szychowski, Munera-Picazo, Szumny, Carbonell-Barrachina & Hernandez, Szychowski, 2014; Teleszko & Wojdyło., 2015).

La actividad antioxidante en los extractos metanólicos de membrillo, determinada por el método ABTS, fue mayor a la obtenida por el método de DPPH, esto puede ser atribuido a la menor estabilidad del radical catión ABTS, aunque ambos valores fueron calculados como equivalentes de trolox. Se han reportado valores de capacidad antioxidante en membrillo de 1,500 a 7,850 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ por ABTS y en DPPH, también se ha determinado la actividad antioxidante en membrillo por este método, pero los datos se han reportado principalmente por el porcentaje de inhibición de este radical, por lo que no lo pudimos comparar, pero en otras frutas como ciruela, guayaba y durazno, se han reportado valores por DPPH de 2010 a 3858 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ (Arion *et al.*, 2014; Teleszko & Wojdyło., 2015; Mokrani & Madani, 2016; Szychowski *et al.*, 2018; Aguayo-Rojas *et al.*, 2022).

Por lo que los datos obtenidos en este estudio son superiores a lo reportado por ABTS en otras variedades de membrillo y en otras frutas. El consumo de antioxidantes en la dieta es importante, ya que estos son capaces de neutralizar radicales libres y de reducir el riesgo de contraer enfermedades crónico-degenerativas. Por lo tanto, es muy importante determinar la actividad antioxidante en las frutas. Hoy en día la capacidad antioxidante en frutas se ha tomado como un indicador de sus beneficios a la salud humana (Prior & Wu, 2013).

Los extractos de pulpa y piel de membrillo presentan una mayor actividad antioxidante que la suma de los compuestos fenólicos evaluados en su forma individual, demostrando el efecto sinérgico de los antioxidantes individuales, además, se ha mostrado que los compuestos fenólicos del membrillo tienen una actividad antioxidante *in vivo*, ya que estos aumentan la capacidad antioxidante en la sangre después de la administración oral en ratas (Hamazu, Inno, Kume, Irie, & Hiramatsu, 2006; Fattouch *et al.*, 2007). No existen reportes de la inhibición de la ECA en membrillo, pero con otras frutas con sus respectivos valores neutralizadores, se ha reportado en plátano, granada, litchi un 50% de inhibición de la ECA (Fernández & Labra, 2013; Kessy, Wang, Zhao, Zhou, & Hu, 2018), fresa 38% (Cheplick, Kwon, Bhowmik, & Shetty, 2010) y durazno (Aguayo-Rojas *et al.*, 2022).

Como control positivo empleado, el enalapril es uno de los medicamentos más usados para el control de la hipertensión, ya que tienen la capacidad de unirse a iones metálicos como el zinc, este presentó una inhibición de la enzima del 99±1%. No obstante, estas ventajas de los medicamentos inhibidores de la ECA pueden resultar inefectivas en el momento que produzcan efectos adversos tales como erupciones o sarpullidos en la piel, trastornos alimenticios y tos entre otros, que obligan a interrumpir el tratamiento (Laurent, 2017). Debido a los efectos secundarios de los inhibidores mencionados anteriormente, existe la necesidad de inhibidores con pocos o ningún efecto secundario. En este sentido, los informes han demostrado el uso efectivo de diferentes plantas y frutas, como terpenoides y compuestos fenólicos, incluyendo a los flavonoides y taninos, así como algunos derivados del ácido cafeico. La mayoría de los estudios han demostrado que los extractos de plantas y frutas son efectivos contra la inhibición de la ECA, por lo que es importante conocer cuáles son los que tienen un mayor potencial (Ojeda *et al.*, 2010; Atanasov *et al.*, 2015).

Entre los grupos de metabolitos secundarios encontrados en membrillo y que presentan un efecto inhibitorio de la actividad de la ECA, los taninos podrían ser uno de los compuestos fenólicos principales responsables en alterar tal actividad enzimática, puesto que los taninos altamente glucosilados contenidos en los frutos pueden formar puentes de hidrogeno con el zinc, cofactor de la enzima ECA y con otros sitios activos de la proteína, tal como actúan los fármacos empleados para el control de la hipertensión, pero con la ventaja de que estos fitoquímicos son de origen natural y los efectos secundarios provocados por los medicamentos se pudieran evitar (Lacaille, Franck, & Wagner, 2001). Adicionalmente los grupos hidroxilo (OH⁻) de los flavanoles pueden tener un efecto positivo en inhibir la enzima al interactuar con las proteínas, resultando en la formación de un enlace fuerte entre las catequinas y la ECA (Fernández & Labra, 2013).

Los polifenoles inhiben la actividad enzimática compitiendo con el sustrato por los sitios activos. Además, los flavonoides están directamente relacionados con su capacidad para unirse con el ion zinc en el sitio activo de ECA (Larson, Symons & Jalili, 2010). Estos compuestos también mostraron competencia inhibitoria enzimática, en la que la presencia de grupos hidroxilo y el anillo B desempeña un papel importante en la actividad inhibitoria (Balasuriya & Rupasinghe, 2012). Por lo tanto, futuros estudios serán necesarios para identificar el mecanismo de inhibición de estas muestras.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación indican los primeros estudios sobre el contenido y perfil de compuestos fenólicos, así como el potencial nutraceutico de membrillo cultivado en Zacatecas. Estos resultados comprueban la considerable cantidad de compuestos fenólicos, con potencial nutraceutico que pueden ser considerados como una buena fuente para aplicaciones médicas y alimentarias. Los fitoquímicos contenidos en la harina de membrillo pueden ser usados como una fuente natural de antioxidantes, además de inhibir la actividad ECA, por lo que podría considerarse al membrillo como una de las frutas con potencial antihipertensivo, aunque son necesarios estudios *in vivo*.

LITERATURA CITADA

- Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6182-6187.
- Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochín, S., Tovar-Jiménez, X., Rochín-Medina, J. J., & Navarro-Cortez, R.O. (2022). Fitoquímicos y propiedades nutraceuticas de durazno (*Prunus persica* L.) cultivado en Zacatecas. *Polibotánica*, 53, 151-166.
- Al-matani, S. K., Said Al-Wahaibi, R. N., & Amzad Hossain, M. (2015). *In vitro* evaluation of the total phenolic and flavonoid contents and the antimicrobial and cytotoxicity activities of crude fruit extracts with different polarities from *Ficus sycomorus*. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, 17(3), 103-108.
- Álvarez-Suarez, J. M., Giamperi, F., Tulipani, S., Casoli, T., Di Stefano, G., González-Paramás, A. M., & Battino, M. (2014). One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 25(3), 289-294.
- AOAC. (1999). Official Methods of Analysis 16^o Ed. Harla, Association of Official Analytical Chemists. St. Paul, EUA.
- Arion, C. M., Tabart, J., Kevers, C., Niculaua, M., Filimon, R., Beceanu, D., & Dommes, J. (2014). Antioxidant potential of different plum cultivars during storage. *Food Chemistry*, 146(1), 485-491.
- Arranz, S., Saura-Calixto, F., Shaha, S., & Kroon, P. A. (2009). High contents of nonextractable polyphenols in fruits suggest that polyphenol contents of plant foods have been underestimated. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(16), 7298-7303.
- Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Wenzig, E. M. P., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., Temml, V., Wang, L., Schwaiger, S., Heiss, E. H., Rollinger, J. M., Schuster, D., Breuss, J. M., Bochkov, V., Mihovilovic, M. D., Kopp, B., Bauer, R., Dirscha, V. M., & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: a review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1582-1614.
- Balasuriya, N., & Rupasinghe, H. P. V. (2012). Antihypertensive properties of flavonoid-rich apple peel extract. *Food Chemistry*, 135(4), 2320-2325.
- Bhagani, S., Kapil, V., & Lobo, M. D. (2018). Hypertension. *Medicine*, 46(9), 509-515.
- Belhadj, F., Somrani, I., Aissaaoui, N., Messaoud, C., Boussaid, M., & Marzouki, M. N. (2016). Bioactive compounds contents, antioxidant and antimicrobial activities during ripening of *Prunus persica* L. varieties from the North West of Tunisia. *Food Chemistry*, 204, 29-36.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., & Boukhriss, M. (2009). Saline water irrigation effects on fruit development, quality, and phenolic composition of virgin olive oils, cv. Chemlali. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(7), 2803-2811.
- Borges Bubols, G., Vianna, D. R., Remon, A. M., Poser, G. V., Raventos, M. L., Eifler Lima, V. L., & Garcia, S. C. (2013). The antioxidant activity of coumarins and flavonoids. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. 13(3), 318-322.

- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Ooman, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975-6980.
- Chakraborty, R., & Roy, S. (2021). Angiotensin-converting enzyme inhibitors from plants: A review of their diversity, modes of action, prospects, and concerns in the management of diabetes-centric complications. *Journal of Integrative Medicine*, 19(6), 478-492.
- Cheplick, S., Kwon, Y. I., Bhowmik, P., & Shetty, K. (2010). Phenolic-linked variation in strawberry cultivars for potential dietary management of hyperglycemia and related complications of hypertension. *Bioresource Technology*, 101(1), 404-413.
- Davis, R. A., Maresca, V. A., & Supuran, C. T. (2013). Natural product coumarins that inhibit human carbonic anhydrases. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 21(6), 1539-1542.
- Fattouch, S., Caboni, P., Coroneo, V., Tuberoso, C., Angioni, A., Dessi, S., Marzouki, N., & Cabras P. (2007). Antimicrobial activity of Tunisian quince (*Cydonia oblonga* Miller) pulp and peel polyphenolic extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 963-969.
- Fernández, K., & Labra, J. (2013). Simulated digestion of proanthocyanidins in grape skin and seed extracts and the effects of digestion on the angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity. *Food Chemistry*, 139(1-4), 196-202.
- Hamauzu, Y., Inno, T., Kume, C., Irie, M., & Hiramatsu, K. (2006). Antioxidant and antiulcerative properties of phenolics from Chinese quince, quince, and apple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(3), 765-772.
- Karadeniz, F., Burdurlu, H. S., Koca, N., & Soyer, Y. (2005). Antioxidant activity of selected fruits and vegetables grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(4), 297-303.
- Kessy, H. N., Wang, K., Zhao, L., Zhou, M., & Hu, Z. (2018). Enrichment and biotransformation of phenolic compounds from litchi pericarps with angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibition activity. *LWT-Food Science and Technology*, 87(3), 301-309.
- Kim, D. O., Jeong, S. W., & Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 81(3), 321-326.
- Kubrak, T., Podgórski, R., & Stompor, M. (2017). Natural and synthetic coumarins and their pharmacological activity. *European Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 15(2), 169-175.
- Lacaille, M. A., Franck, U., & Wagner, H. (2001). Search for potential angiotensin converting enzyme (ACE)-inhibitors from plants. *Phytomedicine*, 8(1), 47-52.
- Laurent, S. (2017). Antihypertensive drugs Review. *Pharmacological Research*, 124, 116-125.
- Larson, A., Symons, J.D., & Jalili, T. (2010). Quercetin: a treatment for hypertension?—a review of efficacy and mechanisms. *Pharmaceuticals*, 3(1), 237-250.
- Le Bourvellec, C., Le Quere, J. M., Sanoner, P., Guyot, S., & Drilleau, J. F. (2004). Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by procyanidins and polyphenol oxidation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(1), 122-130.
- Le Bourvellec, C., Picot, M., & Renard, C. M. G. C. (2006). Size exclusion chromatography of procyanidins: Comparison between apple and grape procyanidins and application to the characterization of fractions of high degrees of polymerization. *Analitica Chimica Acta*, 563: 33-43.
- Legua, P., Serrano Melgarejo, P. M., Valero, D., Martinez, J. J., Martinez, R., & Hernandez, F. (2013). Quality parameters, biocompounds and antioxidant activity in fruits of nine quince (*Cydonia oblonga* Miller) accessions. *Scientia Horticulturae*, 154, 61-65.
- McDougall, G. J., Kulkarni, N. N., & Stewart, D. (2009). Berry polyphenols inhibit pancreatic lipase activity in vitro. *Food Chemistry*, 115(1), 193-199.
- Mena, P., Garcia-Viguera, C., Navarro-Rico, J., Moreno, D. A., Bartual, J., & Saura, D. (2011). Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Journal of Science Food and Agriculture*, 91(10), 1893-1906.

- Mokrani, A., & Madani, K. (2016). Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Separation and Purification Technology*, 162(13), 68-76.
- Mueller, R. L. (2004). First-generation agents: Aspirin, heparin and coumarins. *Best Practice and Research Clinical Haematology*, 17(1), 23–53.
- Ojeda, D., Jiménez-Ferrer, E., Zamilpa, A., Herrera-Arellano, A., Tortoriello, J., & Alvarez, L. (2010). Inhibition of angiotensin converting enzyme (ACE) activity by the anthocyanins delphinidin and cyanidin-3-Osambubiosides from *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Ethnopharmacology*, 127(1), 7-10.
- Oszmian' ski, J., Wojdyło, A., & Kolniak, J. (2009). Effect of enzymatic mash treatment and storage on phenolic composition, antioxidant activity, and turbidity of cloudy apple juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 7078–7085.
- Park, Y. S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Suhaj, M., Cvikrová, M., & Goristein, S. (2011). Comparison of the contents of bioactive compounds and the level of antioxidant activity in different kiwifruit cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 963-970.
- Prior, R. L., & Wu, X. (2013). Diet antioxidant capacity: Relationships to oxidative stress and health. *American Journal of Biomedical Sciences*, 5(2), 126-139.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, 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.
- Rocha da Costa, C. A., Gilson, G., Lucinda Machado, G. G., Rodrigues, L. J., Araújo de Barros, H. E., Lima Natarelli, C. V., & de Barros Vilas Boas, E. V. (2023). Phenolic compounds profile and antioxidant activity of purple passion fruit's pulp, peel and seed at different maturation stages. *Scientia Horticulturae*, 321, 112244.
- Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2008). Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables—A Review. *Drying Technology*, 26(12), 1421–1437.
- Sezer Senol, F., Skalicka Wozniak, K., Hassan Khan, M. T., Erdogan Orhan, I., Sener, B., & Główniak, K. (2011). An *in vitro* and *in silico* approach to cholinesterase inhibitory and antioxidant effects of the methanol extract, furanocoumarin fraction, and major coumarins of *Angelica officinalis* L. fruits. *Phytochemistry Letters*, 4(4), 462–467.
- Silva, B. M., Andrade, P. B., Martins, R. C., Seabra, R. M., & Ferreira, M. A. (2006). Principal component analysis as tool of characterization of quince (*Cydonia oblonga* Miller) jam. *Food Chemistry*, 94(4), 504–512.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Soares e Silva, L., Santos da Silva, L., Brumano, L., Stringheta P. C., de Oliveira-Pinto, M. A., Moreira Dias, L. O., de Sá Martins-Muller, C., Scio, E., Luis-Fabri, R., Castro, H. C., & Henriques do Amaral M. P. (2012). Preparation of dry extract of *Mikania glomerata* Sprengel (Guaco) and determination of Its coumarin levels by Spectrophotometry and HPLC-UV. *Molecules*. 17(9), 10344-10354.
- Stojanovic, B. T., Mitic, S. S, Stojanovic, G. S, Mitic, M. N., Kostic, D. A., Paunovic, D. D., Arsic, B. B., & Pavlovic, A. N. (2017). Phenolic profiles and metal ions analyses of pulp and peel of fruits and seeds of quince (*Cydonia oblonga* Mill.). *Food Chemistry*, 232, 466–475.
- Szychowski, P. J., Munera-Picazo, S., Szumny, A., Carbonell-Barrachina, A. A., & Hernandez, F. (2014). Quality parameters, bio-compounds, antioxidant activity and sensory attributes of Spanish quinces (*Cydonia oblonga* Miller). *Scientia Horticulturae*, 165, 163–170.
- Szychowski, P. J., Lech, K., Sendra-Nadala, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdyło, A., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2018). Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, 255, 157–164.

Recibido:
27/agosto/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Teleszko, M., & Wojdyło, A. (2015). Comparison of phenolic compounds and antioxidant potential between selected edible fruits and their leaves. *Journal of Functional Foods*, 14, 736–746.
- Valdez Morales, M., Espinoza Alonso, L. G., Espinoza Torres, L. C., Delgado Vargas, F., & Medina Godoy, S. (2014). Phenolic Content and Antioxidant and Antimutagenic Activities in Tomato Peel, Seeds, and Byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(23), 5281-9.
- Vidal, S., Francis, L., Noble, A., Kwiatkowski, M., Cheynier, V., & Waters, E. (2004). Taste and mouth-feel properties of different types of tannin-like polyphenolic compounds and anthocyanins in wine. *Analytical Chemistry Acta*, 513(1), 57–65.
- Wang, L., Saito, M., Tatsumi, E., & LI, L. (2003). Antioxidative and Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Activities of Sufu (Fermented Tofu) Extracts. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 37(2), 129-132.
- Wojdyło, A., Oszmian' ski, J., & Bielicki, P. (2013). Polyphenolic composition, antioxidant activity, and polyphenol oxidase (PPO) activity of quince (*Cydonia oblonga* Miller) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2762–2772.
- Wojdyło, A., Teleszko, M., & Oszmianski, J. (2014). Antioxidant property and storage stability of quince juice phenolic compounds. *Food Chemistry*, 152, 261–270.
- Xu, B. J., & Chang, S. K. (2007). A Comparative Study on Phenolic Profiles and Antioxidant Activities of Legumes as Affected by Extraction Solvents. *Journal of Food Science*, 72(2), 5159-5166.
- Zaouay, F., Mena, P., Garcia-Viguera, C., & Mars, M. (2012). Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, 40, 81–89.
- Zhang, K., Ding, W., Sun, J., Zhang, B., Lu, F., Lai, R., Zou, Y., & Yedid, G. (2014). Antioxidant and antitumor activities of 4-arylcoumarins and 4-aryl-3,4-dihydrocoumarins. *Biochimie*, 107, 234-239.
- Zhang, T., Zhong, S., Hou, L., Li, T., Xing, X., Guan, T., Zhanga, J., & Wang, Y. (2018). Estrogenic properties of coumarins and meroterpene from the fruits of *Cullen corylifolium*: Experimental and computational studies. *Phytochemistry*, 152, 148–153.

**SILICON INDUCED POSITIVE
RESPONSE AT BIOCHEMICAL AND
GENE EXPRESSION LEVEL IN
TOMATO PLANTS INOCULATED
WITH *Fusarium oxysporum***

**EL SILICIO INDUCE RESPUESTAS
POSITIVAS A NIVEL BIOQUÍMICO Y
DE EXPRESIÓN DE GENES EN
PLANTAS DE TOMATE INOCULADAS
CON *Fusarium oxysporum***

López-Pérez, M.C.; F. Pérez-Labrada; Y. González-García y A. Juárez-Maldonado

SILICON INDUCED POSITIVE RESPONSE AT BIOCHEMICAL AND GENE
EXPRESSION LEVEL IN TOMATO PLANTS INOCULATED WITH *Fusarium oxysporum*

EL SILICIO INDUCE RESPUESTAS POSITIVAS A NIVEL BIOQUÍMICO Y DE
EXPRESIÓN DE GENES EN PLANTAS DE TOMATE INOCULADAS CON *Fusarium
oxysporum*



Silicon induced positive response at biochemical and gene expression level in tomato plants inoculated with *Fusarium oxysporum*

El silicio induce respuestas positivas a nivel bioquímico y de expresión de genes en plantas de tomate inoculadas con *Fusarium oxysporum*

López-Pérez, M.C.;
F. Pérez-Labrada;
Y. González-García
y A. Juárez-Maldonado

SILICON INDUCED
POSITIVE RESPONSE AT
BIOCHEMICAL AND GENE
EXPRESSION LEVEL IN
TOMATO PLANTS
INOCULATED WITH
Fusarium oxysporum

EL SILICIO INDUCE
RESPUESTAS POSITIVAS A
NIVEL BIOQUÍMICO Y DE
EXPRESIÓN DE GENES EN
PLANTAS DE TOMATE
INOCULADAS CON
Fusarium oxysporum

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 213-236. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.13

Mari Carmen López-Pérez / mcloper@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0002-7694-5102>

Unidad Académica Navjoa, Universidad Estatal de Sonora, 810
Manlio Fabio Beltrones Blvd., Navjoa 85875, Sonora, México

Fabián Pérez-Labrada / fabperlab@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0003-3540-303X>

Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,
Saltillo 25315, México

Yolanda González-García / yolanda_glezg@hotmail.com

Centro de Agricultura Protegida, Facultad de Agronomía,
Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66050, México

Antonio Juárez-Maldonado / antonio.juarez@uaaan.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3061-2297>

Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,
Saltillo 25315, México

ABSTRACT: Tomato plants infested by *Fusarium oxysporum* (Fol) show limitations in yield and fruit quality. The application of silicic acid could be used as an alternative to mitigate damage caused by this pathogen. In this work, the effect of silicic acid on "Rio Grande" variety tomato plants inoculated with Fol was studied. Silicic acid was applied via foliar weekly on tomato plant (ten applications). Treatments consisted of silicic acid + Fol, silicic acid, Fol and an absolute control. The incidence and severity of Fol wilt, content of antioxidant compounds (lycopene, β carotene, chlorophylls, vitamin C, reduced glutathione, phenols, flavonoids, total antioxidants and proteins), enzymatic activity (APX, CAT, GPX and SOD), PAL, salicylic and jasmonic acid, and the expression of genes involved in the synthesis of *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* and *ABA*, were determined. ASi+Fol-treated plants, compared to Fol-inoculated plants, disease incidence Fol wilt was reduced by 32% and severity by 22%, also presented an increase in chlorophyll *a*, *b* and total (49.1, 59.4 and 46.7%, respectively), as well as flavonoids (24.6%), the plants overexpressed the genes that participate in the synthesis of *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* and *ABA* at 31 dat (days after transplant), induced a reduction in reduced glutathione, antioxidant capacity by DPPH, CAT, jasmonic acid and the expression of all the genes evaluated in this work at 73 dat. The plants treated with ASi, in comparison with Fol, presented an increase in proteins, lycopene, vitamin C (30.3, 65.0, 52.7%, respectively), chlorophylls and the expression of *PAL5-3* (31 dat), *GAME1* and *ET* (73 dat). In the case Fol, a higher concentration of vitamin C, phenols, DPPH, PAL, CAT, GPX, salicylic and jasmonic acid was observed, and increase in the expression of *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, and *ABA* (73 dat), but it also induced a reduction in the concentration of flavonoids, chlorophylls and the expression of the six genes determined in this work at 31 dat. On the other hand, T0 plants, compared to Fol, showed an increase in proteins, lycopene, flavonoids (33.1, 62.0, 27.8%, respectively), as well as, chlorophyll, and the expression of all the genes analyzed in 31 dat, except for *ET*. The foliar application of silicic acid decreased the negative effects caused by Fol through

the increase of antioxidant compounds and changes in the expression of genes related to the defense system in tomato plants.

Key words: antioxidant compounds, biotic stress, defense genes expression, enzymatic activity, phytohormones.

RESUMEN: Las plantas de tomate infestadas por *Fusarium oxysporum* (Fol) muestran limitaciones en rendimiento y calidad de frutos. La aplicación de ácido silícico podría ser una alternativa para mitigar los daños causados por este patógeno. En este trabajo se estudió el efecto del ácido silícico en plantas de tomate variedad “Rio Grande” inoculadas con Fol. Se aplicó ácido silícico vía foliar semanalmente en plantas de tomate (diez aplicaciones). Los tratamientos consistieron en ácido silícico + Fol, ácido silícico, Fol y un control absoluto. Se determinó la incidencia y severidad de la marchitez de Fol, el contenido de compuestos antioxidantes (licopeno, β caroteno, clorofilas, vitamina C, glutatión reducido, fenoles, flavonoides, antioxidantes totales y proteínas), actividad enzimática (APX, CAT, GPX y SOD), PAL, ácido salicílico y jasmónico, y la expresión de genes que participan en la síntesis de *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* y *ABA*. En las plantas tratadas con ASi+Fol, en comparación con las plantas inoculadas con Fol, se redujo la incidencia de la enfermedad en un 32% y la severidad en un 22%. También presentaron un incremento de clorofila *a*, *b* y total (49.1, 59.4 y 46.7%, respectivamente), así como de flavonoides (24.6%), las plantas sobreexpresaron los genes que participan en la síntesis de *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* y *ABA*, a los 31 ddt, indujeron una reducción de glutatión reducido, capacidad antioxidante por DPPH, CAT, ácido jasmónico y la expresión de todos los genes evaluados en este trabajo a los 73 ddt. Las plantas tratadas con ASi, en comparación con Fol, presentaron un incremento de proteínas, licopeno, vitamina C (30.3, 65.0, 52.7%, respectivamente), clorofilas y la expresión de *PAL5-3* (31 ddt), *GAME1* y *ET* (73 ddt). En el caso de Fol, se apreció mayor concentración de vitamina C, fenoles, DPPH, PAL, CAT, GPX, ácido salicílico y jasmónico, y ligeramente un incremento de la expresión de *JA*, *GAME1*, *PAL5-3* y *ABA* (73 ddt), pero también indujo una reducción en la concentración de flavonoides, clorofilas y la expresión de los seis genes determinados en este trabajo a 31 ddt. Por su parte las plantas T0, comparado con Fol, se observó aumento de proteínas, licopeno, flavonoides (33.1, 62.0, 27.8%, respectivamente), así como clorofilas, y la expresión de todos los genes analizados a los 31 ddt, a excepción de *ET*. La aplicación foliar de ácido silícico disminuyó los efectos negativos causados por Fol a través del aumento de compuestos antioxidantes y cambios en la expresión de los genes relacionados con el sistema de defensa en plantas de tomate. **Palabras clave:** actividad enzimática, compuestos antioxidantes, estrés biótico, expresión de genes de defensa, fitohormonas.

INTRODUCTION

Fusarium oxysporum (Fol) causes plant wilting disease characterized by severe vascular damage and root rot, attacking a wide variety of crops of high human consumption, in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) can induce serious yield losses (de Lamo & Takken, 2020). This pathogen increases reactive oxygen species (ROS) causing the antioxidant system to be unable to reduce such accumulation, which causes mutation of nucleic acids, protein oxidation and cellular damage (Sousa *et al.*, 2015). These events cause a reduction in the availability, absorption, distribution and use of nutrients in plants (Romero *et al.*, 2011), as well as photosynthesis decrease (Mo *et al.*, 2017), thus reducing the growth and productivity of tomato plants as well as the quality of the fruits (Leyva-Mir *et al.*, 2013). To mitigate this damage chemical control is the main management measure of this phytopathogenic disease (Solarte *et al.*, 2012). Unfortunately, the indiscriminate application of chemicals has originated the development of resistant fungal populations (Ramírez *et al.*, 2020). Thus, the implementation of alternatives to decrease the incidence and severity of Fol wilt of the disease induced by *F. oxysporum* to avoid crop losses is of great importance.

One of the most abundant elements in the lithosphere is silicon (Si). In soil solution, Si is present as silicic acid (H_4SiO_4 , $\text{pK}_a = 9.25$), which pH lower than 9, is the only form absorbed by the root (López-Pérez *et al.*, 2018; Paye *et al.*, 2018; van den Berg *et al.*, 2021). Uptake this element into crop is accomplished by rejective, passive and active processes, is transported via the xylem through the transpiration current with the help of transporters, however, it is species-specific and complex (Frick *et al.*, 2020; H. Sun *et al.*, 2020). Supplement of this mineral is important because optimizes plants growth, productivity and quality parameters, in addition to biotic stress resistance (Dawa *et al.*, 2020; Malhotra *et al.*, 2016). The function of silicic acid against diseases induced by fungi, bacteria, and virus is given by induction of multiple mechanisms (Hoffmann *et al.*, 2020). Physical barrier is occurs through silicic acid deposition and polymerization in cell structures (Islam *et al.*, 2020), biochemical defense is constitutes by phenylalanine ammonia lyase (PAL); who has an important role in the synthesis of lignin and phenolic compounds, and antioxidant enzymes production as peroxidase (POD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) (Gulzar *et al.*, 2021), in addition to non-enzymatic antioxidants, as phenolic compounds, flavonoids, among others (Jafari *et al.*, 2015), as well as, phytohormones, and expression of pathogenesis-induced plant defense-related genes, as salicylic, jasmonic, abscisic acid, among others (Bhatt & Sharma, 2018). In different research studies, the effect of Si supplementation in agricultural crops has been reported. The calcium silicate application controlled the disease caused by *Fusarium solani* in *Piper nigrum* (D'Addazio *et al.*, 2020). The same pathogen also was controlled with the supply of silicon dioxide nanoparticles to *Daucus carota* (Siddiqui *et al.*, 2020). Ouzounidou *et al.* (2016) found that potassium silicate supplementation caused increased antioxidant content in *Cucumis sativus*. Similarly, Madany *et al.* (2020) found positive effect of silicon nanoparticles on *Lycopersicon esculentum* by enhanced enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity.

Considering this information, the study aimed to evaluate the application of silicic acid, on antioxidant capacity, salicylic and jasmonic acid and defense genes expression in tomato crop inoculated with *F. oxysporum*.

METHODS

Crop development

The development of the experiment was carried out in a greenhouse multi tunnel type, with polyethylene cover. As a biological material, tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) cv. "Rio Grande" was used, which were transplanted in 10 L black polyethylene bags, which contained substrate of peat moss and perlite in 1:1 proportion. For the nutritional management of the tomato crop a Steiner fertilizer solution was applied (Steiner, 1961). The tomato crop was developed during 119 days after transplanting (dat).

Silicic acid application

The application of silicic acid (ASi, 99.9%, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) consisted of foliar spraying of this compound on the abaxial and adaxial sides of the whole plant; it was applied to following treatments Asi and Asi+Fol (18 plants each). A total of 10 applications of ASi were carried out, two applications were made prior to the inoculation of the pathogens (7 and 14 dat), and eight subsequent applications with intervals of one week. The concentration of silicic acid used was 110 g ha^{-1} per application.

Inoculation of *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum strain (Fol) was used as inoculum; strain from the Laboratory of Molecular Parasitology, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Limon-Corona *et al.*, 2022). To carry out the inoculation of *F. oxysporum* (Fol), it was first reactivated, with the objective of increasing the viability of the latent inoculum (Coninck *et al.*, 2020), in potato dextrose agar (PDA), and incubated for 15 days at 27°C (Benhamou & Bélanger, 1998). For the increase of the pathogen conidia a semiliquid medium was used mixing potato, dextrose, PDA, streptomycin

and tomato seedling; in this medium two mycelial discs ($\Theta = 6$ mm) were sowing and it was incubated at 28 °C in an orbital shaker at $168 \times g$ 125 rpm by 15 days. At 21 days after transplantation, the tomato plants of the Fol and ASi+Fol treatments were inoculated at a concentration of 1×10^6 spores mL^{-1} resuspended in distilled water, applying 60 mL of the conidia solution on perforations in the substrate (10 cm deep and 3 cm away from the stem) (Benhamou & Bélanger, 1998). Fol inoculum was not applied to the plants of treatments ASi and T0.

Description of treatments

Four treatments were evaluated ASi+Fol, ASi, Fol and T0. ASi+Fol treatment consisted of the inoculation of Fol plus the foliar application of silicic acid. ASi treatment consisted of the foliar application of silicic acid. Fol treatment consisted of the inoculation of Fol without Asi application. Finally, T0 (absolute control) treatment was not inoculated with Fol and Asi was not sprayed. A total of 18 plants were used per treatment.

Incidence and severity of *Fusarium oxysporum* wilt disease

Incidence and severity of Fol wilt parameters were recorded at 43, 54, 58, 61, 66, 70, 72, 74, 76, 78, 82 y 85 dat. Disease incidence on tomato plants was determined visually by the presence or absence of symptomatic plants. Therefore, zero represented asymptomatic plants and 1 represented symptomatic plants. All data were expressed in percentage. The severity of Fol wilt disease was determined following the visual scale of Diener & Ausubel, (2005) and González-García *et al.* (2023); which is described as follows: 0: plants indistinguishable from mock; 1 = wilting of basal leaves (from the fifth true leaf); 2 chlorosis of basal leaves (from the fifth true leaf) and wilting of young leaves; 3 = wilting of most of the leaves, diffuse desiccation and yellowing; 4 = dead plant. Disease severity is calculated as a percentage using the following equation:

$$\text{Disease severity } \% = \frac{100 \times VS}{4} \quad (1)$$

Biochemical variables

The biomolecules: proteins, catalase, ascorbate peroxidase, superoxide dismutase, glutathione peroxidase, phenylalanine ammonium lyase, reduced glutathione, ABTS, and DPPH antioxidant capacity were extracted of leaf tissue. For this purpose, after 73 days of transplantation, random plants were selected, and the third fully expanded young leaf was taken for biochemical analysis. The tissue was lyophilized, macerated in a mortar and stored (-80 °C) for subsequent analyses. For the enzymatic and non-enzymatic determination, 200 mg of lyophilized and macerated leaves of each treatment and 20 mg of polyvinylpyrrolidone were weighed. After this, 1.5 mL of phosphate buffer with a pH of 7-7.2 (0.1 M) were added, and the mixture was then subjected to micro-centrifugation at $16,128 \times g$ 12,000 rpm for 10 min at 4 °C. The supernatant was filtered with a 0.45 μm pore size nylon membrane (Ramos *et al.*, 2010).

Total protein quantification was determined by the method of Bradford, (1976), the results were expressed as mg g^{-1} dry weight (DW). Catalase (EC 1.11.1.6) activity was quantified by measuring 2 reaction times according to Dhindsa *et al.* (1981), the results were expressed as U g^{-1} TP (U per gram of total proteins) of DW, where U is equal to the mmol equivalent of H_2O_2 consumed per milliliter per minute. Ascorbate peroxidase (EC 1.11.1.1) was determined according to Nakano & Asada, (1981), the results were expressed as U g^{-1} TP of DW, where U is equal to the μmol equivalent of oxidized ascorbate per milliliter per minute. Superoxide dismutase (EC 1.15.1.1) was determined was carried out using the Cayman kit (SOD Assay Kit 706002®, Cayman Chemical, Ann Arbor, Michigan, USA), the results were expressed as U mL^{-1} of DW, where U is defined as the amount of enzyme needed to exhibit 50% dismutation of the superoxide radical. Glutathione peroxidase (EC 1.11.1.9) was conducted according to Flohé & Günzler, (1984) technique, using H_2O_2 as a substrate, the results were expressed as U g^{-1} TP of DW, where U is equal to the mmol equivalent of reduced glutathione per milliliter per minute. Phenylalanine ammonia lyase (EC 4.3.1.5) was determined according to Sykłowska-Baranek *et al.* (2012), the results were expressed as $\text{U } 100 \text{ g}^{-1}$ TP of DW, where U is equal to production of 1 μmol cinnamic acid per milliliter per minute. Reduced glutathione (GSH) was performed

colorimetrically by reaction with DTNB (Xue *et al.*, 2001), the results were expressed as $\mu\text{mol g}^{-1}$ of DW.

ABTS (2,2'-azino-bis(3-Ethylbenzotiazoline-6-Sulphonic Acid)) was performed according to the methodology of Re *et al.* (1999), the results were expressed as equivalents vitamin C $\mu\text{g g}^{-1}$ of DW. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) was performed using the method of Brand-Williams *et al.* (1995), the results were expressed as equivalents vitamin C $\mu\text{g g}^{-1}$ of DW.

Phenols were determined according to the methodology of Yu & Dahlgren, (2000), the results were expressed as equivalents gallic acid mg g^{-1} of DW. Flavonoids was performed with the method of Arvouet-Grand *et al.* (1994), the results were expressed as equivalents of quercetin mg g^{-1} of DW. Vitamin C was determined by the titration method with 2,6 dichlorophenolindophenol (Padayatt *et al.*, 2001), the results were expressed as $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight.

The content of lycopene, β -carotene, and *a y b* chlorophylls were determined according to Nagata & Yamashita (1992). Total chlorophyll was the sum of Chl *a* and Chl *b*. All data are expressed as $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ of DW.

Endogenous phytohormones

To determine salicylic acid (SA), 1 mL of the extraction solution (89% water, 10% methanol and 1% acetic acid) was added to 50 mg of the foliar tissue. Subsequently, were centrifuged at $16,000 \times g$ (10 minutes). The supernatant was extracted and filtered (0.45 μm filter) and degassed by sonication. A liquid chromatograph (Agilent compact 1120) equipped with variable wavelength UV detector was used. The chromatographic conditions were for stationary phase: column C-18 polaris of 250 mm in length. The mobile phase has a gradient of 50% phase A (water 94.9%, acetonitrile 5%, and formic acid 0.1%) and 50% phase B (acetonitrile 94.9%, water 5%, and formic acid 0.1%), at a flow of 0.8 mL min^{-1} for a run time of 13 min. It was read at a wavelength of 250 nm (Forcat *et al.*, 2008). The results were expressed as mg kg^{-1} of DW.

Jasmonic acid (JA) was determinate mixing 100 mg of leaf tissue and 900 μL of the extraction solution (95% methanol and 5% ethyl acetate), vortexed, sonicated (10 min), and centrifuged at $16,000 \times g$ (10 min). The supernatant was filtered, the solvent was subsequently evaporated in dry oven at $50 \text{ }^\circ\text{C}$, and the residues were re-suspended in 500 μL of mobile phase (60 % methanol, 39% water, and 1% acetic acid). Same equip was used to determine jasmonic acid (JA). The flow was 0.60 mL min^{-1} using a Hypersil ODS column of $25 \text{ cm} \times 4.6 \text{ mm} \times 5 \mu\text{m}$, at a wavelength of 230 nm with an analysis time of 20 min (Kramell *et al.*, 1995; Michelena *et al.*, 2001). The results were expressed as mg kg^{-1} of DW.

Determination of gene expression by qPCR

The RNA was extracted using 100 mg fresh leaf tissue and TRIzol reagent (TRI Reagent[®], MRC, TR 118), purified with chloroform, and precipitated with isopropanol, as described in Cui *et al.* (2004). RNA quantification was carried out in a UV-Vis spectrophotometer (Thermo Scientific Model G10S) at an absorbance of 260 and 280 nm, and RNA quality was analyzed by denaturing electrophoresis in agarose gel. 2 μg of total-RNA were used by synthesis of the cDNA was performed using a commercial kit (Promega, Madison, Wisconsin, USA). The primers correspond to an endogenous gene *ACT* (actin) and six study genes: *PRI* (salicylic acid), *JA* (jasmonic acid), *GAME1* (phytoalexins), *PAL5-3* (phenylalanine ammonia lyase), which were designed in the software AMPLIFIX, OLIGOANALIZER and Primer-BLAST. For the *ET* (ethylene) and *ABA* (abscisic acid), the sequences cited by Anstead *et al.* (2010) and Nitsch *et al.* (2009), were considered, respectively (Table 1).

Table 1. Primers sequence of analyzed genes.
Tabla 1. Secuencia de cebadores de los genes analizados.

Gene	(Forward primer 5'-3')	(Reverse primer 5'-3')	T _m (°C) Annealing
<i>ACT</i>	CCCAGGCACACAGGTGTTAT	CAGGAGCAACTCGAAGCTCA	60 °C
<i>PR1</i>	AAGTAGTCTGGCGCAACTCA	GTCCGATCCAGTTGCTACA	60 °C
<i>JA</i>	TGGTTCGTCGACTTCGTCAT	CTCGGCCTTGAGAGAGTTCA	60 °C
<i>GAME1</i>	TCGTTGTTCCCTGGGTTACCT	TCCGAAACTCGAACTTTCTCG	58 °C
<i>PAL5-3</i>	GGAGGAGAATTTGAAGAATGCTGTG	TCCCTTTCCACCACTTGTAGC	60 °C
<i>ET</i>	TGTCCCAAGCCAGACTTGAT	TGCCATCTTGTTGAGCAATC	60 °C
<i>ABA</i>	CTTATTTGGCTATCGCTGAACC	CCTCCAACCTCAAACCTCATTGC	60 °C

The primers were prepared at a concentration of 15 pmol mL⁻¹. The quantification method used was a standard relative curve, therefore, for each quantification analysis a standard curve per gene was included using a 1:5 dilution.

qPCR reactions were analyzed in an Applied Biosystems StepOne™ Equipment version 2.3 by the standard relative curve method, measuring the fluorescence intensity of SYBR Green. The qPCR reaction for all genes was performed in a total volume of 20 µL. Regarding *ACT* gene, 10 µL of SYBR® Select Master Mix (Applied Biosystems, Foster City, California, USA) were added along with 0.10 µL of first forward (72 nM), 0.08 µL of first reverse (60 nM), 1 µL of cDNA and 8.82 µL of nuclease-free water. Regarding the *PR1* gene, 10 µL of Master Mix were added along with 0.03 µL of first forward (20 nM), 0.05 µL of first reverse (40 nM), 1 µL of cDNA diluted at a ratio of 1:5, and 8.92 µL of nuclease-free water. Regarding the *JA* gene, 10 µL of Master Mix, 0.05 µL of first forward (40 nM), 0.08 µL of first reverse (60 nM), 1 µL of cDNA and 8.87 µL of nuclease-free water were added. *ABA* gene, 10 µL of Master Mix, 4 µL of first forward (3000 nM), 4 µL of first reverse (3000 nM), 1 µL of cDNA and 1 µL of nuclease-free water were added. As for *ET*, *PAL5-3* and *GAME1* genes, 10 µL of Master Mix, 0.13 µL of first forward (100 nM), 0.13 µL of first reverse (100 nM), 1 µL of cDNA (*ET* and *PAL5-3*) or 1 µL of cDNA diluted 1:5 (*GAME1*) and 8.74 µL of nuclease-free water were added. The qPCR was run with the following program in the thermal cyclor: Hot Start, 10 min at 95 °C and PCR (40 cycles), 15 s at 95 °C and 1 min at temperature annealing.

Statistical analysis

The experiment was established in completely random design. To estimate the incidence and severity of Fol wilt the disease 18 replicates per treatment were considered; and for biochemical, secondary metabolites and gene expression five replicates were considered per treatment. An analysis of variance and Fisher's Least Significant Difference test ($p \leq 0.05$) were performed using the InfoStat software (v2019).

RESULTS

Incidence and severity of Fol wilt disease

Statistical differences were found between treatments in incidence of Fol wilt in tomato plants, throughout the experiment, except for the first sampling (Figure 1A). There was no incidence of Fol wilt the disease in silicic acid (ASi) treatment and absolute control (T0). As for Fol treatments (Fol and ASi+Fol) a certain degree of incidence of Fol wilt was observed throughout the evaluation dates but increased as culture developed during time. Particularly, it was observed that ASi application decreased incidence of Fol wilt as ASi+Fol treatment had a lower incidence of Fol wilt than the Fol treatment from inoculation day to day 66 after transplanting. Best effect of ASi was obtained at 61 days after transplanting (dat), since incidence of Fol wilt was reduced by approximately 24%. After 70 dat, both infested treatments reached 100% incidence.

The first symptoms of the severity of phytopathogen were observed at 43 dat and increased progressively during culture development (Figure 1B). Throughout the experiment ASi+Fol treatment consistently decreased Fol severity. At 78 dat, the greatest decrease in severity was observed, with approximately 21% less incidence of wilt than Fol treatment, and 12% at 85 dat.

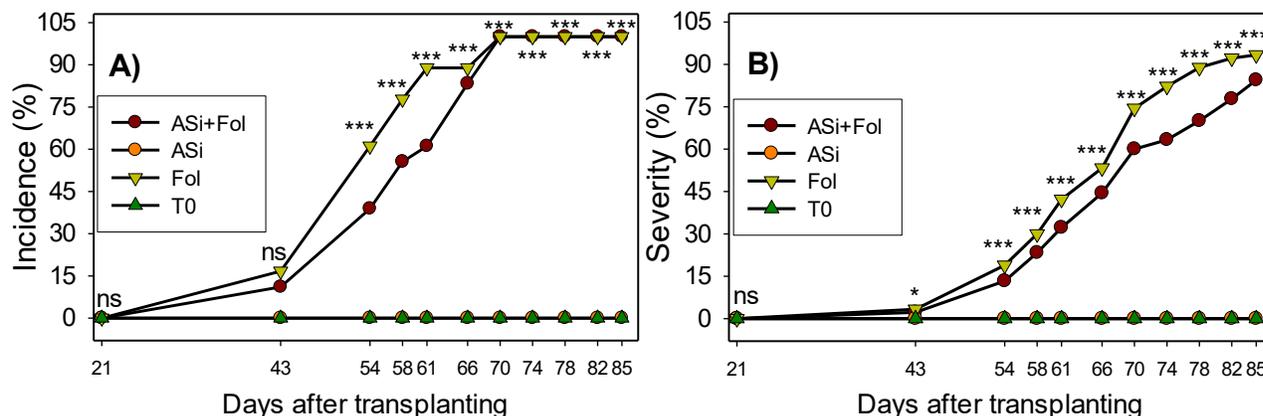


Figure 1. Incidence (A) and severity (B) of Fol wilt disease in tomato plants with or without ASi application. ns: not significant, *, ***: statistical differences at $p < 0.05$, < 0.0001 respectively. $n = 18$. ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control.

Figura 1. Incidencia (A) y gravedad (B) de la enfermedad por Fusarium en plantas de tomate con o sin aplicación de ASi (ácido silícico). ns: no significativo, *, ***: diferencias estadísticas a $p < 0.05$, < 0.0001 respectivamente. $n = 18$. ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto.

Biochemical Responses

Results showed statistical differences in total protein content, carotenoids, and chlorophylls in tomato leaves (Table 2). There was no difference in protein content between ASi and T0 treatments, whereas Fol and ASi+Fol treatments significantly decreased proteins by 33% and 31% respectively.

Lycopene content in tomato leaves inoculated with Fol was $3.1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ DW}$; which corresponds to 51, 62 and 65% less than the content registered in the plants of the ASi+Fol, T0 and ASi treatments, respectively (Table 2). There was no statistically significant difference between the ASi+Fol, ASi and T0 treatments. In the case, β -carotene, there were no statistically significant differences between treatments, only the ASi+Fol treatment presented the highest content, with approximately 59% more than T0.

Regarding chlorophyll content (*a*, *b* and total), results were consistent. The total chlorophyll a content in the plants inoculated with Fol was 92.1 , 40.3 and $132.4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ DW}$, respectively; this quantity was 49.1 , 40.6 and 46.7% , respectively, lower than the content registered in the plants of the ASi+Fol treatments. There was no significant statistical difference between the ASi+Fol, ASi and T0 treatments (Table 2).

Table 2. Total protein, carotenoids, and chlorophyll content in leaves of tomato plants infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications**Tabla 2.** Contenido total de proteínas, carotenoides y clorofila en hojas de plantas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico).

Treatments	Proteins (mg g ⁻¹ DW)	Lycopene (mg 100 g ⁻¹ DW)	β-carotene (mg 100 g ⁻¹ DW)	Chlorophyll a (mg 100 g ⁻¹ DW)	Chlorophyll b (mg 100 g ⁻¹ DW)	Total Chlorophyll (mg 100 g ⁻¹ DW)
ASi+Fol	19.1 ^b	6.3 ^{ab}	41.9 ^a	180.8 ^a	67.8 ^a	248.6 ^a
ASi	26.7 ^a	9.0 ^a	30.5 ^{ab}	206.4 ^a	71.3 ^a	277.7 ^a
Fol	18.6 ^b	3.1 ^b	28.8 ^{ab}	92.1 ^b	40.3 ^b	132.4 ^b
T0	27.8 ^a	8.3 ^a	26.3 ^b	172.0 ^a	50.8 ^{ab}	222.7 ^a
CV (%)	23.0	41.0	25.8	22.1	23.2	22.8

n= 5. Averages with same letter per column are statistically equal (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control. DW: dry weight. CV: coefficient of variation (%).

n= 5. Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto. DW: peso seco. CV: coeficiente de variación (%).

Significant differences between treatments were observed in vitamin C, flavonoids, phenols and antioxidant compounds, as well as in DPPH antioxidant capacity (Table 3). Vitamin C content no differences were found between the plants inoculated with Fol and the plants treated with ASi+Fol, however, the plants inoculated with Fol were 52.7 and 33.1% higher than the content presented in the plants treated with ASi and T0. The reduced glutathione was higher in plants inoculated with Fol, 69.5 and 6.6% higher than ASi+Fol and ASi plants. Phenol content did not present differences between the plants treated with Fol, ASi+Fol and ASi, only an increase of 32% stood out in the plants inoculated with Fol, with respect to T0. Regarding Flavonoid content, showed a reduction of 24.6, 27.8 and 30.4% in plants inoculated with Fol, compared to plants treated with ASi+Fol, T0 and ASi respectively. ABTS did not present differences between treatments, while antioxidant capacity, evaluated by DPPH increased 3.1% in Fol compared to ASi+Fol (Table 3).

Table 3. Non-enzymatic antioxidant compounds in leaves of tomato plants infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications at 73 dat.**Tabla 3.** Compuestos antioxidantes no enzimáticos en hojas de plantas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico) a los 73 días después del trasplante (dat).

Treatments	Vitamin C (mg 100 g ⁻¹ FW)	Reduced glutathione (μmol g ⁻¹ DW)	Phenols (mg g ⁻¹ DW)	Flavonoids (mg g ⁻¹ DW)	ABTS (μg g ⁻¹ DW)	DPPH (μg g ⁻¹ DW)
ASi+Fol	123.2 ^{ab}	5.9 ^b	18.4 ^{ab}	28.9 ^a	7.7 ^a	52.4 ^b
ASi	96.8 ^b	8.5 ^{ab}	17.2 ^{ab}	31.3 ^a	7.8 ^a	54.2 ^a
Fol	147.8 ^a	10.0 ^a	20.4 ^a	21.8 ^b	8.9 ^a	54.0 ^a
T0	110.9 ^b	8.9 ^{ab}	15.2 ^b	30.2 ^a	9.5 ^a	53.7 ^a
CV (%)	20.3	27.8	11.9	9.6	21.9	1.1

n= 5. Averages with the same letter per column are statistically equal (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control. ABTS: 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazolin-6-sulfonic acid). DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. CV: coefficient of variation (%). FW: fresh weight. DW: dry weight.

n= 5. Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto. ABTS: ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzthiazolin-6-sulfónico). DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil. CV: coeficiente de variación (%). FW: peso fresco. DW: peso seco.

Except for APX y SOD enzyme, there were statistical differences in PAL, CAT and GPX between treatments (Table 4). PAL no differences were found between the plants inoculated with Fol and the plants treated with ASi+Fol, however, the plants inoculated with Fol presented 3.2% higher activity than the plants treated with ASi and T0. The activity of the CAT enzyme was higher in the plants inoculated with Fol in 85.1 and 108.4 %, with respect to the plants of the ASi+Fol and T0 treatments. The enzymatic activity of GPX was similar in the plants of the Fol, ASi+Fol and ASi treatments, only an increase of 193% was observed in the plants inoculated with Fol, with respect to T0.

Table 4. Enzymatic activity in leaves of tomato plants infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi application at 73 dat.

Tabla 4. Actividad enzimática en hojas de plantas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicación de ASi (ácido silícico) a los 73 días después del trasplante (dat).

Treatments	PAL (U 100 g ⁻¹ TP)	APX (U g ⁻¹ TP)	CAT (U g ⁻¹ TP)	GPX (U g ⁻¹ TP)	SOD (U ml ⁻¹)
ASi+Fol	4.0 ^{ab}	15.9 ^a	513.2 ^b	48.7 ^a	9.6 ^b
ASi	3.2 ^b	9.6 ^a	623.9 ^{ab}	41.3 ^a	24.6 ^a
Fol	5.5 ^a	14.3 ^a	949.7 ^a	58.5 ^a	16.1 ^{ab}
T0	3.2 ^b	16.5 ^a	455.7 ^b	19.6 ^b	25.3 ^a
CV (%)	22.3	56.7	37.1	26.4	46.2

n=5. Averages with same letter per column are statistically equal (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control. PAL: phenylalanine ammonia lyase. APX: ascorbate peroxidase. CAT: catalase. GPX: glutathione peroxidase. SOD: superoxide dismutase. TP: total protein. CV: coefficient of variation (%).

n=5. Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto. PAL: fenilalanina amonio liasa. APX: ascorbato peroxidasa. CAT: catalasa. GPX: glutatión peroxidasa. SOD: superóxido dismutasa. TP: proteína total. CV: coeficiente de variación (%).

Endogenous phytohormones

Salicylic acid content in tomato leaves was modified by treatments in two out of three samplings, but no statistical differences were obtained between treatments at 31 dat (Table 5). At 73 dd, when the plants appeared an advanced severity (Figure 1B), the plants of the Fol, ASi+Fol and ASi treatments, did not emerge statistically significant directions, only the plants inoculated with Fol presented 247.5% higher concentration than the plants T0.

The content of JA could only be quantified at 31 and 73 dat, with statistical differences between treatments in both cases (Table 5). Systematically, an increase of JA was observed as culture developed and consequently the severity of the pathogen increased (Figure 1B). At 31 dat, when the disease had not yet proliferated, only JA was quantified in the ASi+Fol and Fol treatments, the latter being significantly higher (245.6%). At 73 dat, once the incidence and severity of Fol wilt increased (Figure 1), an increase JA was observed in all treatments, except for T0. Once again, Fol generated the highest concentration of JA, surpassing the ASi+Fol treatment by 81.3 %, and the ASi treatment by 234.3%.

Table 5. Content of secondary metabolites related to defense systems in leaves of tomato plants infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications

Tabla 5. Contenido de metabolitos secundarios relacionados con los sistemas de defensa en hojas de plantas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico).

Treatments	Salicylic acid (mg kg ⁻¹ DW)			Jasmonic acid (mg kg ⁻¹ DW)		
	15 dat	31 dat*	73 dat	15 dat	31 dat*	73 dat
ASi+Fol	Nq	35.1 ^a	171.6 ^a	Nq	5.7 ^b	72.1 ^b
ASi	52.6 ^a	23.9 ^a	72.3 ^{ab}	Nd	Nd	39.1 ^c
Fol	Nq	32.2 ^a	163.0 ^a	Nq	19.7 ^a	130.7 ^a
T0	21.9 ^b	43.9 ^a	46.9 ^b	Nd	Nd	Nd
CV (%)	42.8	49.6	66.2	-	58.3	33.1

n=5. Averages with same letter per column are statistically equal (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control. CV: coefficient of variation (%). DW: dry weight. *: 10 days after inoculation of Fol. Nq: not quantified. Nd: not detected (is present but conjugated, not separated).

n=5. Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto. CV: coeficiente de variación (%). DW: peso seco. *: 10 días después de la inoculación con Fol. Nq: no cuantificado. Nd: no detectado (presente pero conjugado, no separado).

Gene expression

PR1 and *JA* genes, which encode salicylic acid and jasmonic acid respectively, showed changes in their expression due to treatments (Figure 2). At 31 dat, only Fol treatment modified *PR1* and *JA* gene expression, repressing them 0.7- and 0.34-fold change respectively in comparison to ASi+Fol. However, at 73 dat all treatments increased *PR1* gene expression, however the combination of ASi+Fol generated the largest increase with 18.7-fold change, while ASi and T0 decreased it 2.2- and 2.5-fold change, respectively, in comparison to Fol (Figure 2A). This trend is consistent with what was observed in SA quantification, where T0 had the lowest amount of this metabolite and Fol treatments showed the highest amount (Table 5).

In the case of *JA* gene at 73 dat, in comparison at 31 dat, a similar trend was observed since all treatments increased its expression. However, ASi+Fol, ASi and Fol decreased 2.9-, 5.5- and 5.7-fold change, respectively, in comparison to Fol (Figure 2B). Results consistent with JA determination, since Fol generated the highest amount of this metabolite, followed by the combinations ASi+Fol and ASi (Table 5).

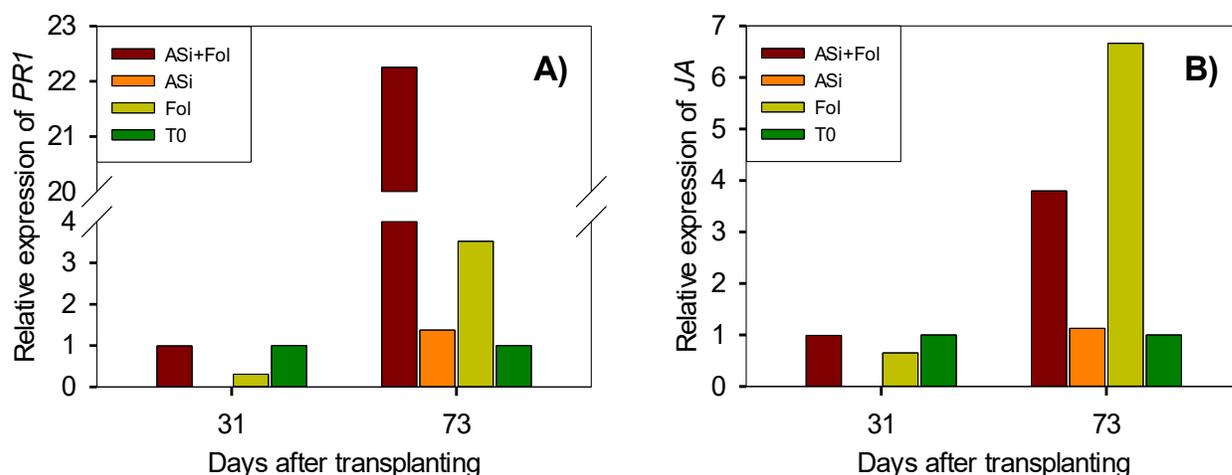


Figure 2. Relative expression of salicylic acid (*PR1*) (A) and jasmonic acid (*JA*) (B) genes in tomato leaves infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications. ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control.

Figura 2. Expresión relativa de los genes de ácido salicílico (*PR1*) (A) y ácido jasmónico (*JA*) (B) en hojas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto.

At 31 dat, application of the treatments practically showed no changes in *GAME1* gene expression (Figure 3A). However, at 73 dat, the expression of this gene was repressed 0.1-fold change in ASi+Fol, and overexpressed ASi and T0 (1.3- and 0.7-fold change, respectively) compared to Fol.

In the *PAL5-3* gene, at 31 dat, a overexpression of this gene was observed by the ASi+Fol and T0 treatments, equivalent to 0.4- and 0.6-fold change, respectively, compared to Fol (Figure 3B). However, at 73 dat all treatments repression this gene, ASi+Fol was 0.2-fold change less, T0 was 1.8-fold change, and ASi generated the highest expression equivalent to 0.1-fold change more than Fol.

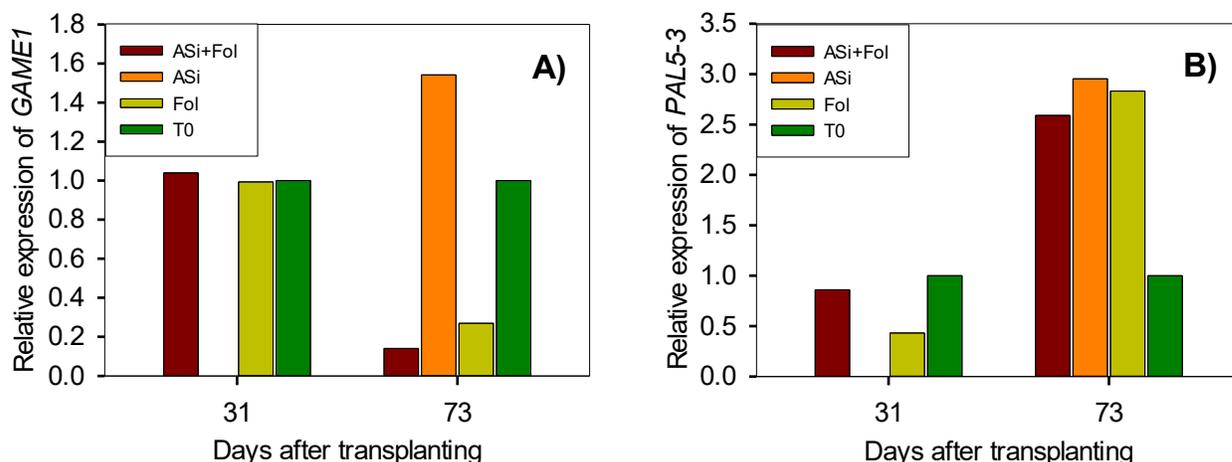


Figure 3. Relative expression of phytoalexins (*GAME1*) (A) and phenylalanine ammonia lyase (*PAL5-3*) (B) genes in tomato leaves infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications. ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control.

Figura 3. Expresión relativa de los genes de fitoalexinas (*GAME1*) (A) y fenilalanina amonio liasa (*PAL5-3*) (B) en hojas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico). ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto.

The expression of *ET* gene at 31 dat increased slightly by ASi+Fol (0.5-fold change), while T0 treatment decreased 0.1-fold change in comparison to Fol. However, at 73 dat all treatments overexpressed this gene: ASi+Fol, 5.5-fold change, ASi generated the highest expression with 7.1-fold change, except T0 (-1.7-fold change), greater than Fol (Figure 4A). In the case of *ABA* gene, at 31 dat ASi+Fol treatment generated a overexpression of 0.6-fold change in comparison to Fol, whereas ASi+Fol treatment increased the expression in 0.30-fold change, whereas T0 treatment increased the expression in 0.3-fold change (Figure 4B). At 73 dat, all treatments decreased *ABA* gene expression just like what was observed with the *ET* gene (T0) (Figure 4A). T0 treatment generated the lowest expression of the *ABA* gene with 4.5-fold change less, compared to Fol, followed by ASi treatment with 3.3-fold change. ASi+Fol treatment also decreased *ABA* gene expression but not in the same magnitude as T0 and ASi treatments, since it only increased 0.06-fold change in comparison to Fol (Figure 4B).

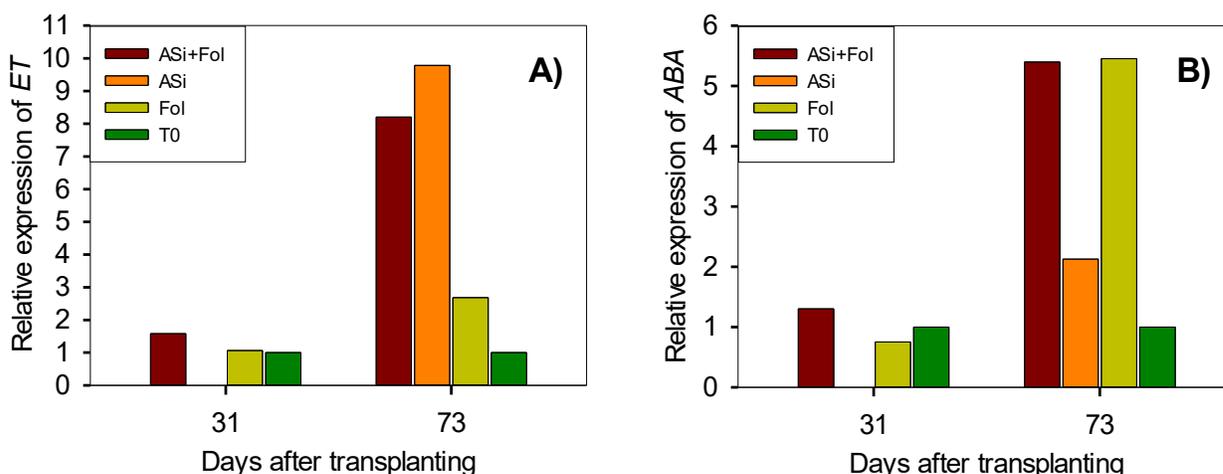


Figure 4. Relative expression of ethylene (*ET*) (A) and abscisic acid (*ABA*) (B) genes in tomato leaves infested and not-infested with *F. oxysporum* and with or without ASi applications. T0: absolute control. ASi+Fol: silicic acid + *F. oxysporum*. ASi: silicic acid. Fol: *F. oxysporum*. T0: absolute control.

Figura 4. Expresión relativa de los genes de etileno (*ET*) (A) y ácido abscísico (*ABA*) (B) en hojas de tomate infestadas y no infestadas con *F. oxysporum*, con o sin aplicaciones de ASi (ácido silícico). T0: control absoluto. ASi+Fol: ácido silícico + *F. oxysporum*. ASi: ácido silícico. Fol: *F. oxysporum*. T0: control absoluto.

DISCUSSION

Incidence and severity of Fol wilt disease

Cao *et al.* (2017) mentioned that when stress is prolonged, self-regulation in tomato is exceeded, and the positive effects of Si are attenuated, as observed here after 70 dat, where both infested treatments reached 100% incidence. Furthermore, without the use of fungicides, it is practically impossible to completely suppress the disease (Bakhat *et al.*, 2018) which explains the results observed here (Figure 1A). Once the tissue is infected, the xylem vessels is obstructed by fungal structures or polysaccharides (Singh *et al.*, 2017), there is also toxins secretion by this pathogen, this cause wilting and necrosis of the leaves, and dark brown vascular discoloration (Pirayesh *et al.*, 2018). At the same time there is an excessive ROS production, causing oxidative stress, that generate DNA and metabolism damage, eventually culminating in the apoptosis (Aybeke, 2017). These symptoms produced together the high severity levels of Fol recorded in tomato plants under study (Figure 1B).

On the other hand, several authors have reported the different action mechanisms of silicic acid to mitigate the incidence and severity of Fol wilt disease, achieving a better plants development (Figure 1). In this work it was observed that the ASi and T0 treatments did not present symptoms of the disease, since were not inoculated with Fol, however the plants inoculated with Fol showed wilting of the leaves, likewise, in the plants treated with ASi+Fol but with a lower degree of incidence and severity (up to 24 and 21%, respectively) (Figure 1).

It was found that Si can activate the biochemical mechanisms of plants, such as increased antioxidant activity and phytohormones (Bakhat *et al.*, 2018), in addition to pathogenicity related genes expression (Bhatt & Sharma, 2018). Once in the plant, Si can polymerize into amorphous silica and accumulate in the trichomes or cuticles of the leaves, forming a physical defense, which prevents the passage of pathogens (Dann & Le, 2017; Hoffmann *et al.*, 2020). For example, silicic acid induces biochemical barriers, and once polymerized in amorphous silica, generates physical barriers (Bathoova *et al.*, 2021; Dann & Le, 2017). In addition, its accumulation in cell walls, intracellular spaces and leaf trichomes generates firmer and more rigid structures (Carré-Missio *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2015). In the cytoplasm, it induces biochemical barriers such as metabolic pathways activation, JA (Bakhat *et al.*, 2018; Ning *et al.*, 2014), SOD and CAT activity (Cao *et al.*, 2017) increase, flavonoid and *PAL5-3* expression (Rahman *et al.*, 2015). Silicic acid also participates in the overexpression or repression of pathogenicity related genes (Brunings *et al.*, 2009).

Biochemical Responses

F. oxysporum produces toxins such as fusaric acid that causes oxidative stress induced by ROS, causing damage to the membrane, and reducing photosynthetic pigment content in tomato leaf tissue (Singh *et al.*, 2017). In this work, proteins and lycopene clearly were affected by Fol, regardless of whether silicic acid is applied (Table 2). Opposite case, the chlorophylls were not reduced with the ASi+Fol treatment, it is possible that the application of ASi in Fol inoculated tomato plants protected against pigment degradation and enhance the photosynthetic capacity (S. Sun *et al.*, 2022), because Chlorophyll content is related to higher photosynthetic capacity in plants under stress (González-García *et al.*, 2023). It has been observed that Si applied on leaves to wheat under hydric stress increased chlorophyll concentration, improving light use efficiency (Maghsoudi *et al.*, 2015). In *Glycine max*, Na_2SiO_3 application promoted Fe mobilization and maintenance in leaves, generating greater protection to chlorophyll degradation (Gonzalo *et al.*, 2013).

Previously, it has been reported that pathogen infection in plants induces oxidative stress, which results in a higher production of antioxidant defense compounds (Pei *et al.*, 2020), as observed here: reduced glutathione, phenols and DPPH (Table 3). Whan *et al.* (2016) found that *F. oxysporum* infection in *Gossypium hirsutum* increased the phenolic compounds concentration, as seen here. Regarding silicon, Hajiboland *et al.* (2017a) have also observed that when applied to *Nicotiana rustica* plants, the concentration of phenolic compounds increases, only when they are subjected to mechanical stress. In the plant, silicic acid binds with hemicelluloses, pectin and polyphenols forming cell walls, in addition to stimulating a higher concentration of these components and lignin (Babalar *et al.*, 2016). This strengthens the plants against attack by pathogens.

Similarly, it has been suggested that Si role against the attack of *F. oxysporum* in banana crop was possibly due to the potentiation of the phenylpropanoid pathway (Fortunato *et al.*, 2014), which is related to the production of phenolic metabolites such as flavonoids, lignin, etc. which are synthesized from L-phenylalanine that produces trans-cinnamic acid derived from PAL content (Hajiboland *et al.*, 2017b; Hussain *et al.*, 2021). This would explain the increase in flavonoid content in plants treated with ASi+Fol. Madany *et al.* (2020), for example, suggested that Si NP favored PAL activity, and thus to the increase in content of lignin. However, the results of this study do not show a difference with the application of ASi+Fol with respect to Fol in

phenols and PAL (Table 3). On the other hand, treatment with Fol increased the PAL (Table 4) and also the content of total phenols respect T0 (Table 3).

It is known that *F. oxysporum* colonization can trigger defense mechanisms, for example, increased callose and lignin deposits in the cell structures or increased ROS and, consequently, greater antioxidant activity (Pei *et al.*, 2020). Dorneles *et al.* (2017) got a higher CAT activity, as observed here (Table 4). However, CAT was not affected in the plants treated with ASi+Fol, possibly due to a low activity of this enzyme in H₂O₂ elimination (Dallagnol *et al.*, 2015), as well as Habibi, (2015) also did not observe changes in CAT in canola under water stress. Which suggests less ROS concentration in this treatment, and therefore less stress (Hu *et al.*, 2020), since in addition to low CAT activity, low concentrations of reduced glutathione and DPPH were also observed in ASi+Fol treatment.

As already mentioned, the infection of pathogens to plants induces an increase in oxidative stress, triggering antioxidant defense (Kang *et al.*, 2014) producing antioxidant enzymes such as GPX and other antioxidant compounds. Silicon can also function as elicitor in plants and generates changes the defense-related enzymes activity and together with other mechanisms lead to induced resistance (Sakr, 2021; M. Wang *et al.*, 2017). This explains the increase of GPX observed in this work in treatments with ASi or Fol (Table 4).

Likewise, SOD activity has a major importance in the defense against pathogens, since it regulates the concentration of ROS in cells (Hao *et al.*, 2011; Sattar *et al.*, 2020). It was found that increase SOD activity was caused by a higher generation of H₂O₂, conferred by *Podospaera xanthii*, in melon plants added with Si (Dallagnol *et al.*, 2015), however, these results do not agree with those reported in this study (Table 4). In this regard, it has been reported that Si-treated plants exhibited reduction in SOD and CAT activities in *Cercospora sojina* infected soybean (Telles Nascimento *et al.*, 2016). Which suggests a lower concentration of ROS in ASi+Fol treatment (Hu *et al.*, 2020), in addition, other antioxidants (*e. g.* GPX) could also be involved in the elimination of ROS. In this case, the positive effect observed on the incidence and severity of Fol wilt may also be the result of the efficacy of other mechanisms, such as phytohormones synthesis and modification of gene expression.

Secondary metabolites

Since SA accumulation is key in the defense of tomato plants after the attack of Fol (Di *et al.*, 2017) the observed increase is directly related to the defense system against Fol (Table 5). Salicylic acid exacerbated the systemic acquired resistance (SAR) conferred by Fol infection in *Musa acuminata* (Z. Wang *et al.*, 2015). In a previous study, it has been observed that the application of Na₂SiO₃ showed lower concentrations of JA in *Oryza sativa* than mechanical stress treatment alone (Kim *et al.*, 2014); similar findings to those obtained in this work (Table 5).

The results obtained here (Table 5) demonstrate that Fol infection triggers the defense mechanism of tomato plants, increasing the SA and JA generation (Jang *et al.*, 2018; Vivancos *et al.*, 2015). This can be caused by ROS accumulation such as H₂O₂ that induce the activity of the lipid hydroperoxidase and benzoic acid hydrolase enzymes, that stimulate the synthesis of jasmonic acid and that transform benzoic acid into salicylic acid, respectively (Dorneles *et al.*, 2017; Fagerstedt *et al.*, 2010). Silicic acid application can also induce the SA and JA biosynthesis (Jang *et al.*, 2018), however, the intensity of the response is less than that caused by *F. oxysporum*, and it may take longer to appear as observed here (Table 5).

Gene expression

The *PR1* and *JA* genes expression responses are derived from the increase in salicylic and jasmonic acids observed in treatments with Fol and ASi+Fol (Table 5). This is because SA and JA are hormones that regulate the expression of these defense responses related genes (Han & Kahmann, 2019). It highlights the production of PAL and various antioxidant compounds (Tables 3 and 4) involved in the ROS reduction.

The results show that Fol triggers the plant defense system, such as the expression of related genes. Although silicic acid application also induces SA and JA production (Table 5), these markers did not have a very strong impact on *PR1* and *JA* genes expression (Figure 2), unlike other authors' reports (Cai *et al.*, 2009). Gulzar *et al.* (2021) cited that silicon amendment in *Lycopersicon esculentum* inoculated with *Alternaria solani*, had an up-regulation the *PR3*, *LOXD* and *JERF3* (JA marker genes). Manivannan & Ahn, (2017) documented that Si treatment-induced resistance was manifested by activating the SAR, through the regulation of the jasmonic acid pathway and genes related in the hypersensitivity response. Therefore, the positive effect observed on the incidence and severity of Fol wilt may occur due to the regulation of other pathogenesis-related genes, or due to the increase in antioxidant compounds (Tables 2-4), or even structural modifications (Dann & Le, 2017; Vivancos *et al.*, 2015).

The gene *GAME1* is related to phytoalexins, which are mainly phenolic compounds that accumulate when infections by phytopathogenic fungi such as *F. oxysporum* appear, participating in the defense against them (Jeandet *et al.*, 2002). However, the results showed an opposite effect with the inoculation of Fol, since this gene expression was repressed (Figure 3A). Opposite case, the clear effect on the expression of *GAME1* gene by the silicic acid application is consistent with other authors' reports, who found that production of flavonol phytoalexins in *Cucumis sativus* and momilactones in *Oryza sativa*, respectively, is stimulates by silicon (Fawe *et al.*, 1998; Rodrigues *et al.*, 2004). Therefore, the production of phytoalexins induced by the silicic acid application could have affected the progress of the incidence and severity of Fol wilt observed in tomato (Figure 1).

Overexpression of *PAL5-3* is important to regulate *Fusarium* infection, since it leads to a greater accumulation of lignin and synthesis of salicylic acid to trigger SAR (Iqbal *et al.*, 2005). Therefore, tolerance to this pathogen can be increased when these circumstances occur, as observed in this study (Figures 1 and 3B). Zvirin *et al.* (2010) demonstrated that *PAL5-3* expression in *Cucumis sativus* increased as colonization of *F. oxysporum* progressed. In addition, Cruz *et al.* (2015) observed in wheat plants inoculated with *Pyricularia oryzae* an increase in *PAL* expression independently of the application of silicic acid, however the highest level of expression was in the silicic acid treatment. These results agree with the observed, since although all the treatments increased the expression of the *PAL5-3* gene, the treatment of only silicic acid presented the highest overexpression (Figure 3B). Kuai *et al.* (2017) and Shetty *et al.* (2011) obtained higher transcripts of this gene when applying silicon; this led to an increase in lignin and phenolic compounds, reducing the severity of pathogens, similar to observed here (Table 3, Figure 1). These results indicate that indeed the application of silicon, in this case as silicic acid, increases the expression of the *PAL5-3* gene. This translates into greater tolerance to pathogens such as Fol, through different mechanisms that can be biochemical (phenolic compounds) or mechanical as physical barriers (lignin).

These results seem to indicate that silicic acid application has a more pronounced effect on the expression of *ET* gene, in comparison with the expression induced by Fol (Figure 4A). Commonly the attack of pathogens, like Fol, in plants, triggers the production of antimicrobial compounds as well as stress hormones such as SA, JA and ethylene (Table 5, Figure 4A) (Islam *et al.*, 2019). However, silicon also confers the activation of genes involved with plant stress, specifically in the form of silicic acid, it induces defense reactions that improves the production of stress hormones (Fauteux *et al.*, 2005). This was observed mainly with the ethylene related *ET* gene (Figure 4A). This finding agree with that of Van Bockhaven *et al.* (2015) who reported that silicon intervenes specifically in the ET signaling pathway. Similarly, Ghareeb *et al.* (2011) demonstrated that Si-induced resistance is mediated by the ET and JA signaling pathways in tomato plants infected with *Ralstonia solanacearum*. This suggests that in the case of tomato, the application of silicic acid increases tolerance to Fol (Figure 1) by regulating the genes related to phytoalexins (gene *GAME1*, Figure 3A) and the production of ethylene (Figure 4A).

In the case of *ABA* gene, apparently Fol induces a greater expression of this gene in comparison with the application of silicic acid (Figure 4B). Although the reports mention that the attack of pathogens in plants involves the production of ethylene (Cai *et al.*, 2009; Fauteux *et al.*, 2005), the results obtained in tomato indicated that Fol induces mainly the expression of the gene related to abscisic acid (Figure 4B). This can be derived from the antagonism between ABA and ethylene, in addition to the negative effect of ABA to pathogens tolerance (Mauch-Mani & Mauch, 2005). This is consistent with our results, since *ABA* gene expression increased with Fol inoculation in tomato especially at 73 dat, when the severity of pathogen is higher (more than 60%) (Figure 1B). While at 31 dat when no incidence of Fol wilt was found (Figure 1A), there were no significant effects in *ABA* gene expression (Figure 4B). Overall, it is clear that there is a complex interaction between *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* and *ABA* genes that result in different defense responses and tolerance to Fol in tomato (Anderson *et al.*, 2004; de Lamo & Takken, 2020).

CONCLUSIONS

Stress by *F. oxysporum* in tomato plants increased antioxidant enzymatic activity and enzymatic activity antioxidant compounds in leaves, mainly vitamin C, total phenols, PAL, CAT and GPX. It was also observed that the inoculation of Fol in tomato increased the content of salicylic and jasmonic acid (247 and 81.3%, respectively). Additionally, Fol induces increased *JA*, *GAME1*, *PAL5-3* and *ABA* genes expression, at 73 dat; however, it caused a lower concentration chlorophyll and flavonoids, and expression of *PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* and *ABA* gene, at 31 dat.

Silicic acid application to tomato plants stressed by *F. oxysporum* (ASi+Fol), reduced the incidence and severity of Fol wilt (until 70 and 85 dat, respectively); since it increased the content of antioxidant compounds in leaves, mainly flavonoids (24.6%) and chlorophyll (248.6%). In addition to this, led an overexpression of genes associated with to salicylic acid, jasmonic acid, phytoalexins, phenylalanine ammonia lyase, ethylene and abscisic acid synthesis mainly (*PRI*, *JA*, *GAME1*, *PAL5-3*, *ET* and *ABA*), which, as a whole, increased the tolerance to Fol in tomato; this effect of silicic acid was observed in the first days of the transplant, since these genes were subsequently decreased, as well as reduced glutathione, DPPH, CAT and jasmonic acid was reduced.

LITERATURE CITED

- Anderson, J. P., Badruzsaufari, E., Schenk, P. M., Manners, J. M., Desmond, O. J., Ehlert, C., Maclean, D. J., Ebert, P. R., & Kazan, K. (2004). Antagonistic Interaction between Abscisic Acid and Jasmonate-Ethylene Signaling Pathways Modulates Defense Gene Expression and Disease Resistance in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 16(12), 3460–3479. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.025833>
- Anstead, J., Samuel, P., Song, N., Wu, C., Thompson, G. A., & Goggin, F. (2010). Activation of ethylene-related genes in response to aphid feeding on resistant and susceptible melon and tomato plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 134(2), 170–181. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00945.x>
- 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.
- Aybeke, M. (2017). *Fusarium* infection causes genotoxic disorders and antioxidant-based damages in *Orobanche* spp. *Microbiological Research*, 201, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.05.001>
- Babalar, M., Edrisi, B., & Naderi, R. (2016). Evaluation of the Mechanical Strength of Gerbera Flower Stem in Response to Silicon and Salicylic Acid Application. *Journal of Ornamental Plants*, 6(3), 163–171.
- Bakhat, H. F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H. M., Fahad, S., Ashraf, M. R., Shah, G.

- M., Rabbani, F., & Saeed, S. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. *Crop Protection*, 104, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>
- Bathoova, M., Švubová, R., Bokor, B., Neděla, V., Tihlaříková, E., & Martinka, M. (2021). Silicon triggers sorghum root enzyme activities and inhibits the root cell colonization by *Alternaria alternata*. *Planta* 253:2, 1–14. <https://doi.org/10.1007/S00425-020-03560-6>
- Benhamou, N., & Bélanger, R. R. (1998). Benzothiadiazole-mediated induced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in tomato. *Plant Physiology*, 118(4), 1203–1212. <https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1203>
- Bhatt, D., & Sharma, G. (2018). Role of silicon in counteracting abiotic and biotic plant stresses. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 1434–1442.
- 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)
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brunings, A. M., Datnoff, L. E., Ma, J. F., Mitani, N., Nagamura, Y., Rathinasabapathi, B., & Kirst, M. (2009). Differential gene expression of rice in response to silicon and rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 161–170. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00347.x>
- Cai, K., Gao, D., Chen, J., & Luo, S. (2009). Probing the mechanisms of silicon-mediated pathogen resistance. *Plant Signaling and Behavior*, 4(1), 1–3. <https://doi.org/10.4161/psb.4.1.7280>
- Cao, B. li, Wang, L., Gao, S., Xia, J., & Xu, K. (2017). Silicon-mediated changes in radial hydraulic conductivity and cell wall stability are involved in silicon-induced drought resistance in tomato. *Protoplasma*, 254(6), 2295–2304. <https://doi.org/10.1007/s00709-017-1115-y>
- Carré-Missio, V., Rodrigues, F. A., Schurt, D. A., Resende, R. S., Souza, N. F. A., Rezende, D. C., Moreira, W. R., & Zambolim, L. (2014). Effect of foliar-applied potassium silicate on coffee leaf infection by *Hemileia vastatrix*. *Annals of Applied Biology*, 164(3), 396–403. <https://doi.org/10.1111/aab.12109>
- Coninck, E., Scauflaire, J., Gollier, M., Liénard, C., Foucart, G., Manssens, G., Munaut, F., & Legrève, A. (2020). *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. *Journal of Applied Microbiology*, 129(3), 637–651. <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
- Cruz, M. F. A., Debona, D., Rios, J. A., Barros, E. G., & Rodrigues, F. A. (2015). Potentiation of defense-related gene expression by silicon increases wheat resistance to leaf blast. *Tropical Plant Pathology*, 40(6), 394–400. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0051-7>
- Cui, X., Tao, X., Xie, Y., Fauquet, C. M., & Zhou, X. (2004). A DNA Associated with Tomato Yellow Leaf Curl China Virus Is Required for Symptom Induction. *Journal of Virology*, 78(24), 13966–13974. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.24.13966>
- Dallagnol, L. J., Rodrigues, F. A., Pascholati, S. F., Fortunato, A. A., & Camargo, L. E. A. (2015). Comparison of root and foliar applications of potassium silicate in potentiating post-infection defences of melon against powdery mildew. *Plant Pathology*, 64(5), 1085–1093. <https://doi.org/10.1111/ppa.12346>
- Dann, E. K., & Le, D. P. (2017). Effects of Silicon Amendment on Soilborne and Fruit Diseases of Avocado. *Plants*, 6(4), 51. <https://doi.org/10.3390/plants6040051>
- Dawa, K., Zaghoul, M., I. Ahmed, H., & Hamad, K. (2020). Impact of Foliar Application with Iron, Zinc, Silicon Nano Particles and Yeast on Growth, Yield and Water Use Efficiency of Tomato Plants under Water Stress Conditions. *Journal of Plant Production*, 11(6), 523–530. <https://doi.org/10.21608/jpp.2020.106331>
- de Lamo, F. J., & Takken, F. L. W. (2020). Biocontrol by *Fusarium oxysporum* Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*, 11, 37. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037>
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T. a. (1981). Leaf senescence correlated with

- increase levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93–101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Di, X., Gomila, J., & Takken, F. L. W. (2017). Involvement of salicylic acid, ethylene and jasmonic acid signalling pathways in the susceptibility of tomato to *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 18(7), 1024–1035. <https://doi.org/10.1111/mpp.12559>
- Diener, A. C., & Ausubel, F. M. (2005). Resistance to *Fusarium oxysporum* 1, a dominant *Arabidopsis* disease-resistance gene, is not race specific. *Genetics*, 171(1), 305–321. <https://doi.org/10.1534/genetics.105.042218>
- Dorneles, K. R., Dallagnol, L. J., Pazdiora, P. C., Rodrigues, F. A., & Deuner, S. (2017). Silicon potentiates biochemical defense responses of wheat against tan spot. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 97, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.01.001>
- D'Addazio, V., Silva, J. V. G., Jardim, A. S., Longue, L. L., Santos, R. A. A., Fernandes, A. A., Silva, M. B., Silva, D. M., Santos, T. A., Schmildt, E. R., Pfenning, L. H., & Falqueto, A. R. (2020). Silicon improves the photosynthetic performance of black pepper plants inoculated with *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. *Photosynthetica*, 58(3), 692–701. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.182>
- Fagerstedt, K. V., Kukkola, E. M., Koistinen, V. V. T., Takahashi, J., & Marjamaa, K. (2010). Cell Wall Lignin is Polymerised by Class III Secretable Plant Peroxidases in Norway Spruce. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(2), 186–194. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00928.x>
- Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.06.034>
- Fawe, A., Abou-Zaid, M., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (1998). Silicon-Mediated Accumulation of Flavonoid Phytoalexins in Cucumber. *Phytopathology*, 88(5), 396–401. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.5.396>
- Ferreira, H. A., Nascimento, C. W. A. do, Datnoff, L. E., Nunes, G. H. de S., Preston, W., Souza, E. B. de, & Mariano, R. de L. R. (2015). Effects of silicon on resistance to bacterial fruit blotch and growth of melon. *Crop Protection*, 78, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.025>
- Flohé, L., & Günzler, W. A. (1984). Assays of glutathione peroxidase. *Methods in Enzymology*, 105, 114–120. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05015-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05015-1)
- Forcat, S., Bennett, M. H., Mansfield, J. W., & Grant, M. R. (2008). A rapid and robust method for simultaneously measuring changes in the phytohormones ABA, JA and SA in plants following biotic and abiotic stress. *Plant Methods*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-16>
- Fortunato, A. A., da Silva, W. L., & Rodrigues, F. Á. (2014). Phenylpropanoid Pathway Is Potentiated by Silicon in the Roots of Banana Plants During the Infection Process of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology*, 104(6), 597–603. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-13-0203-R>
- Frick, D., Remus, R., Sommer, M., Augustin, J., & von Blanckenburg, F. (2020). Silicon isotope fractionation and uptake dynamics of three crop plants: laboratory studies with transient silicon concentrations. *Biogeosciences*, 17, 6475–6490. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-66>
- Ghareeb, H., Bozsó, Z., Ott, P. G., Repenning, C., Stahl, F., & Wydra, K. (2011). Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 75(3), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2010.11.004>
- González-García, Y., Escobar-Hernández, D. I., Benavides-Mendoza, A., Morales-Díaz, A. B., Olivares-Sáenz, E., & Juárez-Maldonado, A. (2023). UV-A Radiation Stimulates Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in Tomato Plants. *Horticulturae*, 9(4), 499. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040499>
- Gonzalo, M. J., Lucena, J. J., & Hernández-Apaolaza, L. (2013). Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron

- deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 455–461. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.06.007>
- Gulzar, N., Ali, S., Shah, M. A., & Kamili, A. N. (2021). Silicon supplementation improves early blight resistance in *Lycopersicon esculentum* Mill. by modulating the expression of defense-related genes and antioxidant enzymes. *3 Biotech*, 11(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S13205-021-02789-6>
- Habibi, G. (2015). Contrastive response of *Brassica napus* L. to exogenous salicylic acid, selenium and silicon supplementation under water stress. *Archives of Biological Sciences*, 67(2), 397–404. <https://doi.org/10.2298/ABS140411006H>
- Hajiboland, R., Bahrami-Rad, S., & Poschenrieder, C. (2017). Silicon modifies both a local response and a systemic response to mechanical stress in tobacco leaves. *Biologia Plantarum*, 61(1), 187–191. <https://doi.org/10.1007/s10535-016-0633-3>
- Hajiboland, Roghieh, Moradtalab, N., Eshaghi, Z., & Feizy, J. (2017). Effect of silicon supplementation on growth and metabolism of strawberry plants at three developmental stages. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 46(2), 144–161. <https://doi.org/10.1080/01140671.2017.1373680>
- Han, X., & Kahmann, R. (2019). Manipulation of phytohormone pathways by effectors of filamentous plant pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 10, 822. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00822>
- Hao, Z., Wang, L., He, Y., Liang, J., & Tao, R. (2011). Expression of defense genes and activities of antioxidant enzymes in rice resistance to rice stripe virus and small brown planthopper. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(7), 744–751. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.01.014>
- Hoffmann, J., Berni, R., Hausman, J. F., & Guerriero, G. (2020). A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops: Tomato as a model. *Biomolecules*, 10(9), 1284. <https://doi.org/10.3390/biom10091284>
- Hu, J., Li, Y., & Jeong, B. R. (2020). Silicon Alleviates Temperature Stresses in Poinsettia by Regulating Stomata, Photosynthesis, and Oxidative Damages. *Agronomy*, 10(9), 1419. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091419>
- Hussain, S., Shuxian, L., Mumtaz, M., Shafiq, I., Iqbal, N., Brestic, M., Shoaib, M., Sisi, Q., Li, W., Mei, X., Bing, C., Zivcak, M., Rastogi, A., Skalicky, M., Hejnak, V., Weiguo, L., & Wenyu, Y. (2021). Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123256>
- Iqbal, M. J., Yaegashi, S., Ahsan, R., Shopinski, K. L., & Lightfoot, D. A. (2005). Root response to *Fusarium solani* f. sp. *glycines*: Temporal accumulation of transcripts in partially resistant and susceptible soybean. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(8), 1429–1438. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-1969-9>
- Islam, W., Naveed, H., Zaynab, M., Huang, Z., & Chen, H. Y. H. (2019). Plant defense against virus diseases; growth hormones in highlights. *Plant Signaling & Behavior*, 14(6), 1596719. <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1596719>
- Islam, W., Tayyab, M., Khalil, F., Hua, Z., Huang, Z., & Chen, H. Y. H. (2020). Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168(April), 104641. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>
- Jafari, S. R., Arvin, S. M. J., & Kalantari, K. M. (2015). Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings to exogenous silicon and salicylic acid under osmotic stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 59(1), 25–33.
- Jang, S.-W., Kim, Y., Khan, A. L., Na, C.-I., & Lee, I.-J. (2018). Exogenous short-term silicon application regulates macro-nutrients, endogenous phytohormones, and protein expression in *Oryza sativa* L. *BMC Plant Biology*, 18(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1216-y>
- Jeandet, P., Douillet-Breuil, A. C., Bessis, R., Debord, S., Sbaghi, M., & Adrian, M. (2002). Phytoalexins from the vitaceae: Biosynthesis, phytoalexin gene expression in transgenic plants, antifungal activity, and metabolism. *Journal of Agricultural and Food*

- Chemistry*, 50(10), 2731–2741. <https://doi.org/10.1021/jf011429s>
- Kang, G., Li, G., & Guo, T. (2014). Molecular mechanism of salicylic acid-induced abiotic stress tolerance in higher plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(9), 2287–2297. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1603-z>
- Kim, Y.-H., Khan, A. L., Waqas, M., Jeong, H.-J., Kim, D.-H., Shin, J. S., Kim, J.-G., Yeon, M.-H., & Lee, I.-J. (2014). Regulation of jasmonic acid biosynthesis by silicon application during physical injury to *Oryza sativa* L. *Journal of Plant Research*, 127(4), 525–532. <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0641-3>
- Kramell, R., Atzorn, R., Schneider, G., Miersch, O., Brückner, C., Schmidt, J., Sembdner, G., & Parthier, B. (1995). Occurrence and identification of jasmonic acid and its amino acid conjugates induced by osmotic stress in barley leaf tissue. *Journal of Plant Growth Regulation*, 14(1), 29–36. <https://doi.org/10.1007/BF00212643>
- Kuai, J., Sun, Y., Guo, C., Zhao, L., Zuo, Q., Wu, J., & Zhou, G. (2017). Root-applied silicon in the early bud stage increases the rapeseed yield and optimizes the mechanical harvesting characteristics. *Field Crops Research*, 200, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.007>
- Leyva-Mir, S. G., González-Solano, C. M., Rodríguez-Pérez, J. E., & Montalvo-Hernández, D. (2013). Behavior of advanced lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to phytopathogens at Chapingo, Mexico | Comportamiento de líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(3), 301–313. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.070>
- Limon-Corona, M. L., Flores-Olivas, A., Hernández-Castillo, F. D., González-Merino, A. M., Gonzalez-Morales, S., Virgen-Calleros, G., Cerda-García, P. A., & Hernández-Martínez, R. (2022). Efecto de consorcios microbianos en el patosistema *Solanum lycopersicum* - *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), 3221. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3221>
- López-Pérez, M. C., Pérez-Labrada, F., Ramírez-Pérez, L. J., Juárez-Maldonado, A., Morales-Díaz, A. B., González-Morales, S., García-Dávila, L. R., García-Mata, J., & Benavides-Mendoza, A. (2018). Dynamic Modeling of Silicon Bioavailability, Uptake, Transport, and Accumulation: Applicability in Improving the Nutritional Quality of Tomato. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00647>
- Madany, M. M. Y., Saleh, A. M., Habeeb, T. H., Hozzein, W. N., & AbdElgawad, H. (2020). Silicon dioxide nanoparticles alleviate the threats of broomrape infection in tomato by inducing cell wall fortification and modulating ROS homeostasis. *Environmental Science: Nano*, 7(5), 1415–1430. <https://doi.org/10.1039/C9EN01255A>
- Maghsoudi, K., Emam, Y., & Ashraf, M. (2015). Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. *Turkish Journal of Botany*, 39(4), 625–634. <https://doi.org/10.3906/bot-1407-11>
- Malhotra, C. C., Kapoor, R., & Ganjewala, D. (2016). Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation. *Scientia Agriculturae*, 13(2), 59–73. <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.13.2.5973>
- Manivannan, A., & Ahn, Y.-K. (2017). Silicon Regulates Potential Genes Involved in Major Physiological Processes in Plants to Combat Stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>
- Mauch-Mani, B., & Mauch, F. (2005). The role of abscisic acid in plant – pathogen interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(4), 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.05.015>
- Michelena, G., Carrera, E., Bell, A., Altuna, B., & Almeida, G. (2001). Procesos de separación y decoloración del ácido jasmónico a partir de *Botryodiplodia theobromae* cepa 715. *Tecnología, Ciencia, Educación (IMIQ)*, 16(1), 12–19.
- Mo, Z., Lei, S., Ashraf, U., Khan, I., Li, Y., Pan, S., Duan, M., Tian, H., & Tang, X. (2017). Silicon fertilization modulates 2-acetyl-1-pyrroline content, yield formation and grain quality of aromatic rice. *Journal of Cereal Science*, 75, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.014>

- 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>
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867–880.
- Ning, D., Song, A., Fan, F., Li, Z., & Liang, Y. (2014). Effects of Slag-Based Silicon Fertilizer on Rice Growth and Brown-Spot Resistance. *PLoS ONE*, 9(7), e102681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102681>
- Nitsch, L. M. C., Oplaat, C., Feron, R., Ma, Q., Wolters-Arts, M., Hedden, P., Mariani, C., & Vriezen, W. H. (2009). Abscisic acid levels in tomato ovaries are regulated by LeNCED1 and SICYP707A1. *Planta*, 229(6), 1335–1346. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-0913-7>
- Ouzounidou, G., Giannakoula, A., Ilias, I., & Zamanidis, P. (2016). Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. *Revista Brasileira de Botanica*, 39(2), 531–539. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0274-y>
- Padayatt, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., Koh, W. S., & Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. *Handbook of Antioxidants*. CADENAS, E.; PACKER, L. (Eds) 2nd Edition. CRC Press. Washington DC, EE. UU, 117–145. <https://doi.org/doi:10.1201/9780203904046.pt3>
- Paye, W., Tubana, B., Harrell, D., Babu, T., Kanke, Y., & Datnoff, L. (2018). Determination of Critical Soil Silicon Levels for Rice Production in Louisiana Using Different Extraction Procedures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(17), 2091–2102. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1495731>
- Pei, Y., Zhu, Y., Jia, Y., Ge, X., Li, X., Li, F., & Hou, Y. (2020). Molecular evidence for the involvement of cotton GhGLP2, in enhanced resistance to *Verticillium* and *Fusarium* Wilts and oxidative stress. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68943-x>
- Pirayesh, S., Zamanizadeh, H., & Morid, B. (2018). Molecular identification of physiological races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and radialis *lycopersici* causal agent of fusarium wilt of tomato in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(1), 193–202.
- Rahman, A., Wallis, C. M., & Uddin, W. (2015). Silicon-Induced Systemic Defense Responses in Perennial Ryegrass Against Infection by *Magnaporthe oryzae*. *Phytopathology*, 105(6), 748–757. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0378-R>
- Ramírez, P. G., Ramírez, D. G., Mejía, E. Z., Ocampo, S. A., Díaz, C. N., & Rojas Martínez, R. I. (2020). Extracts of *Stevia rebaudiana* against *Fusarium oxysporum* associated with tomato cultivation. *Scientia Horticulturae*, 259, 108683. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108683>
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A., & Oliveira, C. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment*, 56(12), 584–588.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., & Pannala, A. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology And medicine*, 26(9-10), 1231-1237. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584998003153>
- Rodrigues, F. Á., McNally, D. J., Datnoff, L. E., Jones, J. B., Labbé, C., Benhamou, N., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2004). Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, 94(2), 177–183. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.2.177>
- Romero, A., Munévar, F., & Cayón, G. (2011). Silicon and plant diseases. A review. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 473–480.
- Sakr, N. (2021). Soluble Silicon Controls *Fusarium* Head Blight in Bread and Durum Wheat Plants. *Gesunde Pflanzen* 73(4), 479-493. <https://doi.org/10.1007/S10343-021-00568-0>

- Sattar, A., Cheema, M. A., Sher, A., Ijaz, M., Wasaya, A., Yasir, T. A., Abbas, T., & Hussain, M. (2020). Foliar Applied Silicon Improves Water Relations, Stay Green and Enzymatic Antioxidants Activity in Late Sown Wheat. *Silicon*, 12(1), 223–230. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00115-7>
- Shetty, R., Frette, X., Jensen, B., Shetty, N. P., Jensen, J. D., Jorgensen, H. J. L., Newman, M.-A., & Christensen, L. P. (2011). Silicon-Induced Changes in Antifungal Phenolic Acids, Flavonoids, and Key Phenylpropanoid Pathway Genes during the Interaction between Miniature Roses and the Biotrophic Pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiology*, 157(4), 2194–2205. <https://doi.org/10.1104/pp.111.185215>
- Siddiqui, Z. A., Hashmi, A., Khan, M. R., & Parveen, A. (2020). Management of bacteria *Pectobacterium carotovorum*, *Xanthomonas campestris* pv. *carotae*, and fungi *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* and *Alternaria dauci* with silicon dioxide nanoparticles on carrot. *International Journal of Vegetable Science*, 26(6), 547–557. <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1675843>
- Singh, V. K., Singh, H. B., & Upadhyay, R. S. (2017). Role of fusaric acid in the development of ‘Fusarium wilt’ symptoms in tomato: Physiological, biochemical and proteomic perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.028>
- Solarte, R. D., Osorio, O., Hurtado, A. M., & Mejia, D. F. (2012). Evaluación del Bioinsumo de Fique Pulverizado (*Furcraea* spp) para el Control *in vitro* de *Phytophthora infestans* en papa (*Solanum tuberosum* L). *Informacion Tecnologica*, 23(3), 77–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000300010>
- Sousa, E. O., Miranda, C. M. B. A., Nobre, C. B., Boligon, A. A., Athayde, M. L., & Costa, J. G. M. (2015). Phytochemical analysis and antioxidant activities of *Lantana camara* and *Lantana montevidensis* extracts. *Industrial Crops and Products*, 70, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.010>
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134–154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Sun, H., Duan, Y., Mitani-Ueno, N., Che, J., Jia, J., Liu, J., Guo, J., Ma, J. F., & Gong, H. (2020). Tomato roots have a functional silicon influx transporter but not a functional silicon efflux transporter. *Plant, Cell & Environment*, 43(3), 732–744.
- Sun, S., Yang, Z., Song, Z., Wang, N., Guo, N., Niu, J., Liu, A., Bai, B., Ahammed, G. J., & Chen, S. (2022). Silicon enhances plant resistance to Fusarium wilt by promoting antioxidant potential and photosynthetic capacity in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13: 1011859. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1011859>
- Syklowska-Baranek, K., Pietrosiuk, A., Naliwajski, M. R., Kawiak, A., Jeziorek, M., Wyderska, S., Łojkowska, E., & Chinou, I. (2012). Effect of l-phenylalanine on PAL activity and production of naphthoquinone pigments in suspension cultures of *Arnebia euchroma* (Royle) Johnst. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 48(5), 555–564. <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9443-2>
- Telles Nascimento, K. J., Debona, D., Silveira, P. R., Silva, L. C., DaMatta, F. M., & Rodrigues, F. Á. (2016). Silicon-Induced Changes in the Antioxidant System Reduce Soybean Resistance to Frogeye Leaf Spot. *Journal of Phytopathology*, 164(10), 768–778. <https://doi.org/10.1111/jph.12497>
- Van Bockhaven, J., Steppe, K., Bauweraerts, I., Kikuchi, S., Asano, T., Höfte, M., & De Vleeschauwer, D. (2015). Primary metabolism plays a central role in moulding silicon-inducible brown spot resistance in rice. *Molecular Plant Pathology*, 16(8), 811–824. <https://doi.org/10.1111/mpp.12236>
- van den Berg, B., Pedebos, C., Bolla, J. R., Robinson, C. V., Baslé, A., & Khalid, S. (2021). Structural Basis for Silicic Acid Uptake by Higher Plants. *Journal of Molecular Biology*, 433(21), 167226. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2021.167226>
- Vivancos, J., Labbé, C., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2015). Silicon-mediated resistance of Arabidopsis against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. *Molecular Plant Pathology*, 16(6), 572–582. <https://doi.org/10.1111/mpp.12213>

Recibido:
21/abril/2023

Aceptado:
9/enero/2024

- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 701. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>
- Wang, Z., Jia, C., Li, J., Huang, S., Xu, B., & Jin, Z. (2015). Activation of salicylic acid metabolism and signal transduction can enhance resistance to *Fusarium* wilt in banana (*Musa acuminata* L. AAA group, cv. Cavendish). *Functional and Integrative Genomics*, 15(1), 47–62. <https://doi.org/10.1007/s10142-014-0402-3>
- Whan, J. A., Dann, E. K., & Aitken, E. A. B. (2016). Effects of silicon treatment and inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* on cellular defences in root tissues of two cotton cultivars. *Annals of Botany*, 118(2), 219–226. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw095>
- Xue, T., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55–61. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>
- Yu, Z., & Dahlgren, R. A. (2000). Evaluation of Methods for Measuring Polyphenols in Conifer Foliage. *Journal of Chemical Ecology* 26(9), 2119–2140. <https://doi.org/10.1023/A:1005568416040>
- Zvirin, T., Herman, R., Brotman, Y., Denisov, Y., Belausov, E., Freeman, S., & Perl-Treves, R. (2010). Differential colonization and defence responses of resistant and susceptible melon lines infected by *Fusarium oxysporum* race 1·2. *Plant Pathology*, 59(3), 576–585. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02225.x>

**EFECTO ACARICIDA Y OVICIDA DE
LOS ACEITES ESENCIALES DE
Chenopodium ambrosioides L. Y *Peperomia
inaequalifolia* Ruiz & Pav. CONTRA
Tetranychus urticae EN FRESA (*Fragaria* spp.)**

**ACARICIDAL AND OVICIDAL
EFFECT OF THE ESSENTIAL OILS OF
Chenopodium ambrosioides L. AND
Peperomia inaequalifolia Ruiz & Pav.
AGAINST *Tetranychus urticae* (*Fragaria* spp.)**

Espinoza-Gavilanes, R.; I. Tuza-Roa; C. Vásquez-Freytez; K. Jaramillo-Loayza y P. Noriega-Rivera

EFECTO ACARICIDA Y OVICIDA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE *Chenopodium ambrosioides* L. Y *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. CONTRA *Tetranychus urticae* EN FRESA (*Fragaria* spp.)

ACARICIDAL AND OVICIDAL EFFECT OF THE ESSENTIAL OILS OF *Chenopodium ambrosioides* L. AND *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. AGAINST *Tetranychus urticae* IN STRAWBERRY (*Fragaria* spp.)



Efecto acaricida y ovicida de los aceites esenciales de *Chenopodium ambrosioides* L. y *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. contra *Tetranychus urticae* en fresa (*Fragaria* spp.)

Acaricidal and ovicidal effect of the essential oils of *Chenopodium ambrosioides* L. and *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. against *Tetranychus urticae* in strawberry (*Fragaria* spp.)

R. Espinoza-Gavilanes;
I. Tuza-Roa;
C. Vásquez-Freytez;
K. Jaramillo-Loayza;
P. Noriega-Rivera

EFFECTO ACARICIDA Y
OVICIDA DE LOS ACEITES
ESENCIALES DE
Chenopodium ambrosioides L.
Y *Peperomia inaequalifolia*
Ruiz & Pav. CONTRA
Tetranychus urticae EN FRESA
(*Fragaria* spp.)

ACARICIDAL AND
OVICIDAL EFFECT OF THE
ESSENTIAL OILS OF
Chenopodium ambrosioides L.
AND *Peperomia inaequalifolia*
Ruiz & Pav. AGAINST
Tetranychus urticae IN
STRAWBERRY (*Fragaria* spp.)

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 237-247. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.14

R. Espinoza-Gavilanes

Grupo de investigación Cultura, Alimentación y Agricultura,
Universidad Politécnica Salesiana, Av 12 de Octubre N2422 y Wilson,
Quito 170109, Ecuador
Maestría en Productos Farmacéuticos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana

I. Tuza-Roa

Maestría en Productos Farmacéuticos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana

C. Vásquez-Freytez

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato,
Carretera Cevallos Quero, Ambato 180350, Ecuador

K. Jaramillo-Loayza

Paco Noriega-Rivera / pnoriega@ups.edu.ec

Grupo de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas a los Recursos Biológicos,
Universidad Politécnica Salesiana, Av 12 de Octubre N2422 y Wilson,
Quito 170109, Ecuador

RESUMEN: El presente estudio evaluó el efecto acaricida de los aceites esenciales de *Chenopodium ambrosioides* L. y *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. sobre huevos y hembras adultas de *Tetranychus urticae* en plantas de fresa (*Fragaria* spp). Los aceites esenciales se obtuvieron por arrastre de vapor y se analizaron mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG/EM). Los aceites y sus mezclas se diluyeron en dimetilsulfóxido (DMSO) a concentraciones en un rango comprendido entre 0.5% y 4% para los ensayos ovicidas, entre 2.5% y 0.125% para las pruebas acaricidas. Las diversas soluciones se pusieron en contacto con huevos de *T. urticae* para determinar su viabilidad, y en hembras adultas del ácaro para determinar la CL₅₀, en tratamientos distribuidos en un diseño completamente al azar. Como controles positivos se emplearon tetradifon (ovicida) y abemectina (acaricida) y como control negativo DMSO. La química de los aceites evidenció como moléculas más abundantes al silvestreno (18.68%), trans-p-Mentha-2,8-dienol (18.06%), trans-p-menta-1(7),8-dien-2-ol (11.75%) y cis-p-menta-1(7),8-dien-2-ol (11.74%) en *C. ambrosioides*; elemicina (36.33%) y miristicina (20.21%) en *P. inaequalifolia*. Los aceites esenciales resultaron eficientes al momento de inhibir el desarrollo de los huevos del ácaro. Los ensayos sobre hembras adultas muestran conductas diversas en los aceites esenciales, en donde la letalidad es mayor en *P. inaequalifolia* y más baja con *C. ambrosioides*. En general se observó una actividad significativa de los aceites y sus mezclas como ovicidas y a *P. inaequalifolia* como un aceite con potencial acaricida.

Palabras clave: acaricida, aceite esencial, ovicida, *Peperomia inaequalifolia*, *Tetranychus urticae*

ABSTRACT: The present study evaluated the acaricidal effect of the essential oils from *Chenopodium ambrosioides* L. and *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. on eggs and adult females of *Tetranychus urticae* in strawberry plants (*Fragaria* spp). Essential oils were obtained by steam distillation and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). The oils and their mixtures were diluted in dimethyl sulfoxide (DMSO) at concentrations ranging from 0.5% to 4% for

ovicidal tests, between 2.5% to 0.125% for acaricidal tests. The various solutions were put in contact with with *T. urticae* eggs to assess their viability and with adult mite females of the mite to determine the CL50, in treatments distributed in a completely randomized design. Tetradifon (ovicidal) and abamectin (acaricidal) were used as positive controls, and DMSO as the negative control. The chemistry of the oils showed the most abundant molecules in *C. ambrosioides* were sylvestrene (18.68%), trans-p-Mentha-2,8-dienol (18.06%), trans-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol (11.75%) and cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol (11.74%); while in *P. inaequalifolia*, elemicin (36.33%) and myristicin (20.21%) were predominant. The essential oils were efficient in inhibiting the development of mite eggs. The tests on adult females show diverse behaviors in essential oils, where lethality is higher in *P. inaequalifolia* and lower with *C. ambrosioides*. In general, a significant activity of the oils and their mixtures as ovicides, and *P. inaequalifolia* as an oil with acaricidal potential was observed.

Key words: acaricide, essential oil, ovicidal, *Peperomia inaequalifolia*, *Tetranychus urticae*

INTRODUCCIÓN

Los ácaros son plagas que pueden causar pérdidas importantes en el rendimiento de muchos cultivos de interés agrícola como frutas, hortalizas y plantas ornamentales (Inak *et al.*, 2019; Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021) uno de los más problemáticos es *Tetranychus urticae* Koch, conocido como ácaro rojo de dos manchas (Adesanya *et al.*, 2021; Patel *et al.*, 2020; Bamel & Gulati, 2021), que pertenece a la familia Tetranychidae. El excesivo uso de acaricidas de síntesis química para controlar al ácaro ha evidenciado resistencia e ineffectividad para su manejo (Namin *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022).

Estudios confirman actividad acaricida de productos naturales como: piretroides (Schulze & Jordan, 2021), alcaloides (Wu *et al.*, 2021) y sobre todo aceites esenciales (Selles *et al.*, 2021; Deaquiz Oyola *et al.*, 2022; Nwanade *et al.*, 2021), mismos que han demostrado ser sumamente efectivos.

La fresa, conocida también como frutilla (*Fragaria* spp) es un cultivo popular por su alto valor nutritivo y por su aporte de fitonutrientes, minerales y vitaminas (Nunes & Novello, 2021). En Ecuador su cultivo y consumo son importantes (Aragón *et al.*, 2019), lo que significa que un gran número de agricultores dependan del mismo con alrededor de 800 Ha cultivadas. Se estima que entre un 60 a 80% de los cultivos de fresa se ven afectados por la infestación de *T. urticae* (Mendoza León *et al.*, 2018).

Las Especies ecuatorianas que contienen aceites esenciales, son fáciles de extraer y analizar (Noriega Rivera, 2009), resultan promisorios como acaricidas debido a su composición química y usos ancestrales como plaguicidas, como son *Peperomia inaequalifolia*, conocida como “congona”, con evaluaciones preliminares como acaricida (Santacruz y Noriega 2016), adicionalmente estudios químicos del aceite muestran una alta concentración de mirisiticina y elimicina, moléculas conocidas por su alta efectividad plaguicida (Rivera *et al.*, 2015; Valarezo *et al.*, 2023) y *Chenopodium ambrosioides*, usado ancestralmente como antiparasitario, denominada “paico” y que previamente mostró efecto acaricida (Kouam *et al.*, 2015; Aglagane *et al.*, 2022). En el estudio de Kouam se observan porcentajes de efectividad cercanos al 100% a concentraciones de 0.12 y 0.09 $\mu\text{L/g}$ luego de 8 días de exposición usando un tensoactivo para evitar la evaporación de los aceites esenciales, a concentraciones más bajas de 0.06 $\mu\text{L/g}$ y 0.03 $\mu\text{L/g}$ la efectividad llega a un 80% en promedio.

El presente estudio tuvo como propósito encontrar una alternativa de acaricida natural en dos aceites esenciales de la biodiversidad ecuatoriana, como una táctica de control biorracional de *Tetranychus urticae*, en el cultivo de fresas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

Peperomia inaequalifolia (Congona), se colectó en la parroquia San Joaquín del Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, en el sur del Ecuador, en las coordenadas: 2°53'45"S; 79°03'05"O, a una altitud de 2.643 m.s.n.m.

Chenopodium ambrosioides (Paico), se colectó en la parroquia Taquil, del Cantón Loja, Provincia de Loja, en el sur del Ecuador, en las coordenadas: 3° 53' 28" S; 79° 15' 20" O, a una altitud de 2.230 m.s.n.m.

La identificación botánica estuvo a cargo del Biól. Msc. Danilo Minga Ochoa, del herbario de la Universidad del Azuay.

Extracción del Aceite esencial

Para la extracción del aceite esencial se utilizó un destilador de aceites esenciales perteneciente a la Fundación Chankuap Recursos para el Futuro de una capacidad de 250 litros, el mismo opera por el mecanismo conocido como "destilación de agua y vapor de agua" (Noriega Rivera, 2009). El tiempo de destilación fue de 3 horas, para cada proceso se calculó el respectivo rendimiento.

Análisis de Composición Química de los Aceites Esenciales

Se empleó la técnica de Cromatografía Gaseosa Acoplada a Espectrometría de Masas (CG/EM), la muestra de los aceites se preparó disolviendo 10 µL de aceite en 990 µL de diclorometano, el inyector con un modo de Split (40:1). El volumen de inyección fue de 1 µL. El equipo empleado fue un cromatógrafo de gases Trace 1310 acoplado a un espectrómetro de masas ISQ 7000 marca Thermo Fisher Scientific, se usó una columna Thermo Scientific TR-5MS (5% fenil, 95% de dimetilpolisiloxano), gas de acarreo fue helio de una pureza de 99.9999% con un flujo de 1 mL/min. Las condiciones de la columna fueron: inicio a 60 °C por 5 minutos, hasta alcanzar los 100 °C a una velocidad de 2°C/min, posteriormente se alcanzaron los 150 °C, a una velocidad de 3 °C/min, hasta llegar a los 200 °C a 5°C/min. Finalmente se alcanzaron los 230 °C, para mantener esta temperatura por 5 minutos, el tiempo total de análisis fue de 60 minutos. Las condiciones de espectrómetro de masas fueron las siguientes: energía de ionización: 70 eV; corriente de emisión: 10 µAmp; rango de escaneo: 1 scan/s; rango de masas: 40-350 Da; temperatura de la trampa: 230 °C; temperatura de la línea de transferencia: 200 °C, como lo describe (Aguilar *et al.*, 2023).

Identificación de los Compuestos

Los componentes del aceite esencial se determinaron mediante el uso de la base de datos NIST 2001, cálculo de los índices de retención experimentales empleando una serie de alcanos C8-C20 con la ecuación propuesta por (Babushok *et al.*, 2011) y evaluación de los índices de retención teóricos de acuerdo con la base de datos de Adams (2012).

Identificación, crecimiento y reproducción de los ácaros

Los ácaros se colectaron de plantas infestadas en cultivos bajo invernadero en la parroquia Jadán, en la provincia del Azuay en las coordenadas: 2° 86' 66" S; 78° 85' 10" O, a una altitud de 2.800 m.s.n.m. La caracterización de los mismos estuvo a cargo del Doctor Carlos Vásquez Freytez, quien confirmó la especie *Tetranychus urticae*. Para la cría de cohortes de edad homogénea se realizaron unidades de acuerdo con lo establecido por Mendoza León *et al.*, (2018). Fueron transferidas hembras y machos adultos de *T. urticae* para promover la oviposición, obtenidos los huevos deseados se descartaron los ácaros. Las unidades de cría se humedecieron y observaron diariamente hasta la obtención de hembras adultas de 20 días de edad con los cuales se iniciaron los ensayos de efectividad de los aceites.

Evaluación de la actividad ovicida

El efecto ovicida se ejecutó de acuerdo a Afify *et al.* (2012). Se cortaron cuatro discos de hojas de fresa de 3 cm de diámetro para cada concentración y se colocaron en Cajas de Petri de 10 cm de diámetro en la que se ajustó un disco de poliuretano, el disco de hoja se rodeó con una banda de algodón humedecido, se transfirieron a cada disco cinco hembras y se dejaron para que pusieran huevos, a las 24 h se verificó la presencia de 10 huevos en cada disco y se descartaron los ácaros. Las concentraciones de los aceites diluidos en dimetilsulfóxido (DMSO) fueron de 4%, 3%, 2%, 1% y 0.5%. El DMSO puro se usó como control negativo, mientras que el control positivo fue

tetradifón al 8%. Los huevos se mantuvieron a 22 ± 2 °C durante 10 días, luego de ese tiempo se verificó su viabilidad contando los huevos eclosionados, el tratamiento se realizó por cuadruplicado.

Evaluación de la dosis letal media (DL₅₀)

Se siguió la metodología propuesta por (Miresmailli *et al.*, 2006), con modificaciones. El método consistió en sumergir discos de hojas de fresa en las concentraciones de los aceites puros y de su mezcla 50:50. Las concentraciones fueron: 2.5%, 1.25%, 0.625%, 0.313% y 0.156% en DMSO. Como control negativo se empleó DMSO y como control positivo abamectina al 0.05%. Las hojas se colocaron con la cara abaxial hacia arriba sobre una almohadilla de algodón y se rodeó el disco de hoja con una banda de algodón humedecida para evitar el escape de los ácaros y mantener la turgencia de las hojas. Sobre cada hoja se colocaron 5 hembras de 72 horas de edad, a una temperatura de 22 ± 2 °C. Se midió el porcentaje de mortalidad después de 24, 48, 72, 120 horas de la exposición a los tratamientos. Cada tratamiento de repitió por tres veces.

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Las variables de respuesta fueron la inhibición de la viabilidad de los huevos y la letalidad en hembras de *T. urticae*, evaluados a las 24, 48, 72 y 120 horas. Los datos se analizaron previamente para determinar si cumplían los supuestos de normalidad, y homocedasticidad, mediante las pruebas de Shapiro – Wilk y Levene, respectivamente. El análisis de varianza (ANDEVA), se realizó una prueba de Tukey con una probabilidad ($p < 0.05$), empleando el programa Statistix, versión 10, mientras que en el análisis de la concentración letal media se empleó el procedimiento estadístico Probit, mediante regresión lineal y posterior extrapolación de resultados.

RESULTADOS

Extracción del Aceite esencial

Los rendimientos de la extracción de los aceites esenciales fueron de 0.168% para *C. ambrosioides* (paico) y de 0.174% para *P. inaequalifolia* (congona).

Composición química de los aceites

En el aceite esencial de *C. ambrosioides* se detectaron 23 compuestos de los se identificaron 17 con un 96%, los más abundantes: silvestreno (18.68 %), trans-p-menta-2,8-dienol (18.06 %), trans-p-menta-1(7),8-dien-2-ol (11.75%) y cis-p-menta-1(7),8-dien-2-ol (11.74%) (Tabla 1).

En el aceite de *P. inaequalifolia* fueron detectados 17 compuestos, se identificaron un 92.85 %, los más abundantes: elemicina (36.33%) y miristicina (20.21%) (Tabla 2).

Tabla 1. Composición química del aceite esencial de *Chenopodium ambrosioides*.

Table 1. Chemical composition of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides*

Compuesto	Índice de retención teórico ^a	Índice de retención experimental ^b	Composición (%)
alfa-pineno	932	928	0.70
Careno	1008	1005	5.27
p-cimeno	1020	1019	3.66
Silvestreno	1025	1023	18.68
Limoneno	1024	1024	6.75
trans-p-menta-2,8-dienol	1119	1119	18.06
óxido de limoneno	1132	1130	0.94
cis-p-menta-2,8-dien-1-ol	1133	1131	7.22
cis-pinocarveol	1135	1134	0.41
NI	-	-	0.34
trans-p-menta-1(7),8-dien-2-ol	1187	1188	11.75
NI	-	-	1.63
trans-carveol	1215	1217	2.71

cis-p-menta-1(7),8-dien-2-ol	1227	1230	11.74
Ascaridol	1234	1237	3.94
Carvona	1239	1243	3.09
NI	-	-	0.93
NI	-	-	0.58
NI	-	-	0.22
Elemicina	1555	1558	0.23
Globulol	1590	1595	0.21
NI	-	-	0.20
Cedronelona	2102	2098	0.72
Total			100
Identificado		96%	
No identificado		4%	

^a índice de retención teórico según Adams 2012, ^b índice de retención experimental calculado a partir de la comparación con serie de alcanos C8-C30.

^a Theoretical retention index according to Adams 2012, ^b Experimental retention index calculated from the comparison with the C8-C30 alkane series.

Tabla 2. Composición química del aceite esencial de *Peperomia inaequalifolia*.
Table 2. Chemical composition of the essential oil of *Peperomia inaequalifolia*.

Compuesto	Índice de retención teórico ^a	Índice de retención experimental ^b	Composición (%)
Eucaliptol	1026	1020	0.57
Safrol	1285	1281	9.96
metil eugenol	1403	1400	9.77
E- cariofileno	1417	1412	0.50
gamma elemeno	1434	1428	0.94
Aromadendreno	1439	1440	0.10
NI	-	-	0.98
cis muurolo-3,5-dieno	1448	1449	0.76
alfa-humuleno	1454	1453	1.21
NI	-	-	2.00
gamma gurjunene	1475	1478	0.19
Miristicina	1517	1520	20.21
Elemicina	1555	1559	36.33
Viridiflorol	1592	1599	12.31
NI	-	-	2.78
NI	-	-	0.62
NI	-	-	0.76
Total			100
Identificado		92.85 %	
No identificado		7.15 %	

^a índice de retención teórico según Adams 2012, ^b índice de retención experimental calculado a partir de la comparación con serie de alcanos C8-C30.

^a Theoretical retention index according to Adams 2012, ^b Experimental retention index calculated based on the comparison with the C8-C30 alkane series.

Identificación, crecimiento y reproducción de los ácaros

Se confirmó la identidad de la especie *Tetranychus urticae*, ácaro cuyas características morfológicas, coloración verdosa-marrón y manchas laterales son claramente identificables. La Figura 1 muestra la anatomía del ácaro, su crecimiento y reproducción.

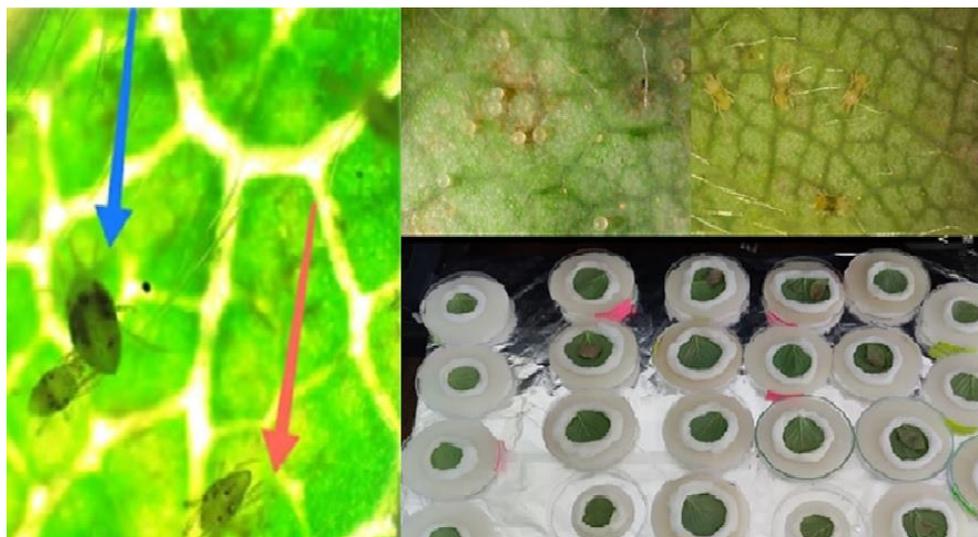


Figura 1. *Tetranychus urticae*, morfofología, reproducción y crecimiento hasta estado ninfal.
Figure 1. *Tetranychus urticae*, morphology, reproduction, and growth up to the nymphal stage.

Evaluación de la actividad ovicida

Ambos aceites esenciales muestran una actividad que inhibe la viabilidad de los huevos de *T. urticae*, misma que fue evaluada como huevos no viables y como porcentaje. Los valores del testigo positivo sobrepasan el 80%, mientras que para *C. ambrosioides* a la máxima concentración evaluada es de un 26% y para *P. inaequalifolia* de un 30%. En la Tabla 3 se aprecian los resultados del ensayo.

Tabla 3. Efecto de la aplicación individual de aceite esencial de *C. ambrosioides* y *P. inaequalifolia* contra la viabilidad de los huevos.

Table 3. Effect of individual application of essential oil of *C. ambrosioides* and *P. inaequalifolia* against egg viability.

Concentración (%)	Inhibición de eclosión de huevos %	
	<i>C. ambrosioides</i>	<i>P. inaequalifolia</i>
Control negativo (DMSO)	1.50 ± 0.866 (3.00%)	1.50 ± 0.645 (3.00%)
0.5	0.25 ± 0.250 (0,50%)	0.00 ± 0.000 (0,00%)
1	0.50 ± 0.288 (1.00%)	1.00 ± 0.707 (2.00%)
2	3.25 ± 1.973 (6.50%)	3.25 ± 1.108 (6.50%)
3	8.25 ± 1.797 (16.50%)	12.00 ± 1.779 (24.00%)
4	13.00 ± 1.080 (26.00%)	15.00 ± 2.380 (30.00%)
Control positivo (Tetradifon 8)	40.75 ± 0.750 (81.50%)	43.00 ± 1.779 (86.00%)

Los datos se expresan como el valor medio ± su desviación estándar para una probabilidad $p \leq 0.05$
 The data are expressed as the mean value ± standard deviation for a probability of ≤ 0.05

Evaluación de la dosis letal media (DL₅₀)

Los resultados obtenidos para los aceites son diferentes, para *P. inaequalifolia* se observan CL₅₀ en un rango de 4.1% a 3.24% en dependencia del tiempo de exposición; mientras que en *C. ambrosioides*, los valores de CL₅₀ son considerablemente más altos entre 22.65% a 12.61%, lo que implica una menor actividad acaricida (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Los estudios realizados en el aceite esencial de *C. ambrosioides*, dan cuenta de resultados bastante diversos, un análisis hecho en Brasil, indica que son el cis y trans ascaridol los compuestos más abundantes, con cerca del 80% (Jardim *et al.*, 2008), el aceite evaluado el 3.94%. Otra investigación de Camerún señala al α -terpineno como el más abundante con alrededor del 50% (Chekem *et al.*, 2010), que en la investigación realizada no se encuentra. Un tercer estudio ejecutado en Colombia indicó que α -terpineno (60.3%) y p-cimeno (20.5%) se encuentran en porcentajes elevados, mientras que el ascaridol llega al 2% (Jaramillo C *et al.*, 2012). Como se puede apreciar los reportes de composición química dependen del origen, lo que dificulta una comparación precisa, pues el aceite varía muchísimo de acuerdo a la ecología.

En el caso del aceite esencial de *P. inaequalifolia*, existe coincidencia en la presencia de miristicina y elimicina como componentes abundantes, elimicina (13.29%) y miristicina (10.07%) (Rivera *et al.*, 2015), otro estudio destaca a elimicina (27.44%) y miristicina (15.45%) (Valarezo *et al.*, 2023).

A excepción del estudio detallado por Santacruz y Noriega 2016 en la congona, no se aprecian otras investigaciones hechas en los dos aceites esenciales como acaricida, sin embargo, partiendo del uso ancestral detallado en las especies como insecticida se valida el presente estudio. En el caso de *C. ambrosioides*, la etnobotánica valora su empleo insecticida y acaricida (Kasali *et al.*, 2021). En *P. inaequalifolia* el estudio previo de Santacruz y Noriega 2016 y su abundante presencia de moléculas insecticidas fundamentan su evaluación.

CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos permiten apreciar actividad ovicida importante en ambos aceites, mismos que estarían vinculadas a una afectación de naturaleza tóxica en los huevos luego del rocío de las soluciones del ensayo.

En la actividad acaricida se observa una menor actividad en los aceites, siendo pobre para *C. ambrosioides* con valores de CL₅₀ muy concentrados y mejor para *P. inaequalifolia* con valores de CL₅₀ que tendrían sentido en una formulación comercial (alrededor de un 4%). Dado que los datos a las concentraciones del estudio no llegaron al 50% de letalidad el ensayo Probit pierde significancia y por ende se concluye que a las concentraciones evaluadas no existe una alta mortalidad.

Tabla 4. Actividad acaricida en los aceites esenciales de *Peperomia inaequalifolia* y *Chenopodium ambrosioides* evaluada en 4 diferentes tiempos de exposición. Los datos se expresan como el valor \pm su desviación estándar para una probabilidad $p \leq 0,05$.

Table 4. Acaricidal activity in the essential oils of *Peperomia inaequalifolia* and *Chenopodium ambrosioides* evaluated at 4 different exposure times. Data are expressed as the mean \pm standard deviation for a probability of $p \leq 0.05$

Especie	Tratamientos	% Mortalidad de hembras adultas (tiempo después de la aplicación).				CL ₅₀
		24h	48h	72h	120h	
<i>P. inaequalifolia</i>	Control absoluto	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	
	Control negativo	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	
	Control positivo	25.60 \pm 1.21	31.20 \pm 1.20	44.80 \pm 0.800	45.60 \pm 0.68	
	0,156%	2.40 \pm 0.25	2.40 \pm 0.25	4.00 \pm 0.32	5.60 \pm 0.51	24 h (4.1%)
	0,3125%	3.20 \pm 0.49	7.20 \pm 0.58	8.00 \pm 0.55	8.80 \pm 0.58	48 h (3.95%)
	0,625%	7.80 \pm 0.80	9.20 \pm 1.11	11.30 \pm 1.14	13.60 \pm 1.03	72 h (3.39%)
	1,25%	9.60 \pm 1.17	15.20 \pm 0.92	22.40 \pm 0.93	27.20 \pm 1.07	120 h (3,24%)
	2,5%	32.00 \pm 0.95	32.80 \pm 0.97	36.80 \pm 1.43	37.60 \pm 1.50	
<i>C. ambrosioides</i>	Control absoluto	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	
	Control negativo	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0,00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	
	Control positivo	21.60 \pm 1.208	35.20 \pm 0.86	39.20 \pm 0.37	44.00 \pm 0.63	
	0,156%	0.40 \pm 0,245	0.40 \pm 0.25	0.700 \pm 0.55	0.80 \pm 0.49	24 h (22.65%)
	0,3125%	1.20 \pm 0.678	1.30 \pm 0.74	1.40 \pm 0.75	1.61 \pm 0.68	48 h (19.41%)
	0,625%	2.30 \pm 0.510	2.50 \pm 0.74	2.76 \pm 0.87	3.10 \pm 0.87	72 h (12.75%)
	1,25%	4.40 \pm 0.490	5.20 \pm 0.55	6.60 \pm 0.68	4.25 \pm 0.68	120 h (12.61%)
	2.5%	5.60 \pm 0.748	6.40 \pm 0.93	9.60 \pm 1.03	10.40 \pm 1.50	

LITERATURA CITADA

- Adams, R. P. (2012). Identification of Essential Oils by Ion trap Mass Spectroscopy. Academic Press.
- Adesanya, A. W., Lavine, M. D., Moural, T. W., Lavine, L. C., Zhu, F., & Walsh, D. B. (2021). Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. In *Journal of Pest Science* (Vol. 94, Issue 3). <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01342-x>
- Afify, A. E. M. M. R., Ali, F. S., & Turkey, A. F. (2012). Control of *Tetranychus urticae* Koch by extracts of three essential oils of chamomile, marjoram and *Eucalyptus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(1). [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60184-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60184-6)
- Aglagane, A., Laghzaoui, E. M., Soulaïmani, B., Er-Rguibi, O., Abbad, A., Mouden, E. H. El, & Aourir, M. (2022). Acaricidal activity of *Mentha suaveolens* subsp. *timija*, *Chenopodium ambrosioides*, and *Laurus nobilis* essential oils, and their synergistic combinations against the ectoparasitic bee mite, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Journal of Apicultural Research*, 61(1). <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1898787>
- Aguilar, G., Calva, J., Cartuche, L., Salinas, M., & Armijos, C. (2023). Chemical Constituents, Enantiomer Content, Antioxidant and Anticholinesterase Activities of *Valeriana microphylla* Kunth Essential Oil. *Plants*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/plants12112155>
- Aragón, J. P., Parra, E., Chicaiza, Á., & Aragón, M. (2019). Análisis de la cadena agroproductiva de cebada (*Hordeum vulgare*) del Carchi y frutilla (*Fragaria* sp) en Pichincha. *Natura@economía*, 4(2). <https://doi.org/10.21704/ne.v4i2.1410>
- Babushok, V. I., Linstrom, P. J., & Zenkevich, I. G. (2011). Retention Indices for Frequently Reported Compounds of Plant Essential Oils. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 40(4). <https://doi.org/10.1063/1.3653552>
- Bamel, K., & Gulati, R. (2021). Biology, population built up and damage potential of Red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on marigold: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(1). <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i1h.8201>
- Chekem, M. S. G., Lunga, P. K., Tamokou, J. de D., Kuate, J. R., Tane, P., Vilarem, G., & Cerny, M. (2010). Antifungal properties of *Chenopodium ambrosioides* essential oil against candida species. *Pharmaceuticals*, 3(9). <https://doi.org/10.3390/ph3092900>
- Deaquiz Oyola, Y. A., Torres cabra, E., & Espinosa Suarez, C. L. (2022). Actividad acaricida in vitro del aceite esencial de tomillo contra el ácaro rojo (*Dermanyssus gallinae*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.5822>
- İnak, E., Alpkent, Y. N., Çobanoğlu, S., Dermauw, W., & Van Leeuwen, T. (2019). Resistance incidence and presence of resistance mutations in populations of *Tetranychus urticae* from vegetable crops in Turkey. *Experimental and Applied Acarology*, 78(3). <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00398-w>
- Jaramillo C, B. E., Duarte R, E., & Delgado, W. (2012). Bioactivity of essential oil from Colombian *Chenopodium ambrosioides*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(1).
- Jardim, C. M., Jham, G. N., Dhingra, O. D., & Freire, M. M. (2008). Composition and antifungal activity of the essential oil of the brazilian *Chenopodium ambrosioides* L. *Journal of Chemical Ecology*, 34(9). <https://doi.org/10.1007/s10886-008-9526-z>
- Kasali, F. M., Tusiimire, J., Kadima, J. N., & Agaba, A. G. (2021). Ethnomedical uses, chemical constituents, and evidence-based pharmacological properties of *Chenopodium ambrosioides* L.: extensive overview. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s43094-021-00306-3>
- Kouam, M. K., Payne, V. K., Miégoué, E., Tendonkeng, F., Lemoufouet, J., Kana, J. R., Boukila, B., Pamo, E. T., & MNM, B. (2015). Evaluation of In Vivo Acaricidal Effect of Soap Containing Essential Oil of *Chenopodium ambrosioides* Leaves on *Rhipicephalus lunulatus* in the Western Highland of Cameroon. *Journal of Pathogens*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/516869>
- Liu, Z., Wu, F., Liang, W., Zhou, L., & Huang, J. (2022). Molecular Mechanisms Underlying Metabolic Resistance to Cyflumetofen and Bifenthrin in *Tetranychus urticae* Koch on

Recibido:
27/agosto/2023

Aceptado:
12/enero/2024

- Cowpea. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24). <https://doi.org/10.3390/ijms232416220>
- Mendoza León, D., Dobronski Arcos, J., Vásquez Freytez, C., Frutos Pinto, V., & Paredes Carreño, S. (2018). Control de *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) con *Bacillus subtilis* en hojas de fresa (*Fragancia vesca*). *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35676>
- Miresmailli, S., Bradbury, R., & Isman, M. B. (2006). Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. *Pest Management Science*, 62(4). <https://doi.org/10.1002/ps.1157>
- Namin, H. H., Zhurov, V., Spenler, J., Grbić, M., Grbić, V., & Scott, I. M. (2020). Resistance to pyridaben in Canadian greenhouse populations of two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* (Koch). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104677>
- Noriega Rivera, P. (2009). Extracción, química, actividad biológica, control de calidad y potencial económico de los aceites esenciales. *La Granja*, 10(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n10.2009.01>
- Nunes, G., & Novello, D. (2021). Morango (*Fragaria x Ananassa* Duch): produtividade, composição química, nutricional e sensorial. *Revista Valore*, 6. <https://doi.org/10.22408/rev602021279e-6002>
- Nwanade, C. F., Wang, M., Wang, T., Zhang, X., Zhai, Y., Zhang, S., Yu, Z., & Liu, J. (2021). The acaricidal activity of cinnamon essential oil: current knowledge and future perspectives. *International Journal of Acarology*, 47(5). <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1936632>
- Patel, N. B., Bhatt, N. A., & Patel, C. C. (2020). Effect of weather parameters on incidence of brinjal mite, *Tetranychus urticae* Koch and its predatory mite, *Amblyseius alstoniae* Gupta. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 3095–3099.
- Rivera, P. N., Mosquera, T., Baldisserotto, A., Abad, J., Aillon, C., Cabezas, D., Piedra, J., Coronel, I., & Manfredini, S. (2015). Chemical Composition and in-vitro biological activities of the essential oil from leaves of *Peperomia inaequalifolia* Ruiz & Pav. In ~ 29 ~ *American Journal of Essential Oils and Natural Products* (Vol. 2, Issue 4).
- Santacruz Paola, Noriega Paco (2016). La Congona: Evaluación del efecto acaricida del aceite esencial de las hojas de Congona sobre ácaros de frutilla. Editorial Académica Española. Madrid España
- Schmidt-Jeffris, R. A., Coffey, J. L., Miller, G., & Farfan, M. A. (2021). Residual Activity of Acaricides for Controlling Spider Mites in Watermelon and Their Impacts on Resident Predatory Mites. *Journal of Economic Entomology*, 114(2). <https://doi.org/10.1093/jee/toaa320>
- Schulze, T. L., & Jordan, R. A. (2021). Synthetic pyrethroid, natural product, and entomopathogenic fungal acaricide product formulations for sustained early season suppression of host-seeking ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) and *Amblyomma americanum* nymphs. *Journal of Medical Entomology*, 58(2). <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa248>
- Selles, S. M. A., Kouidri, M., González, M. G., González, J., Sánchez, M., González-Coloma, A., Sanchis, J., Elhachimi, L., Sonia Olmeda, A., Tercero, J. M., & Valcárcel, F. (2021). Acaricidal and repellent effects of essential oils against ticks: A review. In *Pathogens* (Vol. 10, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/pathogens10111379>
- Valarezo, E., Herrera-García, M., Astudillo-Dávila, P., Rosales-Demera, I., Jaramillo-Fierro, X., Cartuche, L., Meneses, M. A., & Morocho, V. (2023). Study of the Chemical Composition and Biological Activity of the Essential Oil from Congona (*Peperomia inaequalifolia* Ruiz and Pav.). *Plants*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/plants12071504>
- Wu, Y., Ren, D., Gao, C., Li, J., Du, B., Wang, Z., & Qian, S. (2021). Recent advances for alkaloids as botanical pesticides for use in organic agriculture. In *International Journal of Pest Management*. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1917723>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

BEGONIAS COMESTIBLES DE SANTIAGO ECATLÁN, MUNICIPIO DE JONOTLA, PUEBLA, MÉXICO

EDIBLE BEGONIAS FROM SANTIAGO ECATLÁN, JONOTLA MUNICIPALITY, PUEBLA, MEXICO

Cedillo Portugal, E.; D. Guerra-Ramírez; J.M. Cunill-Flores; J. Ricardo de Santiago-Gómez; D. González-Castillo y P. Díaz-Barrios

BEGONIAS COMESTIBLES DE SANTIAGO ECATLÁN, MUNICIPIO DE JONOTLA, PUEBLA, MÉXICO

EDIBLE BEGONIAS FROM SANTIAGO ECATLÁN, JONOTLA MUNICIPALITY, PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 249-262 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.15



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/)).

Begonias comestibles de Santiago Ecatlán, municipio de Jonotla, Puebla, México**Edible begonias from Santiago Ecatlán, Jonotla municipality, Puebla, Mexico**

Cedillo Portugal, E.;
D. Guerra-Ramírez;
J.M. Cunill-Flores;
J. Ricardo de Santiago-Gómez;
D. González-Castillo
y P. Díaz-Barrios

BEGONIAS COMESTIBLES
DE SANTIAGO ECATLÁN,
MUNICIPIO DE JONOTLA,
PUEBLA, MÉXICO

EDIBLE BEGONIAS FROM
SANTIAGO ECATLÁN,
JONOTLA MUNICIPALITY,
PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 249-262. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.15

Ernestina Cedillo Portugal

Área de Biología, Departamento de Preparatoria Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco.
CP 56230 Texcoco Estado de México, México

Diana Guerra-Ramírez / dguerrar@chapingo.mx

Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria
Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco
CP 56230, Texcoco Estado de México, México

José María Cunill-Flores

Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla
Calle Popocatepetl S/N, CP 72480, Puebla, Puebla

Jesús Ricardo de Santiago-Gómez

Departamento de Biología comparada, Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior
s/n Alcaldía Coyoacán, CP 04510, Ciudad Universitaria, CDMX, México

Daniela González-Castillo

Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica metropolitana de Puebla
Calle Popocatepetl S/N, CP 72480, Puebla, Puebla.

Paola Díaz-Barrios

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n Alcaldía Coyoacán,
CP 04510, Ciudad Universitaria, CDMX, México

RESUMEN: En la comunidad de Santiago Ecatlán, Jonotla, Puebla, ubicada en una región cultural habitada por totonacos, los pobladores aprovechan diversas especies vegetales con distintos usos. Entre las especies comestibles, destacan algunas del género *Begonia* (Begoniaceae), valoradas principalmente por su importancia cultural. Los peciolos de estas begonias se consumen como "quelites" y son apreciados tanto por su sabor como por los ingresos económicos que generan a través de su venta. Factores como la erosión cultural, el cambio climático, el intercambio de especies entre comunidades de diferentes estados, además de los avances en los estudios taxonómicos, pueden modificar la información existente de trabajos anteriores acerca de las plantas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la información sobre las begonias comestibles, su propagación y forma de consumo en la comunidad de Ecatlán, a través de un estudio etnobotánico. La información se recopiló mediante la observación participante, entrevistas abiertas y semiestructuradas y la recolección de muestras botánicas. Se identificaron las siguientes especies: *Begonia thiemei* y *B. manicata* como las más utilizadas, *B. heracleifolia* con dos variantes, un probable híbrido entre *B. heracleifolia* y *B. manicata*, que posiblemente había sido reportado por otros autores como *B. barkeri* o *B. aff. barkeri* y otra identificada solamente a género, cuyas características morfológicas hacen suponer que podría ser una especie nueva para la ciencia. En cuanto a las especies mencionadas por otros autores como comestibles en la zona, se coincidió en el uso de *Begonia heracleifolia*, *B. manicata* y el probable híbrido mencionado anteriormente. Sin embargo, no se encontraron

indicios de la presencia y/o uso de *B. fusca*, *B. incarnata* y *B. glabra*, reportadas en trabajos anteriores. Por último, se registró que *B. nelumbonifolia* no es apreciada como alimento por los habitantes de la localidad. Las especies identificadas se encontraron en huertos familiares, cafetales, "ranchos" y a lo largo de los caminos. Con base en la información recopilada se encontró que la propagación de las begonias se lleva a cabo de dos formas: 1) a través de los rizomas y 2) en el caso de *B. thiemei*, mediante el corte de la hoja madura, aproximadamente 2-3 cm por debajo de la lámina foliar, y su posterior plantación en tierra. Estas especies están disponibles durante todo el año, y la preparación del platillo tradicional incluye diversos ingredientes, entre ellos, especies de las familias Apiaceae y Piperaceae.

Palabras clave: Begoniaceae, Ecatlán, uso comestible, platillo tradicional.

ABSTRACT: In the community of Santiago Ecatlán, Jonotla, Puebla, located in a cultural region inhabited by Totonacos, the residents take advantage of various plant species with different uses. Among the edible species, some of the *Begonia* genus (Begoniaceae) stand out, valued mainly for their cultural importance. The petioles of these begonias are consumed as "quelites" and are appreciated both for their flavor and for the economic income they generate through their sale. Factors such as cultural erosion, climate change, the exchange of species between communities from different states, in addition to advances in taxonomic studies, can modify the existing information from previous works about plants. Therefore, the objective of this work was to update the information on edible begonias, their propagation and form of consumption in the community of Ecatlán, through an ethnobotanical study. The information was collected through participant observation, open and semi-structured interviews, and the collection of botanical samples. The following species were identified: *Begonia thiemei* and *B. manicata* as the most used, *B. heracleifolia* with two variants, a probable hybrid between *B. heracleifolia* and *B. manicata*, which had possibly been reported by other authors as *B. barkeri* or *B. aff. barkeri* and another identified only to the genus, whose morphological characteristics suggest that it could be a new species for science. Regarding the species mentioned by other authors as edible in the area, there was agreement on the use of *Begonia heracleifolia*, *B. manicata* and the probable hybrid mentioned above. However, no evidence was found of the presence and/or use of *B. fusca*, *B. incarnata* and *B. glabra*, reported in previous works. Finally, it was recorded that *B. nelumbonifolia* is not appreciated as food by the local inhabitants. The identified species were found in family gardens, coffee plantations, "ranches" and along roads. Based on the information collected, it was found that the propagation of begonias is carried out in two ways: 1) through the rhizomes and 2) in the case of *B. thiemei*, by cutting the mature leaf, approximately 2-3 cm below the leaf blade, and its subsequent planting in soil. These species are available throughout the year, and the preparation of the traditional dish includes various ingredients, including species from the Apiaceae and Piperaceae families.

Key words: Begonia, Ecatlán, residents, edible use, traditional dish.

INTRODUCCIÓN

México presenta una gran diversidad biológica, ecológica y cultural, debido a: su intrincada historia geológica y compleja fisiografía (Ferrusquia-Villafranca, 1998) sobreposición de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical, variedad de climas y suelos resultado de su ubicación geográfica (Rzedowski, 2006). Esta diversidad nos proporciona materiales inagotables de estudio en las diferentes líneas de investigación referente a los recursos naturales. Una de éstas, es la búsqueda de nuevos recursos vegetales, que puedan contribuir a la solución de las necesidades básicas de una población tan vasta como la que tiene México. Considerando que la Etnobotánica es el campo científico que estudia las interrelaciones que se establecen entre el hombre y las plantas, a través del tiempo y en diferentes ambientes, determinados por el medio y la cultura (Hernández-Xolocotzi, 1979), la investigación en este campo es de gran importancia, por constituir un mecanismo de detección y estudio de los recursos vegetales. México presenta una gran diversidad cultural que se manifiesta a través de su riqueza lingüística, creencias, conocimientos y prácticas sobre el manejo de recursos

(Toledo, 2001). La eliminación o la influencia cultural externa de los atributos culturales de los seres humanos, puede conducir a la pérdida de prácticas y saberes tradicionales relacionados con la cosmovisión y el aprovechamiento de los recursos naturales, entre los cuales se encuentran las plantas, que en muchos casos se han constituido gracias a un largo proceso de observación, de la práctica y de la experiencia.

De acuerdo con (Toledo, 2001), los pueblos indígenas tienen sistemas cognitivos generados sobre sus propios recursos naturales de su entorno, que se transmiten de generación a generación a través del lenguaje, por lo que, generalmente carecen de registros escritos. La memoria es, por tanto, el recurso intelectual más importante entre las culturas indígenas. Por lo anterior, es importante sistematizar el conocimiento tradicional que tienen los pobladores acerca del uso de sus plantas, entre las cuales están las comestibles.

Los "quelites" se definen como plantas generalmente herbáceas; sin embargo, también se incluyen algunas especies arbustivas y arbóreas, cuyas hojas y tallos tiernos y en ocasiones también las inflorescencias inmaduras son consumidas como verdura (Bye, 1981). La palabra quelite deriva del náhuatl "quilit", que es el término genérico para designar las plantas cuyo follaje es comestible, usado como verdura y se corresponde con el término totonaco "kaka". Estos términos se distinguen de las palabras "xihuit" en náhuatl y "xtuyu", "ihtawat" o "palhma" en totonaco, que designan a las hierbas en general (Aparicio & García E., 1995). El conocimiento del uso y manejo de los quelites se ha ido transmitiendo de generación a generación a través de la experiencia y la práctica, además de la cosmovisión respecto al patrimonio biocultural.

Los quelites son especies de poco significado económico tanto por la reducida superficie cosechada como por el valor de la cosecha; sin embargo, tienen un gran valor en la alimentación nacional; en los mercados de México se observa la diversidad de quelites que se encuentran a la venta y que contribuyen a la nutrición proporcionando fibra, vitaminas y minerales. Su potencial como recursos fitogenéticos por su plasticidad feno y genotípica, por ser parientes de diversas especies cultivadas y domesticadas, y por estar actualmente sujetos a procesos de evolución hacia la domesticación (Castro *et al.*, 2011).

El género *Begonia* pertenece a la familia Begoniaceae, ampliamente distribuida en las regiones tropicales del mundo, excepto en Australia. Está compuesta por *Hillebrandia*, un género monotípico y endémico de Hawaii y *Begonia* que, con más de 2000 especies, es uno de los géneros más numerosos de plantas (Hughes *et al.*, 2015; Ramírez-Amezcuca Y., 2008). Incluye a herbáceas anuales o perennes, raramente arbustos o trepadoras, monoicas o raramente dioicas; los tallos suculentos y alargados, raramente leñosos o reducidos a un rizoma tuberoso; hojas simples o raramente compuestas, alternas, palmadamente nervadas, con estípulas persistentes o caedizas; inflorescencias cimosas con flores unisexuales; las flores estaminadas con 2-4 tépalos, estambres pocos o numerosos; las pistiladas con 2-5 tépalos, el ovario ínfero con 2-3 lóculos, generalmente 3-alado, estilos comúnmente 3 y el fruto una cápsula 3-alada. *Begonia* es económicamente importante, ya que muchas especies se cultivan como ornamentales y se tiene registro de más de 10,000 híbridos y cultivares, son de fácil propagación y aptas para interiores (Jiménez, 1997; Ramírez-Amezcuca Y., 2008).

Aparte de la importancia de las especies de *Begonia* como plantas ornamentales y comestibles, diferentes fuentes mencionan su uso como plantas medicinales, por ejemplo: las raíces y los rizomas tuberosos de las begonias se han utilizado extensivamente en la medicina tradicional, específicamente, las raíces de *Begonia gracilis* se utilizan como eméticos, purgativos y catárticos (Hernández & Jordá, 1981; M. Martínez, 1989). (Wong, 1976) en su trabajo de las plantas medicinales tradicionales de Trinidad, reporta a *Begonia humilis* Ait. como medicinal para el tratamiento de la tos, resfriado de pecho, tuberculosis y fiebre.

Los tallos, pecíolos o raramente las hojas son consumidas en diferentes grados de preparación: crudas como “golosinas” o “botanas” o eventualmente en ensaladas, aunque se resalta la potencial toxicidad del oxalato de calcio contenido en los tejidos de la planta y se menciona que son consumidos en cantidades escasas (Laferrière, 1992; Rajbhandary, 2013); con un grado de preparación mínimo, como ingredientes culinarios, en la preparación de salsas para acompañar otros alimentos como pescado o cerdo o fermentados a la manera de pepinillos y consumidos como tales (Laferrière, 1992; Rajbhandary, 2013); o finalmente, como ingredientes principales o “quelites” en platillos preparados en comunidades indígenas de la Sierra Norte de Puebla, en los que son los ingredientes principales (Basurto-Peña *et al.*, 1998, 2003).

En diferentes trabajos de tipo etnobotánico enfocados a las plantas útiles y dentro de éstas, aquellas usadas como comestibles, se registran algunas especies de *Begonia* (Basurto-Peña *et al.*, 1998, 2003; Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020; Cuevas, 1991; M. Martínez, 1989; M. A. Martínez *et al.*, 2007), registran para la Sierra Norte de Puebla 6 especies de *Begonia* (*Begonia* aff. *barkeri*, *B. fusca* Liebm., *B. heracleifolia* Schltld. & Cham., *B. incarnata* Link & Otto, *B. manicata* Brongn. ex F. Cels y *B. nelumbonifolia* Schltld. & Cham.), usadas como comestibles con aprovechamiento para auto abasto y para venta en el mercado, con un manejo que incluye recolecta en poblaciones silvestres, trasplante de rizomas y propagación vegetativa por plantación de hojas, para establecimiento e incremento de las poblaciones en cafetales y huertos familiares.

La erosión cultural, el cambio climático, los avances en los estudios taxonómicos del género *Begonia* en México y el intercambio de especies entre comunidades de diferentes estados, son factores que pueden modificar la información existente sobre las especies de una región. Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la información sobre las begonias comestibles, su propagación y forma de consumo en la comunidad de Ecatlán, mediante un estudio etnobotánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La comunidad de Santiago Ecatlán, pertenece al municipio de Jonotla, Puebla y se localiza 7 km al NE de la cabecera municipal (Fig.1). Se ubica entre las coordenadas: 20° 03' 07.533" latitud norte y 97° 33' 23.560" longitud oeste a una altitud media de 627 msnm (INEGI, 2020) dentro de la porción geográfica conocida como Sierra Norte de Puebla, localizada en la región en la que convergen la Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transversal (Rzedowski, 2006). De acuerdo con el censo de población y vivienda de (INEGI, 2020), la población total es de 722 habitantes, de los cuales, 374 son hombres y 348 mujeres.

El poblado de Ecatlán está ubicado en una región cultural considerada territorio habitado por el pueblo totonaco desde la época precolombina, el cual se localiza en la costa central del Golfo de México y la Sierra Norte de Puebla (*Atlas de los Pueblos Indígenas de México*, 2023). En las fronteras de este territorio, los totonacos limitaron y coexistieron con los pueblos nahua, otomí, tepehua y huasteco (Becerril E., 2014).

La geología de la región es de rocas sedimentarias y el suelo predominante es del tipo leptosol (Anuario estadístico de Puebla, 2017). El clima pertenece al tipo semicálido, A(C) m (w") (i') g, con una temperatura anual que oscila entre 16.2 a 27 °C y una precipitación media anual de 2,902 mm (Rangel-Meza *et al.*, 2004).

La vegetación en la comunidad ha sido bastante alterada por los pobladores, de modo que a excepción de algunas áreas que no han sido perturbadas, quizá por su pendiente excesiva, los elementos que se observan como relictos corresponden a una selva mediana subperennifolia (Miranda & Hernández, 1963) o bosque tropical subcaducifolio (Rzedowski, 2006); además,

destaca la composición de agroecosistemas donde domina el cafetal intercalado con chilares, huertos caseros y otros sistemas agrosilvopastoriles (Cunill-Flores & Guerra-Ramírez, 2014).

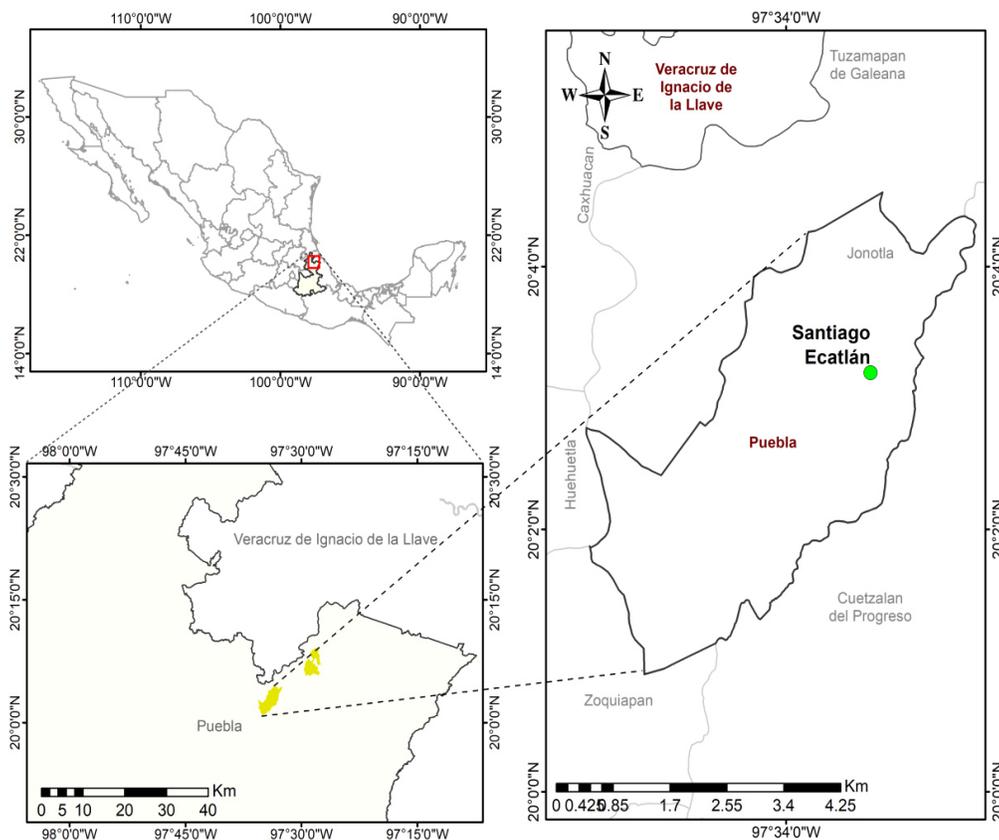


Figura 1. Localización de la comunidad de Ecatlán, Puebla (elaboración propia).

Figure 1. Location of the community of Ecatlán, Puebla (own elaboration).

Entrevistas y recolecta botánica

La información se recopiló mediante entrevistas abiertas, semiestructuradas y observación participante (Martin, 1995), se hicieron un total de 9 visitas, tres veces al año, entre 2019 y 2021. El número de personas entrevistadas, tamaño de la muestra (n), fue de 61 y se calculó utilizando la Ecuación (1) propuesta por ((López-Santiago *et al.*, 2019).

Ecuación 1 Tamaño de muestra

$$n = \frac{NZ^2pq}{d^2(N-1) + Z^2pq}$$

Donde N= total de la población (722); p= proporción esperada (0.08); q= 1-p (d= porcentaje de error (0.0549); y Z²= nivel de confianza (1.65).

El formato de la entrevista incluyó: nombre del entrevistado, edad, sexo, ocupación y lengua materna. Se hicieron preguntas como: nombre en español y totonaco de las especies de *Begonia*, parte de la planta que se utiliza, forma de preparación incluyendo ingredientes, frecuencia de consumo, época del año del consumo, localización: huerto, rancho, cafetal, otro (orilla de caminos) y forma de propagación. Los cuestionarios fueron dirigidos a las personas

que poseen las características requeridas para el trabajo, como la intuición etnobotánica y conocimientos de la localización de las especies estudiadas (López-Santiago *et al.*, 2019; Bautista-García *et al.*, 2016; Gómez García *et al.*, 2016.). Durante las entrevistas, la información más importante se obtuvo en los huertos familiares, se tomaron fotografías de las especies registradas, así como videos del proceso de preparación del platillo tradicional elaborado con rodajas de los pecíolos de las especies utilizadas y otros ingredientes. Se realizaron recolectas botánicas en los huertos familiares, vegetación secundaria, relictos de la selva mediana, los cafetales y terrenos de cultivo.

Los ejemplares recolectados fueron identificados taxonómicamente con claves específicas (Jiménez, 1997; Mcmillan *et al.*, 2006), se cotejaron con ejemplares del Herbario Nacional (MEXU) de la UNAM y se consultó a un investigador experto del género *Begonia*. Se verificó la nomenclatura botánica en las páginas web. (*Tropicos.org. Missouri Botanical Garden*, s/f) y (*POWO "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet*, 2023). Los ejemplares de herbario se depositaron en el "Herbario Hortorio JES" del Área de Biología del Departamento de Preparatoria Agrícola.

RESULTADOS

De una población de 722 personas, fueron seleccionados 61 individuos; 54 mujeres y 7 hombres; que comprenden 16 familias. En el Gráfico 1 se registra en número de personas que conocen cada una de las especies de *Begonia*, mientras que en el Gráfico 2 la frecuencia de consumo.

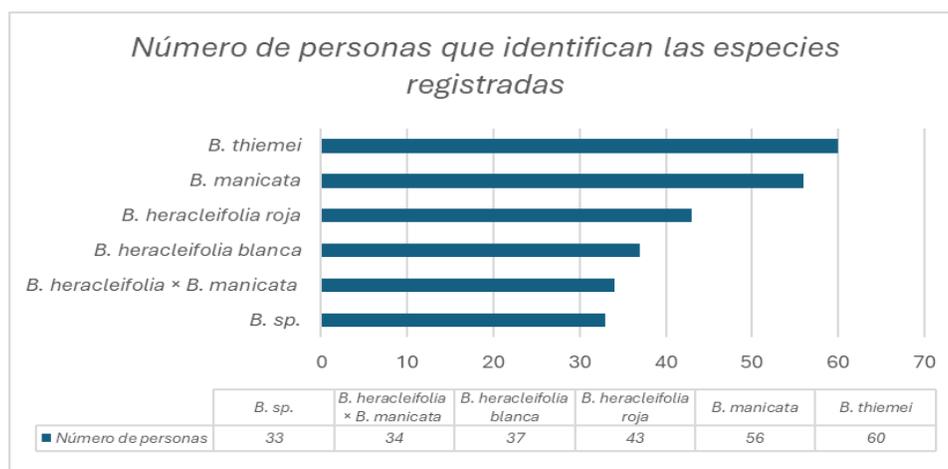


Gráfico 1. Número de personas por especie.

Graph 1. Number of individuals per species.



Gráfico 2. Frecuencia de uso de cada especie de *Begonia* por entrevistado.

Graph 2. Frequency of use of each species of *Begonia* per respondent.

Especies registradas

En el Cuadro 1 se muestran los diferentes taxones, así como sus nombres comunes en español, náhuatl o totonaco, de las especies registradas e identificadas en la comunidad de Santiago Ecatlán. En esta investigación se determinaron taxonómicamente 3 especies del género *Begonia*: *B. manicata*, *B. heracleifolia*, de la cual se reconocieron dos variantes (roja y blanca) y *B. thiemei*; una de las recolectas resultó ser un probable híbrido entre *B. heracleifolia* × *B. manicata* y otra más, se determinó sólo a género.

Cuadro 1. Especies comestibles de *Begonia* y sus respectivos nombres comunes, registradas en la comunidad de Santiago Ecatlán.

Table 1. Edible species of *Begonia* and their respective common names, recorded in the community of Santiago Ecatlán.

Especie	Nombre común local en español, nahuátl o Totonaco	Observaciones
<i>Begonia thiemei</i> C. DC.	“xocoyol café”, “xocoyol”, “luwaná xkútni”	Preferido para la preparación del platillo tradicional ofrecido en los velorios
<i>Begonia heracleifolia</i> Schltld. & Cham. variante roja	“xocoyol criollo”, “luwaná xukuyulí”, “xkútni” “xocoyol rojo”	Más consistente que la variante blanca y resiste al hervor
<i>Begonia heracleifolia</i> Schltld. & Cham. variante blanca	“xocoyol blanco”	"Se deshace al hervir por tiempo prolongado"
<i>Begonia manicata</i> Brongn. ex Cels	“xocoyol liso”, “suronkot”	Preferido para la preparación del platillo tradicional ofrecido en los velorios
Probable híbrido entre <i>Begonia heracleifolia</i> Schltld. & Cham. × <i>Begonia manicata</i> Brongn. ex Cels	“xtapalhani suronkot”	De menor preferencia, solo en casos necesarios
<i>Begonia</i> sp.	“xtapalhani luwaná xkútni”	De menor preferencia, solo en casos necesarios

Los ejemplares de herbario se depositaron en el “Herbario Hortorio JES” con los siguientes números de registro: 26077 (*Begonia thiemei*), 26078 (*Begonia heracleifolia*, variante roja), 26080 (*Begonia heracleifolia*, variante blanca), 26081 (*Begonia manicata*), 26082 (*Begonia heracleifolia* × *Begonia manicata*) y 26083 (*Begonia* sp.).

Estas especies generalmente son fomentadas en los huertos familiares de la comunidad para el consumo de los peciolos como quelites, además de su importancia como ornato (Ver Figura 1).

Forma de preparación del platillo tradicional

Según las personas entrevistadas, el platillo tradicional elaborado principalmente con los peciolos de begonias y frijoles negros no tiene un nombre específico. La forma de preparación puede tener algunas variaciones, pero en general es la siguiente: se recolectan las hojas y se les elimina la lámina o limbo foliar, quedando solamente los peciolos, a los cuales se les quita la epidermis, (“pellejo”), se cortan en rodajas y se hierven de 8 a 10 minutos, se deja enfriar, se enjuagan 2 a 3 veces y se deja reposar en agua fría, de acuerdo con los entrevistados si las rodajas no se lavan bien, “amargan”. Después, las rodajas se agregan a los frijoles negros (*Phaseolus vulgaris* L.) o frijol gordo tierno o seco (*Phaseolus coccineus* subsp. *polyanthus* (Greenm.) Marechal, Mascherpa & Stainer), previamente cocidos con cebolla y guisados con manteca o aceite, alternativamente, solamente cocidos y sin guisar. Se agrega al gusto *Eryngium foetidum* L. (“cilantro extranjero”), *Allium neapolitanum* Cirillo (“cebollina”) y *Capsicum annum* L. (“chile criollo”, serrano o chiltepín) crudos y molidos, opcionalmente se utiliza *Peperomia peltimba* C. DC. ex Trel. (“tequelite criollo o chico”) o *Peperomia maculosa* (L.) Hook. (“oreja de burro” o “tequelite grande”); algunas personas adicionan tomate de cáscara picado o costilla de puerco previamente ahumada en las brasas. Los frijoles se dejan hervir y se les agrega un poco de manteca o aceite vegetal, sal caliza o sal común, se menciona que “Los frijoles no están guisados, hasta que estén un poco espesos”.

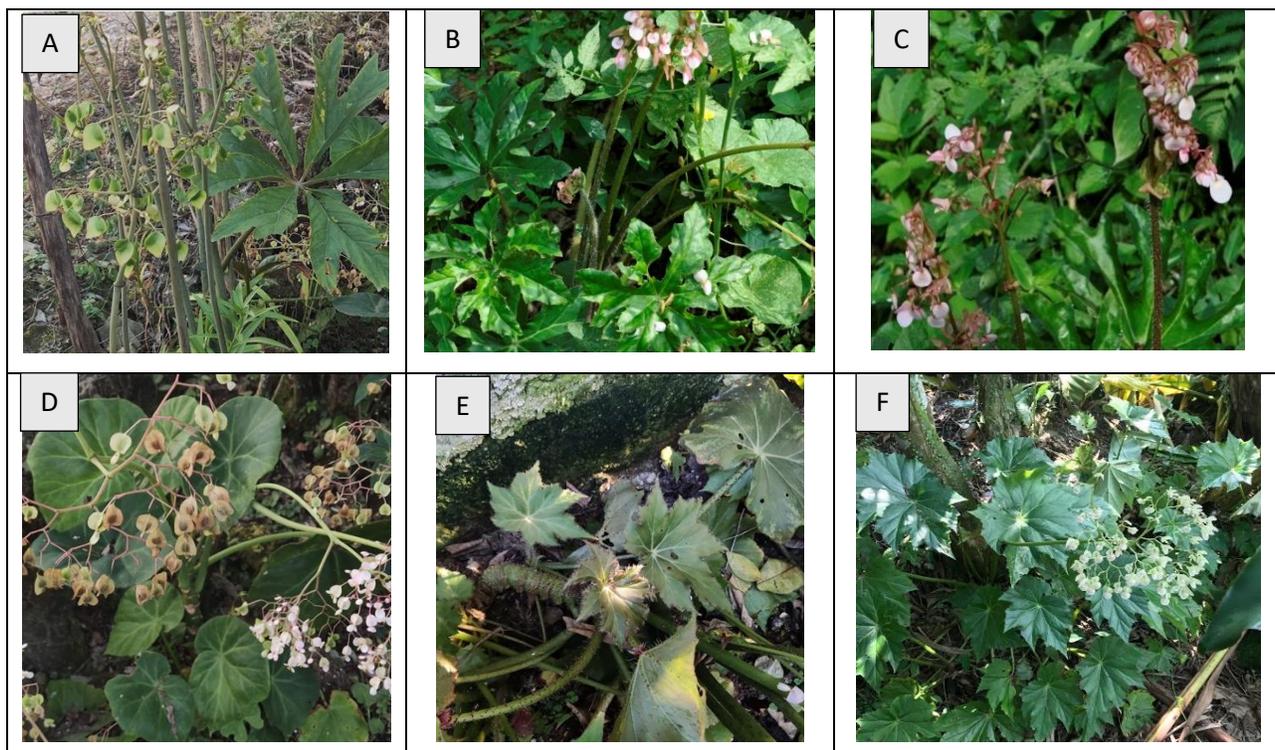


Figura 1. Especies del género *Begonia* identificadas en la comunidad de Ecatlán, Jonotla, Puebla, México. A. *B. thiemei* C.DC; B. *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. variante blanca; C. *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. variante roja; D. *B. manicata* Brongn. ex Cels; E. Probable híbrido entre *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. × *B. manicata* Brongn. ex Cels; F. *Begonia* sp.

Figura 1. Species of the genus *Begonia* identified in the community of Ecatlán, Jonotla, Puebla, México. A. *B. thiemei* C.DC; B. *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. white variant; C. *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. red variant; D. *B. manicata* Brongn. ex Cels; E. Probable hybrid between *B. heracleifolia* Schltldl. & Cham. × *B. manicata* Brongn. ex Cels; F. *Begonia* sp.

El 80 y 75% de los entrevistados mencionaron que prefieren a *Begonia thiemei* (“xocoyol liso”, “suronkot”) y *B. manicata* (“xocoyol liso”, “suronkot”) respectivamente (Gráfico 2), ya que generan un buen sabor en el guisado. La *Begonia heracleifolia* variante blanca (“xocoyole blanco”), no les gusta porque al hervir generalmente se deshace, pero solo la utilizan de ser necesario con un 43% de preferencia. Para las preferencias de consumo, las personas entrevistadas consideran que el “sabor agrio no debe ser intenso, que sea sabroso y que no se deshaga al hervir”.

Desde el punto de vista biocultural y ceremonial, el guisado de los xocoyoles (*Begonia* spp.) se utiliza cotidianamente; sin embargo, de manera particular, *B. manicata* (“xocoyol liso”, “suronkot”) y *B. thiemei* (“xocoyol café”, “xocoyole”, “luwaná xkútni”), se ofrecen a las personas que asisten a los velorios.

Localización y propagación de las especies de *Begonia*

Las especies utilizadas se localizaron comúnmente en los huertos familiares y con menor frecuencia, en los cafetales y áreas de cultivo llamados “ranchos” (Gráfico 3), donde se cultiva chile (*Capsicum annum* L.) quintonil (*Amaranthus* spp.), cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), pápalo (*Porophyllum ruderale* var. *macrocephalum* (DC.) Cronquist), maíz (*Zea mays* L.) frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita moschata* Duchesne y *Cucurbita maxima* Duchesne), entre otras especies o menos común de las que crecen ruderales como es el caso de *B. heracleifolia* y *Begonia* sp., que son de recolección y también fomentadas en los huertos familiares. En general, existe disponibilidad de estas plantas durante todo el año; sin embargo, cuando no llegan a tener, las compran con sus vecinos.

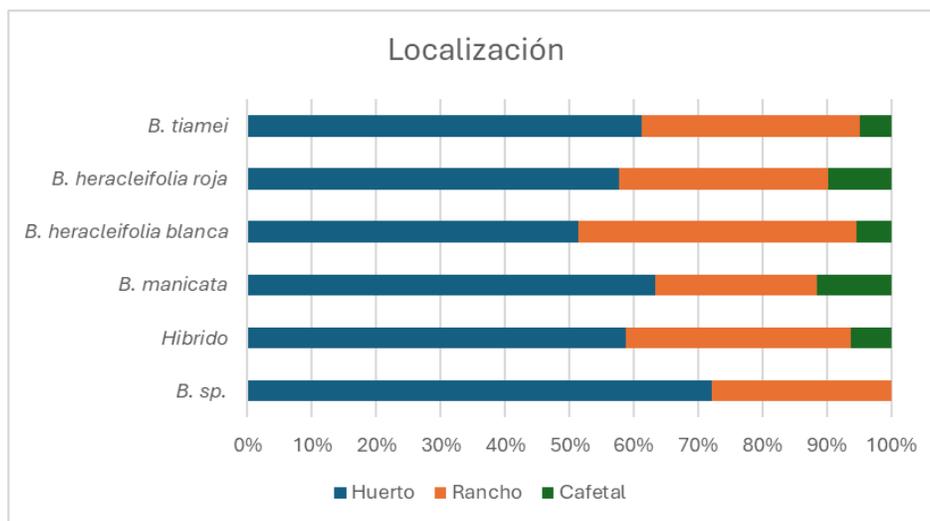


Gráfico 3. Localización de las especies de *Begonia*.

Graph 3. Location of *Begonia* species.

De acuerdo con la información recabada, se encontró que la propagación de las begonias se lleva a cabo de dos formas: 1) a través de los rizomas (“camotes”), cuyos fragmentos de aproximadamente 10-15 cm los entierran en el suelo, de preferencia en donde hay sombra, pedregal y materia orgánica de pulpa de café, cáscaras o desperdicios de frutos como naranja, plátano, papaya entre otros, aunque también las propagan en macetas con tierra orgánica; 2) se corta la hoja madura unos 2-3 cm por debajo de la lámina foliar, se entierra ya sea en una maceta o en el suelo y se coloca un poco de tierra en el centro, en unos días se origina un hijuelo por cada foliolo, esta práctica es específica para *B. thiemei*. Para las dos formas de

propagación, se les puede ir agregando más tierra y cuando no llueve, las riegan diariamente. Después de medio año de la plantación ya se pueden cortar las hojas. Cuando crecen malezas, las personas deshieran y dejan el material en el suelo para su descomposición en materia orgánica. Finalmente, algunos pobladores mencionaron que las semillas de algunas especies caen al suelo y germinan para el crecimiento de nuevas plantas.

DISCUSIÓN

Considerando investigaciones anteriores en las cuales se reportan begonias comestibles en esta región (Basurto-Peña *et al.*, 1998, 2003; Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020; Cuevas, 1991; M. A. Martínez *et al.*, 2007; Martínez M.A. *et al.*, 1995), en este trabajo se reporta por primera vez como comestible para la comunidad y para la Sierra Norte de Puebla la especie *Begonia thiemei*; la cual es mencionada por Espinoza-Pérez *et al.* (2021) como subutilizada en los agroecosistemas de la región, sin especificar su uso; de acuerdo con los entrevistados este xocoyol "lo trajeron de otro lugar", inclusive, es probable que en las fechas en que se hicieron los estudios anteriores, esta especie no se había fomentado en los huertos familiares. También se reporta por primera vez una *Begonia* que comparte características morfológicas entre *B. heracleifolia* y *B. manicata*, por lo que se considera que pueda ser un híbrido entre estas dos especies. Este híbrido, corresponde posiblemente a *B. barkeri* Knowles & Westc. reportada por (Basurto-Peña *et al.*, 1998) quienes también registraron a *B. fusca* Liebm., *B. incarnata* Link & Otto; además, (Cuevas, 1991) reportó a *B. glabra* Aubl. en la comunidad de Ecatlán; estas especies no se detectaron en el presente estudio. Con respecto a la especie de *Begonia* identificada sólo a género, es probable que se trate de una especie nueva para la ciencia, debido a que tiene pubescencia y el androceo, que no coinciden con las restantes especies de *Begonia* presentes en la región, en especial de *Begonia* secc. *Gireoudia* (Klotzsch) A.DC. a la que corresponden ésta y las otras especies del género usadas como comestibles en esta comunidad.

Basurto-Peña *et al.* (1998) y Cuevas (1991) reportaron a *B. nelumbonifolia* como comestible; actualmente los entrevistados mencionan que ésta especie ya no es consumida, porque "no les gusta su sabor", y optan por *B. thiemei* y *B. manicata* (Gráfico 2); respecto a esta última especie, se concuerda con lo descrito por (Basurto-Peña *et al.*, 2003); para algunas personas en la Sierra Norte de Puebla, prefieren su consumo porque es "sabrosa y de textura suave". Además, estas dos especies fueron las que acumularon el mayor número de menciones del total de personas entrevistadas con 60 y 56 respuestas respectivamente (Gráfico 1).

La forma de preparación del platillo tradicional es similar en la comunidad, excepto algunas variaciones que puede tener en cuanto a los ingredientes y al uso de manteca o aceite y de sal común o sal caliza. En este trabajo se especifica la forma de preparación de los "frijoles con xocooyoles" con todos los ingredientes, a diferencia de la literatura consultada donde no existe una descripción detallada. En cuanto a las preferencias de consumo, las personas entrevistadas consideran que el sabor agrio no debe ser intenso, sino que más bien "sabroso" y que las rodajas de peciolo no se "deshagan" al hervir, como es el caso de *B. heracleifolia* variante blanca, la cual fue mencionada por 37 personas y solamente se consume cuando no se encuentran las otras especies antes mencionadas (Gráfico 1).

Los cuidados que las personas entrevistadas proporcionan a las especies fomentadas en sus huertos, cafetales y ranchos (Gráfico 3), es mínimo, como lo documenta Basurto-Peña *et al.*, (2003) se pueden propagar por el rizoma ("camote") y a través de las hojas. En este trabajo se documenta la propagación de *Begonia thiemei* a través de las hojas con un fragmento de peciolo; esta forma de propagación podría ser comparable a la descrita por Bowes & C. Curtis (1997), quienes micropropagaron en un ambiente no estéril la especie *B. barkeri* con un alto porcentaje de regeneración de los explantes cultivados y su establecimiento como plantas.

Por otra parte, los entrevistados mencionaron que las begonias (xocoyoles) “se adaptan mejor en los lugares sombreados y donde hay piedras”, por lo que, los usuarios les proporcionan estas condiciones, con el propósito de tener el recurso disponible cuando lo requieran y conservar el legado biocultural.

CONCLUSIONES

En la comunidad de Ecatlán, se registraron: *Begonia thiemei*, primer reporte como comestible en la literatura para la región Sierra Norte de Puebla; una especie que comparte características morfológicas entre *B. manicata* y *B. heracleifolia* y que probablemente en trabajos anteriores la reportaron como *B. barkeri* o *B. aff. barkeri*; y una *Begonia*, cuyas características sugieren que se trata de nueva especie para la ciencia.

Con base en los resultados de este trabajo y la información de taxones documentados para la región, se determinó que es necesario estudiar con más detalle la taxonomía de las especies comestibles del género *Begonia* de la comunidad estudiada y de toda la Sierra Norte de Puebla.

En este trabajo se describe detalladamente el proceso de preparación del platillo frijoles con xocoyoles, incluyendo otros ingredientes, que previamente no habían sido documentados. Las especies con mayor frecuencia de uso fueron *B. thiemei* y *B. manicata* obtenidas de los huertos familiares.

Es crucial reconocer la urgencia de implementar medidas de conservación y prácticas de manejo sostenible, para garantizar la preservación a largo plazo de las begonias como patrimonio biocultural, con el fin de mantener la biodiversidad local y fomentar la riqueza cultural de Santiago Ecatlán.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto 22017-EI registrado ante la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo. Se agradece la colaboración de la gente poseedora de los saberes tradicionales de la comunidad de Ecatlán, municipio de Jonotla, Puebla.

LITERATURA CITADA

- Aparicio, A., & García E. (1995). *Percepción botánica: la visión del mundo natural por los totonacos de Zozocolco de Hidalgo, Veracruz, México*. FES- IZTACALA-UNAM.
- Atlas de los Pueblos Indígenas de México*. (2023). <https://atlas.inpi.gob.mx/totonacos-ubicacion/>
- Basurto-Peña, F., Castro-Lara, D., & Angel Martínez-Alfaro, M. (2003). Edible Begonias from the North of Puebla. En *Botany* (Vol. 57, Número 1).
- Basurto-Peña, F., Martínez-Alfaro, M. A., & Villalobos-Contreras, G. (1998). Los Quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: Inventario y formas de preparación. *Botanical Sciences*, 62, 49–62. <https://doi.org/10.17129/botsci.1550>
- 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(SPE14), 2725–2740.
- Becerril E., A. P. (2014). *El Centro de Estudios Superiores Indígenas Kgoiyom (CESIK): Una Estrategia para la Continuidad y Autonomía Totonaca*. Universidad Autónoma Metropolitana.

- Bowes, B., & C. Curtis. (1997). A survey of leaf regeneration from American begonias utilizing a simple and non-sterile micropropagation technique. En E. Hernández, M. Clemente, A. Pujadas, A. Garrido, F. Pliego, & J. Ubera (Eds.), *Actas I* (pp. 95–103). Etnobotánica 92.
- Bye, R. A. (1981). Quelites-ethnoecology of edible greens-past, present and future. *Journal of Ethnobiology*, 1(1), 109–123.
- 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*, 0(49). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.13>
- Castro, D., Basurto, F., Mera, L. M., & Bye, R. (2011). *Los quelites, tradición milenaria en México*. Universidad Autónoma Chapingo. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/231814/Los_quelites_una_tradicion_milenaria_en_mexico.pdf
- Cuevas, S. J. A. (1991). *Definición, aprovechamiento y conservación de recursos fitogenéticos en una comunidad indígena Totonaca* [Maestría]. Colegio de Postgraduados.
- Cunill-Flores, J. M., & Guerra-Ramírez, D. (2014). Management, ecology, and presence of jonote tree (*Heliocarpus appendiculatus* TURCZ) in agroforestry systems at Ecatlan. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 17, 344–344.
- Espinoza-Pérez, J., Cortina-Villar, S., Pérez-García, O., Reyes-Reyes, C., & Ramos-López, F. (2021). Plantas subutilizadas de los agroecosistemas de la Sierra Norte de Puebla, México.
- Ferrusquia-Villafranca, I. (1998). Geología de México: Una Sinopsis. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Universidad Autónoma de México.
- Gómez García, E., Sol Sánchez, Á., García López, E., & Pérez Vázquez, A. (s/f). *Valor de uso de la flora del Ejido Sinaloa 1 a sección Use value of the flora from Ejido Sinaloa 1 st section, Cárdenas, Tabasco, Mexico*.
- Hernández, R., & Jordá, M. G. (1981). *Plantas medicinales*. Árbol editorial.
- Hernández-Xolocotzi, E. (1979). El concepto de Etnobotánica. En *Etnobotánica: tres puntos de vista y una perspectiva* (pp. 13–18). Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Hughes, M., Moonlight, P. W., Jara-Muñoz, A., Tebbitt, M. C., Wilson, H. P., Zhong, K., & Pullan, M. (2015). *Begonia Resource Centre*. <http://padme.rbge.org.uk/begonia/>.
- INEGI. (2020). *Censo General de Población y Vivienda*. inegi.org.mx/app/scitel/consultas/index#.
- Jiménez, R. (1997). Flora de Veracruz. Begoniaceae. *Schubert, B.G, Fascículo 100*.
- Laferrrière, J. E. (1992). Begonias as food and medicine. *Economic Botany*, 46(1), 114–116.
- López-Santiago, A. A., López-Santiago, M. A., Cunill-Flores, J. M., & Medina-Cuéllar, S. E. (2019). Socioeconomic value of the plants for an indigenous Totonac community. *Interciencia*, 44(2), 94–100.
- Martínez, M. (1989). *Las plantas medicinales de México*. Editorial Botas.
- Martínez, M. A., Evangelista, V., Basurto, F., Mendoza, M., & Cruz-Rivas, A. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(1), 15–40.
- Martínez M.A., E. V., Mendoza M., Morales G., & Toledo G., & W. A. (1995). *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mcmillan, P. D., Wyatt, G., & Morris, R. (2006). *Redalyc. The Begonia of Veracruz: additions and revisions*.
- Miranda F. & Hernández X. E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Escuela Nacional de Agricultura (ENA)–Colegio de Postgraduados (CP). Serie de sobretiros No. 1. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28: 1-179.
- POWO "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. (2023). <http://www.plantsoftheworldonline.org/>.

Recibido:
5/junio/2023

Aceptado:
8/enero/2024

- Rajbhandary, S. (2013). Traditional uses of *Begonia* species (Begoniaceae) in Nepal. En *J. Nat. Hist. Mus* (Vol. 27).
- Ramírez-Amezcuca Y. (2008). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Begoniaceae. Vol. Fascículo 159*. Instituto de Ecología, A.C.
- Rangel-Meza, E., Orozco, A. M., Vázquez-Carrillo, G., Cuevas-Sánchez, J., Merino-Castillo, J., & Miranda-Colín. (2004). Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia*, 38(1), 53–61.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. (1ra. Edición digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Toledo, V. M. (2001). *Indigenous people and biodiversity*. https://www.researchgate.net/publication/255585922_Indigenous_Peoples_and_Biodiversity/link/5a1d6cb0a6fdcc0af326d9e5/download
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden*. (s/f). www.tropicos.org.
- Wong, W. (1976). Some folk medicinal plants from Trinidad. *Economic botany*, 30(2), 103–142.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

SABERES Y PRÁCTICAS FITOTERAPICAS EN LA CIUDAD DE SALTA, ARGENTINA

KNOWLEDGE AND PHYTOTHERAPIC PRACTICES IN THE CITY OF SALTA, ARGENTINA

Fabbroni, M.; C.B. Flores; N.V. Arcelán; A. Salazar; E.C. Fuentes; M.V. Oliva y F.O. Robbiati

SABERES Y PRÁCTICAS FITOTERAPICAS EN LA CIUDAD DE SALTA,
ARGENTINA

KNOWLEDGE AND PHYTOTHERAPIC PRACTICES IN THE CITY OF SALTA,
ARGENTINA

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 00-00 México. Enero 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.57.16



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/)).

Saberes y prácticas fitoterapicas en la Ciudad de Salta, Argentina

Knowledge and phytotherapeutic practices in the City of Salta, Argentina

Fabroni, M.;
C.B. Flores;
N.V. Arcelán;
A. Salazar;
E.C. Fuentes;
M.V. Oliva
y F.O. Robbiati

SABERES Y PRÁCTICAS
FITOTERAPICAS EN LA
CIUDAD DE SALTA,
ARGENTINA

KNOWLEDGE AND
PHYTOTHERAPIC
PRACTICES IN THE CITY
OF SALTA, ARGENTINA

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 57: 00-00. Enero 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.57.16

Mariela Fabroni / marielifabroni@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4500-5353>

Carolina Beatriz Flores / carolinaflores2910@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6287-0859>

Noelia Verónica Arcelán / noelia.arcelan@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-2640-9453>

Anabel Salazar / anabel.salazar233@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-1010-7023>

Emanuel César Fuentes / fuentesemanuel3@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-4620-0390>

*Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta
Avda. Bolivia 5150, 4400, Salta, Argentina*

María Valeria Oliva / valerioliva77@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-1069-6923>

*Primer Nivel de Atención, Área Operativa Norte. Ministerio de Salud Pública de la
Provincia de Salta. Manzana 154J Lote 10. Barrio Sarmiento, 4400, Salta, Argentina.*

Federico Omar Robbiati / federorbbiati@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6841-1872>

*Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba,
Av. Vélez Sarsfield 1611, 5000, Córdoba, Argentina*

RESUMEN: Los sistemas públicos de salud tienen que evaluar cómo el uso de la medicina tradicional y complementaria puede mejorar la salud de la población, principalmente en países en vía de desarrollo. Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Salta y los objetivos fueron: 1) conocer las plantas utilizadas en medicina herbolaria urbana; 2) indagar acerca de las razones del consumo de las plantas medicinales, las dolencias, las afecciones y las prácticas terapéuticas; 3) conocer la importancia cultural de las plantas mediante los Índices de Importancia Relativa (IR), el Factor de Consenso entre los informantes (FCI) y el origen del conocimiento vinculado; 4) describir los espacios de adquisición de las plantas; 5) conocer la percepción del personal de la salud de la medicina formal en relación al uso de plantas medicinales en el ámbito doméstico y 6) comparar las enfermedades tratadas con la medicina herbolaria y aquellas con la medicina formal. Se implementó la metodología cuali-cuantitativa de la etnobotánica clásica. Se entrevistaron a 35 participantes residentes en cinco barrios y se realizaron grupos focales con el personal de salud de tres centros de salud ubicados en el sector norte de la ciudad vinculados a los barrios mencionados. La riqueza de la herbolaria urbana asciende a 120 taxones medicinales pertenecientes a 110 géneros y 52 familias botánicas; el 63% son plantas no nativas y las familias más representadas fueron Asteraceae y Lamiaceae. Los pobladores salteños poseen un conocimiento botánico híbrido y dinámico. Los procesos de hibridación detectados fueron fusión, recombinación, nuevos desarrollos en productos innovadores y circulación de especies. Se registraron 313 usos medicinales de 63 tipos de afecciones y dolencias que involucran a 13 sistemas corporales. Se advierte la presencia influyente de las medicinas alternativas complementarias y los medios de comunicación en la difusión de plantas medicinales y productos derivados. Entre el personal de salud se advirtió una gran heterogeneidad de sentires y saberes,

destacándose el reconocimiento del uso de plantas por parte de la población vinculada; la falta de evidencia científica cuantificable sobre los beneficios de su práctica; el temor a los efectos adversos y la ausencia de conocimiento formal sobre la fitoterapia. Las investigaciones sobre fitoterapia se deben profundizar y estudiar los procesos de diversificación y resignificación de los saberes y prácticas sobre plantas medicinales.

Palabras clave: Fitoterapia, Salta, centros de salud, conocimiento botánico, hibridación.

ABSTRACT: Public health systems have to evaluate how the use of traditional and complementary medicine can improve the population's health, mainly in developing countries. This research was carried out in the Salta city and the objectives were: 1) to know the plants used in urban herbal medicine; 2) inquire about the reasons for the consumption of medicinal plants, ailments, conditions and therapeutic practices; 3) know the cultural importance of plants through the Relative Importance Indices (RI), the Consensus Factor among informants (FCI) and the origin of the linked knowledge; 4) describe the plant acquisition spaces; 5) to know the perception of health personnel of formal medicine concerning the use of medicinal plants in the domestic environment and 6) to compare the diseases treated with herbal medicine and those with formal medicine. The quality-quantitative methodology of classical ethnobotany was implemented. Thirty-five participants residing in five neighborhoods were interviewed, and focus groups were held with health staff from three health centres located in the northern sector of the city linked to the neighborhoods mentioned above. The wealth of urban herbalism amounts to 120 medicinal taxa belonging to 110 genera and 52 botanical families; 63% are non-native plants and the most represented families were Asteraceae and Lamiaceae. The inhabitants of Salta have hybrid and dynamic botanical knowledge. The hybridization processes detected were fusion, recombination, new developments in innovative products and circulation of species. Three hundred thirteen medicinal uses were recorded for 63 types of conditions and ailments involving 13 body systems. The influential presence of complementary alternative medicines and the media in the dissemination of medicinal plants and derived products is noted. Among health staff, a great heterogeneity of feelings and knowledge was noted, highlighting the recognition of the use of plants by the related population; the lack of quantifiable scientific evidence on the benefits of its practice; the fear of adverse effects and the absence of formal knowledge about phytotherapy. Phytotherapy research must be deepened, and the processes of diversification and resignification of knowledge and practices about medicinal plants must be evaluated.

Key words: Phytotherapy, Salta, health centers, botanical knowledge, hybridization.

INTRODUCCIÓN

La medicina tradicional y sus sistemas de curación, bienestar y sostenibilidad representan, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), un recurso valioso para toda la humanidad. Los sistemas de salud de muchas sociedades tradicionales utilizan los conocimientos de la medicina herbolaria, los cuales son la base para obtener los principios activos de las plantas medicinales por la industria farmacéutica (Luján & Barboza, 2008).

Es fundamental reconocer la vigencia a escala global de la medicina complementaria y alternativa (CAM) que ha sido descrita como el diagnóstico, tratamiento y/o prevención que complementa la medicina convencional contribuyendo a un todo común, satisfaciendo una demanda no cubierta por la ortodoxia o diversificando los marcos conceptuales de la medicina (Ernst, 2000). Actualmente no se consideran parte de la medicina convencional (Medeiros *et al.*, 2016) y gozan de creciente aceptación y la prevalencia de su uso en la población general de diversos países (Ernst, 2000; Franco & Pecci, 2003; Medeiros *et al.*, 2016; Luján & Martínez, 2017). Los diversos tipos de terapias alternativas incluyen homeopatía, flores de Bach, acupuntura, cura con plantas, entre otros, aunque sólo algunas consideran el empleo de plantas (Franco & Pecci, 2003; Luján & Martínez, 2017). Estas prácticas pueden influir en el comportamiento asociado a la búsqueda de una mejor calidad de vida y al deseo de involucrarse

activamente en las decisiones médicas, en particular entre los más jóvenes comúnmente más propensos a los cambios que los mayores (Franco & Pecci, 2003; Medeiros *et al.*, 2016).

Las ciudades de Latinoamérica poseen la característica particular de su origen multiétnico donde conviven diferentes universos simbólicos, económicos y culturales debido a influencias nacionales y extranjeras de inmigrantes que recrean su entorno cultural lo mejor que pueden; en tanto que conviven con una fuerte presencia mediática, y concepciones, contextos y regulaciones asociadas a la vida urbana donde se utilizan plantas y animales (Ladio & Albuquerque, 2014). La Etnobotánica Urbana estudia, entre otras cuestiones, los conocimientos botánicos propios de aquellas culturas pluriculturales en el contexto de los conglomerados urbanos. Este conocimiento botánico urbano conforma un cuerpo dinámico, híbrido y complejo que incluye elementos no tradicionales, el conocimiento científico, otros vinculados a tradiciones familiares locales y otros saberes y prácticas tradicionales vinculados a diferentes grupos de inmigrantes de diversa procedencia (Pochettino *et al.*, 2012; Hurrell & Pochettino, 2014; Ladio & Albuquerque, 2014). La presencia de las plantas y productos derivados en el contexto urbano y rural incrementa la diversidad biocultural local, tanto la diversidad de especies (dimensión biológica) como de sus conocimientos asociados (dimensión cultural) (Hurrell *et al.*, 2016; Puentes *et al.*, 2020). El conocimiento botánico urbano posee una dinámica propia por la difusión de los elementos vegetales y sus usos (Arenas *et al.*, 2011; Hurrell *et al.*, 2011).

En la medicina popular del noroeste argentino se combinan la herencia indígena más los saberes de la medicina popular europea aportados desde el siglo XVI hasta el XX y con prácticas rituales, muchas de éstas de raigambre católica o asociadas y refiguradas en términos de antiguas teorías biomédicas en su mayoría de tradición humoral (Pérez De Nucci, 1990; Idoyaga Molina & Sarudiansky, 2011). Otras contribuciones refieren los sistemas etiológicos derivados de la teoría humoral la cual considera a la salud como un equilibrio entre las características “caliente” o “fría” y “seca” o “húmeda” de los cuatro humores que rigen el funcionamiento del cuerpo humano, en tanto que los trastornos y la enfermedad se presentan como una alteración de ese equilibrio (Foster, 1953). El síndrome cálido-fresco caracteriza a las plantas medicinales, enfermedades y alimentos como parte del componente teórico-naturalista de la medicina popular difundida ampliamente entre los países hispanoamericanos (Palma, 1978; Queiroz, 1984; Hilgert, 2001; Martínez & Planchuelo, 2003;). Varias investigaciones revelaron que los componentes que responden a la teoría humoral hipocrática refigurada y otros componentes empíricos o naturales, los de índole sobrenatural o de desequilibrios orgánicos y sociales se hallan complejamente vinculados (Scarpa, 2000; Idoyaga Molina, 2001; Martínez & Barboza, 2010). Constituye el componente teórico más conspicuo identificado hasta la fecha en la medicina popular argentina, en términos de cantidad de indicaciones terapéuticas que responden al mismo (Scarpa, 2020).

El uso de plantas con fines terapéuticos ha crecido considerablemente en los últimos tiempos siguiendo la tendencia de que lo “natural” implica mejora en la calidad de vida (Cambi & Hermann, 2001; Nalawade *et al.*, 2003; Cuassolo *et al.*, 2010). Los factores que orientan su consumo son diversos: por su bajo costo económico, por una tradición herbolaria muy arraigada, por la valoración de la medicina naturista o por oposición/alternativa a la medicina oficial. Además, en el ideario popular, existe la idea de que el consumo de productos naturales es inocuo, que son adecuadas para cualquier tipo de paciente, que no requieren cuidadosa dosificación y que posee cierta superioridad sobre las drogas sintéticas (Arenas, 2007; Consolini *et al.*, 2007; Pochettino *et al.*, 2008; Silva Lima *et al.*, 2012). Por ello, es necesario evaluar cómo la fitoterapia puede integrarse a los sistemas de salud para mejorar la salud de la población, principalmente en países en vía de desarrollo, donde las plantas medicinales representan un recurso terapéutico importante (Cañigual & Vila, 2005; Cruz, 2016; Medeiros *et al.*, 2016). Menos conocido aún son los estudios sobre etnobotánica que hagan referencia a las medicinas alternativas complementarias, dado lo reciente de este fenómeno de alcance global (Luján & Martínez, 2019).

Las investigaciones etnobotánicas urbanas y periurbanas en ciudades de Argentina han documentado la importancia del uso, calidad y comercialización de los recursos herbolarios en el contexto urbano, tanto en comercios del circuito general como de los circuitos restringidos de inmigrantes (Cambi & Hermann, 2001; Luján & Barboza, 2008; Cuassolo *et al.*, 2010; Acosta, *et al.*, 2013; Hurrell *et al.*, 2013; 2016; Romeo, 2016). También plantean el rol de la medicina oficial o formal en los hogares urbanos (Hermann *et al.*, 2001; Hilgert *et al.*, 2010), la relación médico-paciente, la vigencia de la medicina complementaria alternativa y la percepción de enfermedad (Franco & Pecci, 2002; Luján & Martínez, 2017, 2019). También dan cuenta de la interculturalidad que se establece en una ciudad y cómo los saberes sobre las plantas medicinales se hibridan generando un nuevo cuerpo de conocimientos (Ladio & Albuquerque, 2014), como así también de la complementariedad entre la medicina tradicional, alternativa y complementaria y la formal (Hilgert *et al.*, 2010; Martínez & Barboza, 2010; Luján & Martínez, 2019). En la mayoría de los casos se destacan los patrones globales de uso de plantas medicinales de distribución cosmopolita (Cuassolo *et al.*, 2010), incorporada en la herbolaria local desde tiempos de la colonización y mezclándose con conocimientos y prácticas nativas (Vignale, 2002). Otras contribuciones más específicas se ocupan de la etnomedicina urbana desde la perspectiva de la población migrante, en particular de la comunidad boliviana (Richeri *et al.*, 2010; Pochettino *et al.*, 2012; Acosta *et al.*, 2015, 2018; J. Hurrell *et al.*, 2016), un grupo con una larga trayectoria en Argentina (Cerruti, 2009).

Algunas contribuciones más actuales de corte etnobotánico en contextos rurales en la provincia de Salta y áreas limítrofes del Chaco semiárido (Scarpa, 2000, 2004, 2009; Scarpa & Arenas, 2004), de las Yungas (Hilgert, 2001; Hilgert & Gil, 2006; Suárez, 2014; González, 2018; Flores, 2023) y de los Valles Calchaquíes (M. Martínez & Pochettino, 2004; Crivos *et al.*, 2008; Rodríguez Echazú *et al.*, 2019; Fabbroni *et al.*, 2022) se desarrollaron en diferentes grupos étnicos, criollos y campesinos en general. Estas investigaciones demuestran que estos grupos humanos poseen un cuerpo de conocimiento acerca de las propiedades terapéuticas de las plantas y los animales que les sirven para dar respuesta a sus problemas de salud, así como sobre las peculiaridades del hábitat que los rodea e indican la presencia de un intercambio activo de conocimientos a través de contactos interétnicos.

El sistema oficial de salud hacia el interior de Argentina contempla escasamente las particularidades regionales, la ubicación geográfica de la población a veces distante de los centros de salud, en particular en el interior de las provincias. En este contexto las prácticas biomédicas conviven con la medicina popular, las terapias religiosas y otras prácticas terapéuticas complementarias y alternativas; en tanto que los médicos, enfermeras e inspectores de salud rural suelen criticar, y a veces incluso condenar, el uso de plantas medicinales locales (Hilgert, 2001). Esta situación requiere de investigaciones tendientes a propiciar el acercamiento y diálogo entre la biomedicina y la medicina tradicional (Amani *et al.*, 2007; Oliva, 2016).

El único estudio etnobotánico urbano reportado para la ciudad de Salta (Oliva, 2016) documentó que en los hogares salteños de los barrios del sudeste se tratan 31 dolencias y/o afecciones atendidas con 59 plantas medicinales a las que se les asignan 138 usos medicinales. Las participantes consultadas (todas mujeres) también asisten a los centros de salud aledaños, lo que permite establecer cierta complementariedad entre la medicina herbolaria casera con la medicina formal. Se mencionan dos dolencias folks identificadas por la autora como “usos mágicos o sobrenaturales”, cuyo tratamiento se basa en la aplicación de dos especies (*Ruta chalepensis* y *Schinus molle*) como plantas protectoras de adultos y de bebés. Concluye que las plantas medicinales se obtienen de los cerros aledaños y que la medicina formal se aboca principalmente a los potenciales efectos tóxicos de las plantas medicinales más que a sus usos. Para gran parte de la población urbana salteña se desconocen los saberes y prácticas sobre las plantas medicinales, sobre todo la relación de esta medicina herbolaria casera con los sistemas de salud y la percepción del personal sanitario sobre el tema. Se considera que este desconocimiento constituye un verdadero obstáculo para la atención profesional integral e

intercultural de la salud. Asimismo, la incompreensión intercultural por parte de la medicina oficial y el pueblo radica en la mutua desinformación, producto parcialmente atribuible a la falta de investigaciones (Arenas, 2009).

La presente contribución pretende documentar y rescatar el conocimiento botánico urbano en torno a los saberes y prácticas de las plantas medicinales de un sector de la población de la ciudad de Salta, Argentina, como así también conocer la mirada del personal de salud acerca de estas prácticas fitoterápicas urbanas. Para ello se proponen los siguientes objetivos: 1) conocer el repertorio de plantas utilizadas en la medicina herbolaria urbana; 2) indagar acerca de las razones del consumo de las plantas medicinales, las dolencias, afecciones y las prácticas terapéuticas; 3) conocer la importancia cultural de las plantas en relación a la diversidad de usos, el consenso entre los informantes y el origen del conocimiento vinculado a los saberes y prácticas fitoterápicas; 4) describir los espacios de adquisición de las plantas; 5) conocer la percepción del personal de la salud de la medicina formal en relación al uso de plantas medicinales en el ámbito doméstico y 6) comparar las dolencias y afecciones tratadas con la medicina herbolaria y aquellas con la medicina formal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Nuestra investigación se llevó a cabo en la ciudad de Salta, capital de la provincia que lleva el mismo nombre, en la jurisdicción del Municipio Capital, en el Valle de Lerma (Gaiero *et al.*, 2013) (Figura 1). La provincia de Salta se localiza en la parte septentrional de la República Argentina y conforma junto a las provincias de Catamarca, Jujuy, La Rioja, Santiago del Estero y Tucumán una región histórica y geográfica conocida como región del Noroeste Argentino (NOA). La ciudad abarca una superficie de 155.488 km², se halla a una altitud media de 1.187 m.s.n.m. y sus coordenadas son 24°47'18"S 65°24'38"O. De acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite, el clima es Subhúmedo (C), Templado Mesotermal (B') y con un régimen de precipitaciones Subtropical con Estación Seca (invierno) (Sciortino & Ramos Vernieri, 2018). Fitogeográficamente, en el área de estudio están representados elementos florísticos de las provincias de las Yungas y la Chaqueña (Oyarzabal *et al.*, 2018). La riqueza florística del Valle de Lerma es importante ya que posee el 88% (165 familias) del total de familias de plantas vasculares documentadas para la provincia de Salta (187) y el 66,5% de las que crecen en el territorio argentino (248) (Zuloaga *et al.*, 1999).

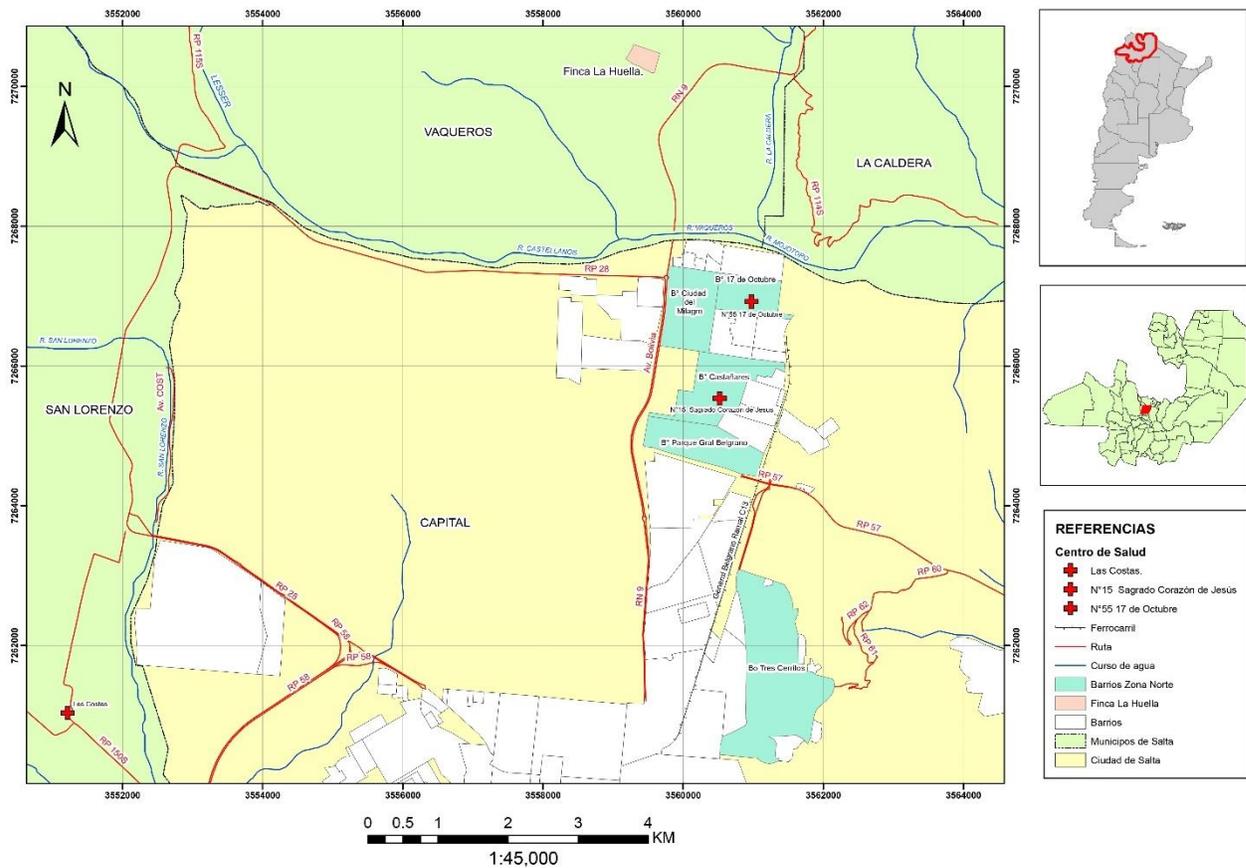


Figura 1. Ubicación del área de estudio en la ciudad de Salta.
Figure 1. Location of the study area in the city of Salta.

La provincia de Salta posee una marcada heterogeneidad geo-estructural, distinguiéndose básicamente las siguientes unidades: Puna salteña, Valle Calchaquí, Valle de Lerma y Chaco salteño, habitadas por el hombre desde hace al menos 9.000 años con marcadas variaciones tanto en clima y topografía, como en flora y fauna (Acreche *et al.*, 2004). A la llegada de los españoles, a mediados del siglo XVI, el NOA contaba con una población estimada de 200.000 habitantes, constituyendo el área más poblada (75% del total) del actual territorio argentino (Martínez Sarasola, 1992). Esta región ha sido el escenario del desarrollo cultural de una serie de pueblos que diseñaron diversas estrategias de aprovechamiento de los recursos naturales y humanos. Las poblaciones humanas que habitaron el Valle de Lerma, a mediados del siglo XVI, previo a la conquista española, fueron los Pulares, Lules, Chicoanas, Guachipas, Candelaria, entre los más importantes (Canals Frau, 1943). Con posterioridad a la conquista española, ya en el siglo XVII comenzó a surgir una población criolla y mestiza preponderante. Con el auge del movimiento comercial del puerto de Buenos Aires y con la llegada de individuos provenientes de diversas partes del mundo, se diversificó el universo de la población argentina. Durante el siglo XVIII se produce un crecimiento y avance de la población criolla conforme logra acuerdos de paz duraderos con los grupos indígenas independientes. La inmigración extranjera a finales del Siglo XIX y principios del XX definirían el futuro perfil demográfico de Argentina que llegaría a ser la más alta del mundo en proporción sobre la población nativa existente. Así, en las provincias del noroeste y noreste argentino, la población criolla convive con la de origen extranjero (de países limítrofes o no) y la población originaria o aborigen, dando lugar a una identidad que es el resultado de una mezcla de identidades

(Djenderedjian, 2016). A partir de 1970, las provincias de Salta y Jujuy mantienen un saldo positivo de migración limítrofe (Boleda, 1993), en la búsqueda de oportunidades laborales y de mejoras en su calidad de vida (Ulivarri & Clark, 2020). Según datos censales disponibles, en todo el territorio salteño habitan 24.848 habitantes migrantes de países limítrofes, la mayoría bolivianos (90,6%) con una importante concentración en el Dpto. Capital (74,7%), donde es más alta la proporción de mujeres (56,5%) que de hombres (43,5%). La población indígena o descendiente de pueblos originarios registrada asciende a 79.204 habitantes en toda la provincia (INDEC, 2010) y en la ciudad Capital, el 2,3% de los hogares cuenta con al menos un miembro que se reconozca descendiente o integrante de pueblo indígena o aborigen (Cid, 2004).

En el ámbito municipal de la ciudad de Salta (1.528 km²) viven 617.107 habitantes es decir un 43% del total provincial (1.441.351 habitantes) y con una densidad de 404 habitantes/km², la más alta de toda la provincia (INDEC, 2022). El 50,7% de la población total provincial se concentra en lo que se hoy se conoce como Gran Salta que incluye a los municipios Capital, La Caldera, Vaqueros, San Lorenzo, Cerrillos, Campo Quijano, Rosario de Lerma, La Silleta, La Merced del Encón, La Merced y San Agustín. En la década 2006-2016, esta zona tuvo un crecimiento del área urbana del 3,64%, equivalente a una expansión de 4.430 hectáreas, de las cuales el 91% corresponde a usos residenciales (Cordara & Duarte, 2017). Actualmente, el municipio Capital se compone de 183 barrios consolidados (Municipalidad de Salta, 2021). Los hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) alcanzan los 17.488 que representan un 12,8% del total de hogares (137.000) (INDEC, 2010). Los servicios de comunicación y de tecnologías están disponibles en el 92% de los hogares a través de la telefonía fija y/o celular y el 44,5% posee computadora (Piselli, 2016). Estos son parámetros considerados como servicios fundamentales para un desarrollo humano integrador y sostenible en estos tiempos (PNUD, 2010). Casi la totalidad de los hogares (97%) poseen conexión de agua a la red pública, un 84% a la red cloacal, un 62,4% se provee de gas natural de red como combustible para cocinar y un 35,2% utiliza gas en garrafas (Piselli, 2016). La salud de los salteños y sobre la base de datos del año 2013 publicados (Soruco, 2016) a nivel provincial, refleja que tanto la mala alimentación como el incremento del sedentarismo y del consumo de alcohol van asociados al incremento de todas las enfermedades crónicas especialmente la obesidad y la diabetes. Un 37% de los habitantes capitalinos asiste a algún establecimiento educativo (primario, secundario, terciario, universitario de grado y posgrado). Se aclara que, en todo el territorio argentino, la educación estatal es gratuita con ingreso irrestricto en establecimientos primarios, secundarios, terciarios y universitarios de grado, aunque también se brinda educación privada en todos los niveles educativos (INDEC, 2022). El 3,1% de la población salteña de 10 años y más es analfabeta y a nivel del Dpto. Capital este porcentaje desciende a 1,3% de analfabetos (INDEC, 2010).

La provincia de Salta es rica en potencialidades económicas primarias, cuenta con una agricultura muy diversificada, debido a la heterogeneidad de ambientes productivos: al norte se desarrollan cultivos industriales como la caña de azúcar, algodón, poroto y frutales; en los valles centrales se destacan los cultivos de tabaco y hortalizas de primicia, también la actividad ganadera; hacia las planicies del este, se desarrollan los cultivos de secano (soja, poroto y maíz) y la ganadería bovina; hacia el oeste, la región cordillerana posee una enorme riqueza minera, con importantes yacimientos de litio y boratos, entre otros. También prosperan la industria artesanal y fundamentalmente la actividad turística que la colocan en uno de los destinos preferidos de argentinos y extranjeros (Anuario Estadístico 2018-2019, 2019).

El pueblo salteño es profundamente religioso, su fervor se atestigua en el mes de setiembre, durante las festividades del Señor y la Virgen del Milagro. A lo largo del año, se desarrollan numerosas festividades religiosas y paganas como los festejos del carnaval, además de los festivales en fechas patrias y los ritos de culturas originarias como las celebraciones de las cosechas y la fecundidad de la tierra que honran a la Pachamama (Madre Tierra), mediante ofrendas de comidas, bebidas y hojas de coca (*Erythroxylum coca*). Esta ceremonia es acompañada por dos rituales: la bebida de caña con ruda (*Ruta chalepensis*) que, según la

creencia, favorece la buena salud durante el resto del año, y el “sahúmo” de los hogares, por el que se hace arder diferentes preparados a base de plantas aromáticas, cuyo humo “limpia” las casas de sus malas energías (Costilla, 2015).

Desde el punto de vista sanitario la provincia de Salta se divide en 4 regiones o zonas sanitarias agrupadas en 53 áreas operativas (A.O.). La ciudad de Salta corresponde a la Región Centro y se divide en 2 grandes A.O. donde trabajan unos 4950 profesionales (Paz, 2016). En la ciudad salteña funcionan 6 hospitales de Nivel de Atención IV, es decir hospitales de máxima complejidad con capacidad para resolver casi la totalidad de problemas de atención médica y sirven de referencia a una zona sanitaria; también 52 centros de salud y 2 puestos fijos, ambos considerados de Nivel I, es decir con servicios de atención ambulatoria y de profesionales. Se estima que el 90% de las familias que residen en la capital poseen cobertura médica de Nivel I (Soruco, 2016).

El Área Operativa Norte (A.O LVI) agrupa los barrios del Norte y Oeste de la ciudad, divididos en 3 Nodos: Castañares, Primavera y Centro, los cuales cuentan con 28 Centros de Atención Primaria de la Salud (APS) y un hospital cabecera que corresponde al Hospital Público Materno infantil (Decreto provincial N° 240/2018). Los APS locales brindan atención de profesionales que residen en la ciudad como Medicina General, Pediatría, Tocoginecología, Odontología, Nutrición, Enfermería, Psicología, Farmacia y, en algunos casos, laboratorio de rutina. Durante la década del '90 y hasta la actualidad, la zona norte de la ciudad (nodo Castañares) ha experimentado nuevos procesos de urbanización en zonas de amortiguamiento, ya sea sobre la línea férrea, el río Mojotoro y la ex planta de líquidos cloacales (piletones). Dicha situación trae consigo la aparición de distintas patologías, principalmente dermatológicas y respiratorias. Sólo el 38% de los habitantes de esta zona resuelven sus problemas de salud en los APS (Hidrobo Unda, 2020).

Nuestra investigación se concentró en 3 centros de salud ubicados en el sector norte de la ciudad: Centro de Salud N°15 del Barrio Castañares, Centro de Salud N° 55 del Barrio 17 de Octubre y el Centro de Salud N° 30 de Las Costas (Figuras 1 y 3A, B, D). En cuanto a la población a cargo es variable, siendo de 10.000, 17.600 y entre 800 a 1.000 personas respectivamente. El personal de salud que trabaja es acorde al área de responsabilidad que posee cada uno, variando entre 10 a 70 trabajadores. El presente trabajo se complementó con entrevistas a pobladores residentes en los barrios 17 de Octubre, Castañares, Ciudad del Milagro (Figura 3H, I), Parque Belgrano y Tres Cerritos que se vinculan con los centros de salud relevados.

Recolección de los datos

Se llevó a cabo una investigación etnobotánica cuali-cuantitativa en el período marzo 2022 a junio de 2023 durante el cual se indagó acerca del conocimiento de las plantas medicinales mediante entrevistas abiertas y semiestructuradas y en profundidad (Albuquerque *et al.*, 2019) a informantes o participantes claves mayores de 18 años que fueran usuarios o consumidores habituales de plantas medicinales. Complementariamente, se entrevistó al personal de los APS vinculados a los barrios del área de estudio, con la modalidad de focus group de grupos organizados, dado que los encuentros se produjeron en horario laboral, facilitando de esta manera el desarrollo de las entrevistas (Figura 3D). La selección de los informantes fue por medio de un muestreo intencional (no al azar) y por la técnica de bola de nieve (Granovetter, 1976) hasta conseguir la saturación de la muestra.

Previo a las entrevistas, se firmó el documento y, en otros casos, se acordó verbalmente con los participantes el Consentimiento Libre e Informado, de acuerdo con el Protocolo de Nagoya (Ley 27.246/2015) y al Código de Ética de la Sociedad Latinoamericana de Etnobiología (SOLAE, 2016), garantizando la confidencialidad de los datos obtenidos y su uso exclusivo a los fines de la investigación. Además, se obtuvo la aprobación del Comité de Ética Central y de la Comisión Provincial de Investigaciones Biomédicas del Ministerio de Salud de la Provincia

de Salta. En total, se entrevistaron a 35 personas y se visitaron tres centros de salud (N°15, 55 y 30). Las edades oscilaron entre los 20 y los 90 años y un 64% corresponden a mujeres. La mayoría de los participantes proceden de Salta Capital (61%) y otros (27%) de localidades del interior y de la provincia vecina de Jujuy (12%); son principalmente empleados (46%), también jubilados, amas de casa y estudiantes (37%) y el resto emprendedores y profesionales independientes (17%). En las entrevistas se recabó información del nombre vernáculo o local de la planta medicinal, espacios de recolección y modos de obtención, parte de la planta utilizada, forma de preparación y administración, dolencias y afecciones que trata, efectos adversos y precauciones y las razones de su consumo. También se indagó acerca del origen del conocimiento y la transmisión de los saberes y prácticas. Estos encuentros fueron registrados con grabador digital, fotografías y notas de los datos relevantes para un chequeo posterior de la información. El personal de salud fue consultado acerca de su percepción sobre las plantas medicinales y las experiencias de uso personales, así como de los vecinos que asisten al centro de salud, para contrastar con la mirada comunitaria, que no siempre es coincidente. Además, se les consultó acerca de los problemas de salud más frecuentes que atienden.

A fin de diferenciar y verificar a campo las plantas medicinales de aquellas a las cuales no se les atribuye tal condición y reconocer los espacios de recolección, se realizaron recorridos botánicos en los cerros aledaños a los barrios estudiados, se visitaron los jardines y patios de los participantes y se accedió a la huerta de la Finca La Huella (Figura 3C, F, K). La mayoría de las plantas mencionadas se colectaron en estos lugares para la confección del herbario que documenta la información. Complementariamente se emplearon otro tipo de estímulos visuales donde se apreciaron muestras de herbario y también fotografías de las plantas medicinales más usuales (Medeiros *et al.*, 2008).

Análisis de los datos

El uso de plantas medicinales en los contextos locales de estudio fue caracterizado sobre la base de las narrativas, prescripciones y notas de campo; se conocieron la riqueza, el modo de preparación y administración, las afecciones y/o dolencias que tratan, los espacios de recolección y modos de obtención. Se consideraron como datos individuales cada una de las aplicaciones medicinales específicas que realiza cada participante. Estas informaciones se presentan en forma de tablas y gráficos. Se consideraron las perspectivas de análisis emic y etic (Alexiades & Sheldon, 1996; Martin, 2000) en la narrativa que permitió ordenar y clasificar las afecciones, dolencias emic en grupos o categorías de usos etic y los sistemas corporales que involucran coincidentes con aquellos de la biomedicina (Barboza *et al.*, 2009; Martínez, 2017). En el Sistema Psiquis se incluyen los usos medicinales preventivos (a excepción de los digestivos), armonizantes energéticos, sedativos, adelgazantes, vitamínicos, tónicos (a excepción de los cardiotónicos) y los referidos a las terapias alternativas y complementarias. En los tipos de dolencias psíquicas, las expresiones propias y términos locales se indican entre comillas a fin respetar la perspectiva y terminología de los participantes. Para conocer el origen geográfico de las especies se consultó la base de datos on line (Flora Argentina, 2023) y se clasificaron las especies en nativas, es decir aquellas que crecen en territorio argentino y no nativas (equivalente a exótico). Las plantas fueron identificadas mediante la observación de las características morfológicas, utilizando lupa binocular, especímenes de herbario de referencia, bibliografía botánica y los nombres científicos se actualizaron con la Flora Argentina (2023) y World Flora Online (2023). Los especímenes identificados y acondicionados se depositaron en el Herbario del Museo de Ciencias Naturales de Salta (MCNS) con la numeración de la colección de la autora. Complementariamente, se revisaron las colecciones de plantas medicinales de colegas botánicos depositadas en el Herbario MCNS como así también se consultaron los especímenes disponibles en la base de datos on line de la Flora Argentina. Los especímenes con los números de colección se listan con los taxones en una tabla.

Para conocer la importancia relativa de los taxones de plantas en los grupos humanos (Tardío & Pardo de Santayana, 2008) en relación con la diversidad de usos en la medicina herbolaria y el consenso de los participantes, se calcularon los índices: a) Importancia Relativa (IR) de Bennett

& Prance (2000) y b) el Factor de Consenso de Informantes (FCI) de Trotter & Logan (1986). El IR refleja la versatilidad de las especies según el número de usos medicinales y sistemas corporales asignados, siendo el valor máximo 100. El IR se calcula mediante la siguiente fórmula: $IR = (NSC + NP) \div 2 \times 100$ donde NSC = número de sistemas corporales normalizado y NP = número de propiedades farmacológicas normalizada. Los factores para sumar son calculados por las fórmulas: 1) $NSC = NSCE/NSCEV$ donde NSCE = número de sistemas corporales tratados por una especie; NSCEV = número total de sistemas corporales tratados por la especie más versátil y; 2) $NP = NPE/NPEV$ donde NP = número de propiedades atribuidas a una especie NPE y NPEV el número total de propiedades farmacológicas atribuidas a la especie más versátil. El FCI tiene como propósito identificar los sistemas corporales que presentan mayor importancia relativa local según las dolencias/afecciones, siendo obtenido por la fórmula $FCI = (nur - nt)/(nur - 1)$, donde nur es el número de citas de usos en cada sistema corporal y nt, el número de especies utilizadas en ese sistema corporal.

RESULTADOS

Repertorio de recursos fitoterápicos

Se registraron 120 taxones medicinales pertenecientes a 110 géneros y 52 familias botánicas en un total de 313 aplicaciones terapéuticas para el tratamiento de 63 tipos de afecciones y dolencias (Tabla 1). El 62% de los taxones son plantas no nativas y el 38% nativas. Las familias más representativas fueron: Asteraceae (22 taxones), Lamiaceae (13), Apiaceae, Leguminosae, Solanaceae y Verbenaceae (5) y las restantes familias (38) incluyen tres taxones (1 familia), dos (9) y uno (28). El porte predominante es el herbáceo (54%), seguido del arbustivo (24%), lianas y enredaderas (3%) y en menor proporción el porte arbóreo (19%). La variedad de órganos o partes de ellos ascienden a 11, siendo las hojas los más usados (62,5%), le siguen las flores (15%), tallos, plantas enteras (11%) y los restantes (frutos, semillas, tubérculos, espinas y raíces) con porcentajes inferiores al 10%, siendo menos frecuente es el uso de espinas y tubérculos (1%). Se registraron 10 modos de preparación con predominio de las infusiones (68%), las maceraciones (17%) y ungüentos (16%) (Figura 2) (Tabla 1). Como una opción más para el cuidado y bienestar de las personas, los participantes destinan unas 20 especies para la elaboración de tinturas madres y las microdosis que se administran con goteros diluidas en agua directamente en la cavidad oral. Se emplean para autoconsumo y para la venta para recuperar el equilibrio emocional, para fortalecer el sistema inmunológico o como relajantes. Las tinturas madres son preparados líquidos concentrados de los principios activos con las propiedades medicinales de la planta mediante un macerado en alcohol. También preparan las microdosis que se obtienen a partir de tinturas, diferentes a las tinturas madres, más concentradas y aptas para el consumo humano a partir de una dilución.

Del abanico de plantas medicinales empleadas, el 45% se cultivan en los jardines, patios y huertas domésticas complementándose con otros usos como plantas aromáticas, condimenticias y ornamentales como *Aloysia citrodora* (cedrón), *Aloysia polystachya* (burro) (Figura 3H), *Rosmarinus officinalis* (romero) (Figura 3J), *Ocimum basilicum* (albahaca), *Origanum vulgare* (orégano), *Lavandula officinalis* (lavanda), *Lippia turbinata* (poleo), *Salvia officinalis* (salvia) y *Equisetum bogotense* (cola de caballo), entre otros.

Tabla 1. Plantas empleadas en fitoterapia en los barrios del norte de la ciudad de Salta, Argentina.**Table 1.** Plants used in phytotherapy in the northern neighborhoods of the city of Salta, Argentina.

Status: N: nativa, No N: No nativa. Porte: A: arbóreo, Ab: arbustivo, H: herbáceo. Sistemas Corporales: SP: Psiquis, SNC: Sistema Nervioso Central, SG: Sistema Genital, SE: Sistema Endocrino, SV: Sistema Vascular, SD: Sistema Digestivo, SR: Sistema Respiratorio, SPi: Sistema Piel, SOs: Sistema Osteomuscular, SO: Sistema Ocular, SDe: Sistema Dentario, SU: Sistema Urinario, STe: Sistema Termoregulador. Modo de Preparación: In: Infusión, Ma: Maceración, De: Decocción, U: Ungüento, Ca: Cataplasma, Ba: Baño, Ga: Gárgara, Inh: Inhalación, Cd: Consumo directo y Ju: jugo. Administración: I: Interna, E: Externa. Espacios de recolección: Cp: Cultivo propio, Rc: Recolección a campo, Co: Compra. Organos empleados: Ta: Tallos, Ho: Hojas, Fl: Flores, Fr: Frutos, Se: semillas, Ram: Ramas, Tu: Tubérculos, Co: Cortezas, Pe: Planta entera, Es: Espinas, Ra: Raíces.

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
Alliaceae	<i>Allium cepa</i> L.	Cebolla	Fabroni & Wagner 2063	No N	H	Vulnerario. Descongestivo	SPi. SR	Ca. Inh.	I. E.	Co	Ho	23
	<i>Allium sativum</i> L.	Ajo	Fabroni & Ramos 2062	No N	H	Analgésico. Hepático. Vitaminico. Vermífugo. Antitusivo. Descongestivo	SD, SV, SOs, SR	Ma. Cd	I. E.	Co	Ho	54
Amaranthaceae	<i>Alternanthera pungens</i> Kunth.	Yerba del pollo	Fabroni & Flores 1780	N	H	Antidiarreico . Diurético. Depurativo	SD, SV, SU	In.	I	Rc	Ho	34
Anacardiaceae	<i>Schinus areira</i> L.	Aguaribay	Fabroni & Flores 1790	N	A	Analgésico. Tónico. Pediculicida	SOs, SPi .SV	U. In.	E. I.	Rc	Ho, Ram, Fr	34
	<i>Schinus pilifera</i> I.M. Johnst.	Molle	Fabroni & Arcelán 1971	N	Ab	Hepático. Analgésico. Digestivo. Pediculicida	SD, SPi	In.	I	Rc. Cp.	Ho, Ta	31
Apiaceae	<i>Apium graveolens</i> L.	Apio	Fabroni & Robbiati 1690	No N	H	Carminativo	SD	In. Cd.	I	Cp	Pe	11
	<i>Azorella trisecta</i> (H. Wolff) Mart. Fernández & C.I. Calviño	Chuchicaña	Fabroni et al. 1405	N	Ab	Antitusivo	SR	In.	I	Rc	Ta, Es	11
	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Hinojo	Correa 269	No N	H	Cardiotónico. Digestivo	SD, SV	In. U.	I. E.	Cp	Ho	23
	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss	Perejil	Fabroni & Vega 2043	No N	H	Abortivo	SG	Ca.	E.	Co	Ho, Ta	11

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
	<i>Pimpinella anisum</i> L.	Anís	Hilgert 1624	No N	H	Digestivo. Carminativo	SD	In.	I	Co	Fl	15
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Yerba mate	Hilgert 1565	N	A	Cardiotónico	SV	In.	I	Co	Ho, Ram	11
Araceae	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	Oreja de elefante	Hilgert 1566	No N	H	Antidiarreico	SD	In.	I	Cp	Ri	11
Asphodelaceae	<i>Aloe vera</i> L.	Aloe/Sábila	Fabbroni, Fuentes & Arcelán 1955	No N	H	Vulnerario. Digestivo. Dermatosis. Purgante. Cosmético	SD,SPi	In. U.	I. E.	Cp	Ho	35
Asteraceae	<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	Vira vira	Novara & Bruno 8979 (SI)	N	H	Antitusivo. Descongestivo	SR	In.	I	Co	Fl, Ho,Fr	15
	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenjo	Fabbroni & Arcelán 1970	No N	Ab	Hepático	SD	In.	I	Rc	Ho	11
	<i>Artemisia annua</i> L.	Artemisa	Novara 8394	No N	H	Emenagogo. Abortivo (mezcla con poleo)	SG	Ma. In.	I	Cp	Ho	15
	<i>Artemisia copa</i> Phil.	Copa copa	Fabbroni 417, 2011	N	Ab	Preventivo	STe	In.	I	Rc	Pe	18
	<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	Carqueja	Fabbroni & Corbalán 2066	N	Ab	Hepático. Digestivo	SD	In.	I	Rc	Ho	15
	<i>Bidens mandonii</i> (Scherff) Cabrera	Amor seco	Fabbroni & Salazar 1917	N	H	Antibiótico	SU	In.	I	Cp	Ho	11
	<i>Calendula officinalis</i> L.	Caléndula	S/E	No N	H	Vulnerario. Dermatosis. Antiinflamatorio	SPi, SDe	U. Ga.	I. E.	Rc	Ho, Fl	27
	<i>Cichorium intybus</i> L.	Achicoria	Novara 3029	No N	H	Digestivo. Hepático	SD	In.	I	Cp	Ho	15
	<i>Cyclolepis genistoides</i> Guillies ex	Palo azul	MCNS 247	N	Ab	Analgésico. Antiinflamatorio.	SU	De.	I	Co	Ho, Ram	24

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
	D. Don					Resolutivo. Antinefritico						
	<i>Cynara cardunculus</i> var. <i>scolymus</i> (L.) Fiori	Alcachofa	Hilgert 2470	No N	H	Hepático. Digestivo	SD	In.	I	Cp	Ho	15
	<i>Echinacea angustifolia</i> DC.	Equinácea	S/E	No N	H	Antitusivo. Tónico	SR, SV	Ma.	I	Co	Pe	23
	<i>Grindelia peruviana</i> Sch. Bip.	Grindella	S/E	N	Ab	Analgésico. Antireumático	SOs, SNC	U.	E	Rc	Ho	23
	<i>Haplopappus rigidus</i> Phil.	Bailabuena	Fabroni 1880	N	Ab	Digestivo	SD	In.	I	Cp	Pe	11
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Manzanilla	Fabroni & Giamminola 2067	No N	H	Antiinflamatorio. Digestivo. Dermatósico. Antidepresivo. . Oftalmia. Analgésico. Tónico. Antidiarreico. Purgante. Vulnerario	SPi, SD, SP, SOs, SG, SO	In. Ba.	I. E.	Co	Ho, Fl	85
	<i>Pluchea sagittalis</i> (Lam.) Cabrera	Cuatro cantos	Fabroni & Arcelán 1974	N	Ab	Digestivo. Hepático	SD	In.	I	Cp	Pe	15
	<i>Senecio nutans</i> Sch. Bip.	Chachacoma	Tolaba 3072	N	Ab	Antiasmático	SR	In.	I	Rc	Ho	11
	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	Cardo mariano	Novara 2810	No N	H	Hepático. Digestivo	SD	In.	I	Cp	Se	15
	<i>Smallanthus macroscyphus</i> (Baker) A. Grau ex A. A. Sáenz	Yacón	Novara 3270	N	H	Hipoglucemiante. Vulnerario	SPI, SE	Ma.	I	Cp	Ra	23
	<i>Tagetes minuta</i> L.	Suico	Novara 7809	N	H	Vermífugo. Hepático. Purgante	SD	Ma.	I	Cp	Ho	20

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
	<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Sch. Bip.	Manzanilla	Fabroni & Arcelán 1924	No N	H	Analgésico	SNC	In.	I	Cp	Ho,Fl	11
	<i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg.	Diente de león	Fabroni & Fuentes 1960	No N	H	Digestivo. Tónico. Hepático	SD, SV	In. U.	I. E.	Cp	Ho, Fl	27
	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Abrojo	Fabroni & Salazar 1916	No N	H	Anticolestero lemiante. Hepático	SV, SD	In.	I	Cp	Fl	23
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	Urucú	Fabroni & Córdoba 1417	No N	A	Antiinflamatorio	SD	U.	E	Co	Se	11
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i> L.	Borraja	Fabroni & Fuentes 1961	No N	H	Antitusivo. Expectorante . Sedativo	SR, SP	De.	I	Rc	Ho	27
Brassicaceae	<i>Lepidium didymum</i> L.	Quimpe	Fabroni & Fuentes 1962	N	H	Antitusivo. Descongestivo Antifebril. Antiinflamatorio. Resolutivo	SR, SDe, SPi	In.	I	Rc	Ho, Ta	42
	<i>Lepidium meyenii</i> Walp.	Maca	Fabroni & Gauffin 1054, 1163	N	H	Energizante. Desintoxicante	SE	In.	I	Co	Ho	15
	<i>Raphanus sativus</i> L.	Rábano	Fabroni & Figueroa 2053	No N	H	Regulador de la tiroides	SE	Ma.	I	Cp	Fr	11
Cactaceae	<i>Airampoa ayrampo</i> (Azara) Doweld	Airampo	Novara & Kiesling 13233	N	Ab	Antifebril	STe	In.	I	Rc	Se	11
	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Tuna	Fabroni, Fuentes & Arcelán 1956	N	Ab	Analgésico	SOs	Ca.	E	Rc	Ho	11
Cannabinaceae	<i>Cannabis sativa</i> L.	Cannabis	S/E	No N	H	Sedativo. Analgésico	SP, SOs	Ma.	I	Co	Ho	23
Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	Madre selva	Novara 2896	No N	Ab	Antiséptico (infección urinaria)	SU	In.	I	Cp	Fl	11
	<i>Valeriana officinalis</i> L.	Valeriana	S/E	No N	H	Sedativo	SP	In.	I	Co	Ra	11

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	Novara 2333	No N	A	Vermífugo. Preventivo. Digestivo	SD, SV	Cd.	I	Rc	Se	27
	<i>Vasconcellea quercifolia</i> A. St.-Hil.	Papaya del monte	Fabbroni & Salazar 1922	N	A	Antiverrucoso	SPi	U.	E	Cp	Fr	11
Chenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cicla</i> L.	Acelga	Hilgert 1586	No N	H	Descongestivo	SR	Inh.	I	Cp	Ho, Ta	11
	<i>Dhysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	Paico	Fabbroni & Fuentes 1964	N	H	Vermífugo. Digestivo. Depurativo	SD	In. Ma.	I	Co. Rc.	Pe	20
	<i>Dhysphania mandonii</i> (S. Watson) Mosyakin & Clemants	Arcayuyo	Fabbroni & Gauffin 516	N	H	Digestivo. Hipertensor.	SD,SV	In.	I	Rc	Ho	23
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> L. var. <i>erecta</i>	Santa Lucía	Fabbroni & Salazar 1920	N	H	Oftalmia	SO	Ca.	E	Rc	Fr	11
	<i>Tripogandra purpurascens</i> (Schauer) Handlos subsp. <i>australis</i> Handlos	Santa Lucía	Fabbroni & Salazar 1913	N	H	Oftalmia	SO	Cd.	I	Cp	Fl	11
Convolvulaceae	<i>Dichondra sericea</i> Sw.	Oreja de ratón	Fabbroni & Salazar 1918	N	H	Antiinflamatorio. Anticonceptivo	SG, SOs	De.	I	Cp	Ra	23
	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth.	Ipomea	Fabbroni & Salazar 1949	N	H	Alucinógeno	SP	In.	I	Cp	Se	11
Crassulaceae	<i>Bryophyllum daigremontianum</i> (Raym.-Hamet & H. Perrier) A. Berger	Kalanchoe	S/E	No N	H	Vulnerario. Tratamiento de distintos tipos de cáncer	SPi	Ma. Ca.	I. E.	Cp	Pe	15

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
Cucurbitaceae	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum.	Sandía	Fabbroni & Díaz Paz 2054	No N	H	Vermífugo	SD	Cd.	I	Co	Se	11
	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne subsp. <i>maxima</i>	Zapallo criollo	Fabbroni & Saravia 2056	No N	H	Vermífugo	SD	Cd.	I	Co	Se	11
Cupressaceae	<i>Cupressus</i> spp.	Ciprés	Fabbroni & Barranco 2045	No N	A	Expectorante . Anticaspa	SR, SPi	U.	E	Rc	Ho	23
Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	Cola de caballo	Palaci 88; Novara 3377	N	H	Digestivo. Diurético. Antiinflamatorio. Hepático	SD, SU, SG	In. Ma.	I	Rc. Co.	Pe	38
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum coca</i> Lam.	Coca	Hilgert 2108	No N	Ab	Digestivo. Analgésico. Descongestivo	SR, SD, SNC	In. Cd.	I	Co	Ho	34
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia serpens</i> Kunth var. <i>microphylla</i> Müll. Arg.	Yerba meona	Fabbroni & Flores 1781	No N	H	Diurético	SU	In.	I	Cp	Ho	11
Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> sp.	Geranio	Fabbroni & Serapio Abad 1000	No N	H	Purgante	SD	Ba.	E	Cp	Ho	11
Hypericaceae	<i>Hypericum connatum</i> Lam.	Hiperico	Núñez 186	N	H	Armonización energética. Antidepresivo	SP	Ma.	I	Cp	Pe	23
Lamiaceae	<i>Clinopodium gilliesii</i> (Benth.) Kuntze	Muña muña	Fabbroni & Gauffin 1715	N	Ab	Hepático. Afrodisíaco. Depurativo. Cardiotónico	SD,SV,SE	Ma. In.	I	Rc. Cp	Pe	38
	<i>Lavandula officinalis</i> Chaix	Lavanda	Fabbroni & Araoz 2064	No N	Ab	Analgésico. Antiinflamatorio. Resolutivo. Antireumático	SPi,SNC,SP, SOs	In. Ba. Ma.	I. E.	Co	Pe	62

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
						Sedativo. Vulnerario. Cosmético. Armonización energética						
	<i>Melissa officinalis</i> L.	Melisa/ Toronjil	Novara 3024	No N	H	Sedativo. Depurativo. Cosmético. Analgésico	SP, SPi, SG, SD	In. U. Ju.	I. E.	Cp	Ho	45
	<i>Mentha piperita</i> L.	Yerba buena	Fabbroni & Dalale 2060	No N	H	Digestivo. Preventivo	SD	In.	I	Cp	Ho	15
	<i>Mentha pulegium</i> L.	Menta	Fabbroni & Salazar 1915	No N	H	Analgésico. Tónico. Digestivo. Diurético. Expectorante. Armonización energética. Preventivo	SD, SU, SR, SP	In. Ma. U.	I. E.	Cp. Co. Rc	Ho, Ta, Fl	58
	<i>Minthostachys verticillata</i> (Griseb.) Epling	Peperina	Sleumer 3983 (SI)	No N	H	Hepático. Digestivo	SD	In.	I	Cp	Ho	15
	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Albahaca	Fabbroni & Salazar 1928	No N	H	Repelente. Antiespasmódico	SG, SPi	In.	I	Cp	Ho	23
	<i>Origanum vulgare</i> L.	Orégano	Fabbroni & Salazar 1927	No N	H	Antitusivo. Analgésico. Antiespasmódico. Digestivo	SG, SR, SD	In.	I	Cp	Ho	38
	<i>Plectranthus neochilus</i> Schltr.	Buscapina/Certal/Boldo paraguayo	Fabbroni & Fuentes 1959	No N	H	Digestivo. Analgésico	SG, SD	In.	I	Cp	Ho	23
	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romero	Fabbroni & Sosa 2061	No N	Ab	Armonización energética. Analgésico. Expectorante. Vulnerario. Dermatósico. Cardiotónico.	SR, SPi, SP, SV, SNC	In. Ma.	I	Cp	Ho, Ta	69

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
						Antitusivo. Tónico.						
	<i>Salvia officinalis</i> L.	Salvia	Fabroni & Molina 2058	No N	H	Analgésico. Cosmético. Vulnerario. Emenagogo. Hipoprolactinemia. Vasodilatador Resolutivo	SPi, SG, SV	In. U.	I. E.	Cp	Pe	51
	<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Wied-Neuw.	Coral	S/E	No N	H	Carminativo. Resolutivo	SPi, SD	In. Ca.	I. E.	Rc	Ho	23
	<i>Tymus officinalis</i> L.	Tomillo	Fabroni & Salazar 1923	No N	H	Analgésico. Repelente. Anticaspa. Antibiótico. Antitusivo. Pediculicida	SPi, SOs, SR	In. U.	I. E.	Cp	Ho, Fl	46
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	Laurel	Fabroni & Piquín 2055	No N	A	Repelente. Hipertensor. Anticaspa.	SV, SPi	In. U.	I. E.	Co	Ho, Fr	27
	<i>Persea americana</i> Mill.	Palta	Fabroni & Arcelán 1972	No N	A	Purgante	SD	In.	I	Rc	Ho	11
Leguminosae	<i>Bauhinia forficata</i> Link ssp. <i>pruinosa</i> (Vogel) Fortunato & Wunderlin	Pata de vaca	Fabroni & Barrientos 1266	N	A	Hipoglucemiante	SE	In.	I	Rc	Ho	11
	<i>Geoffrea decorticans</i> (Gill. ex Hook. et Arn.) Burk.	Chañar	Fabroni & Gauffin 842	N	A	Antitusivo	SR	In. De. Ma.	I	Rc	Fl, Co, Fr, Ho	11
	<i>Senna alexandrina</i> Mill.	Sen	S/E	No N	Ab	Purgante	SD	In.	I	Co	Ho	11

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
	<i>Vachellia aroma</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger	Tusca	Fabbroni & Salazar 1948	N	A	Cicatrizante interno. Depurativo. Hepático. Hipoglucemiante. Hipolipidemiante. Antiinflamatorio. Antidiarreico. Estimulante. Diurético	SPi, SD, SE, SNC	In. De.	I.	Rc	Ho, Co	66
	<i>Vicia faba</i> L.	Haba	Hilgert 2263	No N	H	Resolutivo	SPi	Ca.	E	Rc	Se	11
Malvaceae	<i>Malva parviflora</i>	Malva	Fabbroni & Salazar 1921	No N	H	Antiinflamatorio	SD	Ba.	E	Cp	Ho	11
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Paraíso	Fabbroni & Molina 2044	No N	A	Pediculicida	SPi	De. U.	I. E.	Rc	Ho, Ram	11
Mirthaceae	<i>Eucalyptus</i> spp.	Eucalipto	Fabbroni & Perez 2047	No N	Ab	Antitusivo. Repelente. Expectorante. Antiasmático. Descongestivo	SR, SPi	In. U. Inh.	I. E.	Rc	Ho	35
	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	Eucalipto	Fabbroni & Benci 2048	No N	A	Antitusivo. Expectorante	SR	Inh.	I.	Cp	Ho	15
	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. G L. M. Perry	Clavo de olor	Hilgert 1580	No N	A	Analgesico	SDe	Ca.	E.	Co	Fl	11
Monimiaceae	<i>Peumus boldus</i> Molina	Boldo	S/E	No N	A	Digestivo. Hepático	SD	In.	I	Co	Ho	15
Moraceae	<i>Ficus carica</i> L.	Higuera	Fabbroni & Collavino 2049	No N	A	Hipoglucemiante	SE	In.	I	Rc	Ho	11
	<i>Morus alba</i> L.	Morera/Mora	Novara 1965	No N	A	Antifebril. Expectorante	SR	In.	I	Cp	Ho	15
Musaceae	<i>Musa x paradisiaca</i> L.	Banano	Fabbroni & Solis 2065	No N	H	Sedativo	SP	In.	I	Co	Fr	11

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	Santa Rita	Fabroni & Salazar 1936	No N	Ab	Antitusivo	SR	In.	I	Cp	Fl	11
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i> Sims	Pasionaria	Fabroni & Arcelán 1969	N	H	Sedativo	SP	In.	I	Cp	Ho	11
Petiveriaceae	<i>Petiveria alliacea</i> L.	Calauchin	Novara 8834	N	H	Analgésico	SOs	In.	I	Rc	Ho	11
Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	Pino	Fabroni & Bulacio 2046	No N	A	Repelente. Expectorante	SPi, SR	U.	E	Rc	Ho	23
Piperaceae	<i>Piper tucumanum</i> C. DC.	Matico	Novara 10032	N	Ab	Antitusivo. Descongestivo	SR	Inh. De.	I.	Cp	Ho,Ram	15
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	Llantén	Fabroni & Fuentes 1963	No N	H	Antiodontálgico. . Analgésico. Antiséptico. Vulnerario. Dermatósico. Antidiarreico. Descongestivo. Antifebrífugo. . Hidratante. Resolutivo	SPi, SDe, SD, SR	U. De. Ca.	I. E.	Cp. Rc	Ho, Fl	70
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	Maíz	Fabroni & Díaz 2059	No N	H	Purgante. Diurético.	SD, SU	De.	I	Co	Fr, Fl	11
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Nispero japonés	Fabroni & Acuña 2050	No N	A	Antiasmático Antitusivo. Descongestivo. Expectorante Antifebrífugo	SR	Inh. De.	I.	Rc	Ho	28
	<i>Malus domestica</i> (Souckow) Borkh.	Manzano	Fabroni & Vilte 2051	No N	A	Tónico. Digestivo. Purgante. Antidiarreico	SD, SE, SNC	De. Cd.	I	Co	Fr	38
	<i>Rubus idaeus</i> L.	Frambuesa	S/E	No N	Ab	Ecbólico	SG	In. Ma.	I	Cp	Ho	11
Rutaceae	<i>Ruta chalepensis</i> L.	Ruda	Novara 2957	No N	Ab	Cefaleas. Varicosis. Sedativo. Analgésico. Hipocoleste- rolemiante.	SP, SNC, SG, SE, SV, SD, SR	In.	I	Cp	Pe	100

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
						Expectorante. . Digestivo. Purgante. Vermífugo. Abortivo. Hepático. Antiespasmódico						
Solanaceae	<i>Brunfelsia pauciflora</i> (Cham. & Schlttdl.) Benth.	Jazmin paraguayo	S/E	No N	Ab	Sedativo	SP	In.	I	Cp	Fl	11
	<i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	Locoto	Fabbroni & Del Basso 2057	No N	H	Hepático. Cardiotónico. Depurativo.	SD, SV	Ma.	I	Co	Se, Fr	27
	<i>Cestrum parqui</i> L'Herit.	Hediondilla	Novara 4092	N	Ab	Analgesico. Antiséptico. Dermatósico	SPi, SD	De.	I.	Cp	Ho	27
	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Palán-Palán	De la Fuente & Lusvarghi 1087	N	Ab	Adelgazante. Antiséptico. Dermatósico	SPi, SE	De. Ca.	I. E.	Cp	Ho	27
	<i>Solanum tuberosum</i> L. subsp. <i>tuberosum</i>	Papa	Hilgert 1907	No N	H	Vulnerario	SPi	Ca.	E	Co	Tu	11
Tiliaceae	<i>Tilia</i> spp.	Tilo	S/E	No N	A	Sedativo. Digestivo	SP, SD	In.	I	Co	Ho	23
Urticaceae	<i>Urtica circularis</i> (Hicken) Sorarú	Ortiga	Fabbroni & Salazar 1926	N	H	Antialopecico. Vitaminico	SPi, SV	Ma.	I	Cp	Ho	23
	<i>Urtica dioica</i> L.	Ortiga	Fabbroni & Salazar 1914	No N	Ab	Antivaricoso Cardiotónico. Depurativo. Vermífugo. Vitaminico	SV, SD	In.	I	Cp	Ho	35
Verbenaceae	<i>Aloysia citrodora</i> Palau	Cedrón	Fabbroni 1743; Novara 7550	N	Ab	Digestivo. Sedativo. Purgante. Hepático. Neurotóxico	SD, SP, SNC	In.	I	Cp	Ho	42

Familia	Nombre científico	Nombre local	Ejemplares de herbario	Status	Porte	Uso medicinal	Sistemas Corporales	Modo de preparación	Administración	Espacios de recolección/obtención	Órganos empleados	IR
	<i>Aloysia deserticola</i> (Phil.) Lu-Irving & O'Leary	Rica rica	Fabbroni 1866	N	Ab	Cicatrizante interno	SD	In.	I	Rc	Ho	11
	<i>Aloysia polystachya</i> (Griseb.) Moldenke	Burro, poleo	Fabbroni & Arcelán 1973	N	Ab	Digestivo. Sedativo	SD, SP	In.	I	Rc. Cp	Ho	23
	<i>Lippia turbinata</i> Griseb.	Poleo	Fabbroni & Gauffin 1653, 1792	N	Ab	Digestivo. Preventivo. Abortivo (con artemisa)	SD, SG	In.	I	Rc	Ho	20
	<i>Salimenaea integrifolia</i> (Griseb.) N. O'Leary & P. Moroni	Incauyuyo	Fabbroni & Flores 1771	N	Ab	Digestivo	SD	In.	I	Co	Ho	11
Viburnaceae	<i>Sambucus peruviana</i> Kunth.	Saúco	Novara 227	N	A	Hepático. Sedativo. Antitusivo.	SD, SR	In.	I	Rc	Fl	27
Zigophyllaceae	<i>Larrea</i> spp.	Jarilla	Fabbroni & Flores 1767	N	Ab	Antitusivo. Analgésico. Antifúngico. Cardiotónico	SOs, SR, SV, SPi	In.	I.	Cp	Pe	45
Zingiberaceae	<i>Curcuma longa</i> L.	Cúrcuma	S/E	No N	H	Digestivo. Analgésico. Cardiotónico. Antiinflamatorio. Hepático	SD, SV, SNC	In. U.	I. E.	Co	Ra	42
	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Jengibre	S/E	No N	H	Descongestivo. Antifebrífugo. Cardiotónico. Digestivo	SD, SV, SR	In. Ma.	I	Co	Ra	38

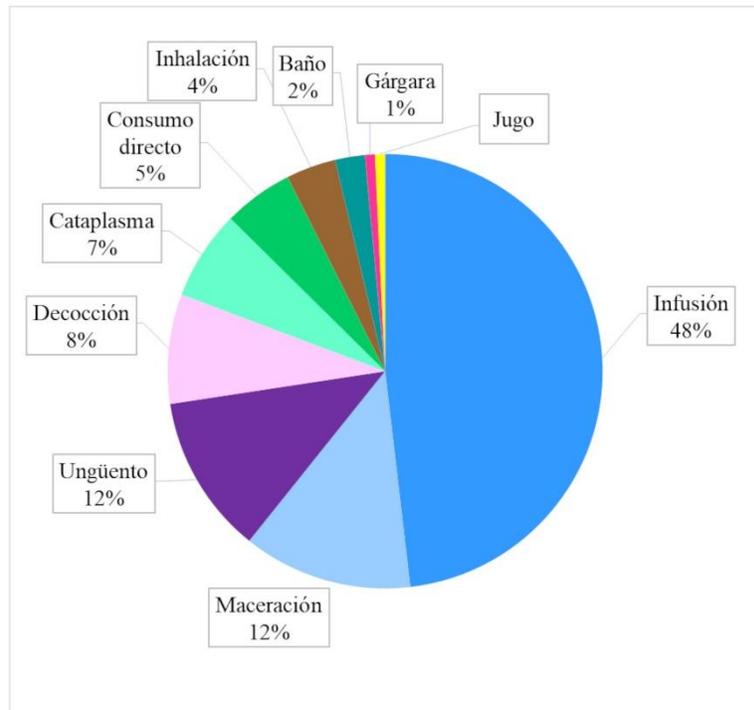


Figura 2. Distribución porcentual de los modos de preparación de las plantas medicinales.
Figure 2. Percentage distribution of the modes of preparation of medicinal plants.



Figura 3. A: Centro de Salud N° 55 del Barrio 17 de Octubre. B: Centro de Salud N°15 del Barrio Castaños. C: Cultivo de *Curcuma longa* (cúrcuma). D: Grupo focal en centro de salud. E: Recorrido botánico. F: Cultivo de *Passiflora edulis* (pasionaria). G: Huerto doméstico con *Tanacetum parthenium* (manzanilla). H: Jardín de vivienda con *Aloysia polystachya* (burro). I: Entrevista a vecinos del Barrio Ciudad del Milagro. J: Cultivo de *Rosmarinus officinalis* (romero) en un jardín frontal. K: *Bidens mandonii* (amor seco) en el recorrido botánico. L: *Pluchea sagittalis* (cuatro cantos) en cultivado en maceta. M: Planta de *Aloe vera* (aloe, sábila) en maceta de jardín. N: Tintura madre a base de *Allium sativum* (ajo). O: Hojas secas de *Erythroxylum coca* (coca). P: "Mate", infusión típica argentina. Q: Conserva de *Capsicum pubescens* (locoto).

Figure 3. A: Health Center No. 55 in the 17 de Octubre neighborhood. B: Health Center No. 15 in the Castaños neighborhood. C: Cultivation of *Curcuma longa* (turmeric). D: Focus group at the health center. E: Botanical tour. F: Cultivation of *Passiflora edulis* (passion fruit). G: Domestic garden with *Tanacetum parthenium* (feverfew). H: House garden with *Aloysia polystachya* (lemongrass). I: Interview with residents of Ciudad del Milagro neighborhood. J: Cultivation of *Rosmarinus officinalis* (rosemary) in a front yard. K: *Bidens mandonii* (amor seco) on the botanical tour. L: *Pluchea sagittalis* (cuatro cantos) cultivated in a pot. M: *Aloe vera* plant (aloe) in a garden pot. N: Mother tincture based on *Allium sativum* (garlic). O: Dried leaves of *Erythroxylum coca* (coca). P: "Mate," typical Argentine infusion. Q: Preserves of *Capsicum pubescens* (locoto).

Sistemas corporales e importancia cultural de las especies

Del análisis efectuado a las entrevistas se infiere que los pobladores del norte de la ciudad de Salta cultivan y cuidan el 47% las plantas medicinales que utilizan (Figura 3E, L, M), un 32% son recogidas de los cerros de los alrededores de sus viviendas y sólo el 25% se adquieren exclusivamente en comercios como herboristerías, dietéticas, mercados y supermercados. La

Figura 4 muestra los sistemas corporales que se atienden prioritariamente en la que se combinan nociones de la medicina oficial, complementaria, alternativa y/o tradicional. El Sistema Digestivo prevalece por el número de plantas y los usos medicinales asociadas al tratamiento doméstico de las afecciones gastroenterológicas cuya preparación y consumo en infusiones es sencilla y por la tradición que asocia a las aromáticas con este tipo de dolencias. Casi la mitad de los taxones citados (57) se destinan al tratamiento de este tipo de trastornos como hepáticos, purgantes, antidiarreicos, carminativos y vermífugos. Buena parte de las plantas con propiedades digestivas son no nativas (68%) y se consumen las hojas, tallos y flores deshidratadas en el “mate” (77%), una infusión a base de yerba que consiste en hojas trituradas de *Ilex paraguariensis* (yerba mate) que se comercializa en toda la Argentina (Figura 3P). Siguiendo con el mismo sistema corporal, con fines preventivos, se consumen infusiones frías o calientes de plantas que favorecen la digestión, por ejemplo, las plantas nativas como *Dysphania mandonii* (arcayuyo), *D. ambrosioides* (paico), *Aloysia citrodora* (cedrón), *Vachellia aroma* (tusca) y *Aloe vera* (aloe) que previene la constipación. Le siguen los Sistemas Piel y Respiratorio con valores similares en cantidad de taxones y usos medicinales que, para las afecciones dérmicas, se emplean plantas con propiedades vulnerarias, antiverrucosas, pediculicidas (*Schinus areira*, *S. pilifera*), anticaspa y para el cuidado estético de la piel (*Lavandula officinalis*, *Melissa officinalis*) y el cabello (*Urtica circularis*). Para el tratamiento de afecciones respiratorias leves como tos, resfríos y congestión se utilizan plantas de gran disponibilidad en ambientes urbanos ya sea por su condición de ruderal (*Nicotiana glauca*, *Plantago major*), por su cultivo ornamental (*Eucalyptus* sp., *Morus alba*, *Boungainvillea spectabilis*) como así también plantas nativas como *Geoffreoa decorticans* (chañar), un árbol que crece espontáneamente tanto en sectores peridomésticos, como en las plazas y espacios verdes de la ciudad. Continúa el Sistema Vascular con demandas importantes de plantas cardiotónicas, depurativas, hiper o hipotensoras y para los desbalances del colesterol, lo que sugiere que los participantes construyen su salud en torno a una vida natural y saludable. Le sigue el Sistema Psíquico donde las plantas adquieren relevancia en el tratamiento de enfermedades características de los contextos urbanos como el estrés, insomnio, cansancio y de problemas asociados con el cotidiano vivir, familiar o económico, que repercuten en su bienestar psicológico. Se emplean plantas a las que se le atribuyen propiedades inmunológicas (*Malus domestica*, *Urtica dioica*), antidepressivas (*Hypericum connatum*), sedantes y relajantes (*Aloysia polystachya*, *Musa x paradisiaca*, *Sambucus peruviana*). Otras ayudan en la armonización energética de la persona, a superar los “miedos y bloqueos internos” (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis*, *Mentha pulegium*). Tales características denotan la necesidad de los ciudadanos de aliviar su salud mental y emocional. Los siguientes sistemas Urinario, Genital, Nervioso Central, Endócrino y Osteomuscular forman un subgrupo con valores similares de taxones (entre 8 y 13) y usos medicinales (entre 10 y 17). Los restantes sistemas Ocular, Dentario y Termorregulador presentaron menores valores tanto en taxones como en usos medicinales.

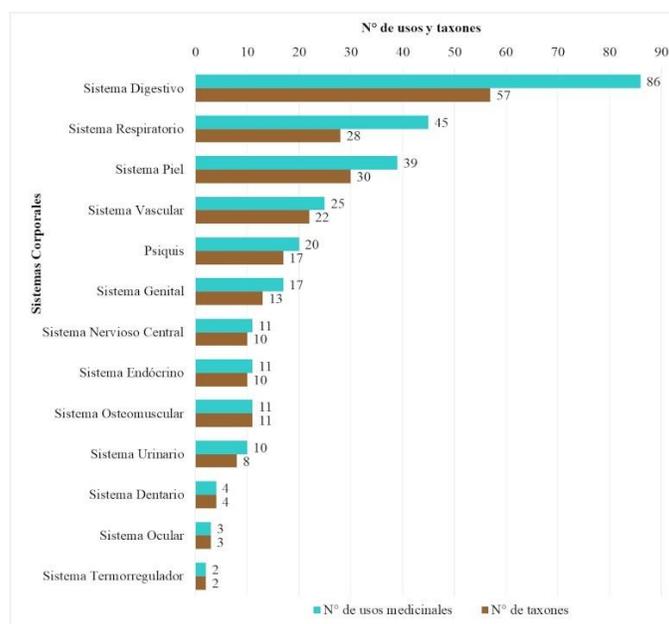


Figura 4. Distribución de la cantidad de usos y de taxones según los sistemas corporales.
Figure 4. Distribution of the quantity of uses and taxa according to the body systems.

Con relación al valor terapéutico de la flora local del área de estudio, en la totalidad de los sistemas corporales analizados se emplean 46 plantas nativas para el tratamiento de las enfermedades. La mayoría (18 spp.) se ocupan para el tratamiento de afecciones de los Sistemas Digestivo y Piel (11); 8 especies involucran al Sistema Vascular, entre 6 y 3 a los Sistemas Endócrino, Osteomuscular, Urinario, Psiquis, Nervioso Central y Genital, mientras que los Sistemas Ocular y Termorregulador comprenden a 2 plantas y una en el Sistema Dentario. Los representantes locales del género *Larrea* (jarillas) y *Vachellia aroma* (tusca) se emplean como vulnerario, antifúngico, antitusivo, cardiotónico y analgésico (Tabla 1). Las mezclas de plantas también son frecuentes, por ejemplo, se combinan *Lavandula officinalis* (lavanda) con *Matricaria chamomilla* (manzanilla) y sales de magnesio formando las “pindas”, bolsas de tela que envuelven a la mezcla y se aplican en masajes descontracturantes y mitigan los dolores articulares en personas con artralgias, artritis y artrosis. Sin embargo, los entrevistados mencionan que su uso debe ser cauteloso dado que la mezcla potencia la propiedad relajante y, particularmente en personas con presión baja, puede ser riesgoso. Otras mezclas mencionadas son las hojas infusionadas de *Borago officinalis* (borraja) y *Lepidium didymum* (quimpe) para aliviar la tos fuerte o la combinación de *Bryophyllum daigremontianum* (kalanchoe) y *Aloe vera* (aloe) (Figura 3M) en cataplasmas como vulnerario. Se reportó el uso de *Erythroxylum coca* (coca) como digestivo, analgésico y descongestivo mediante la infusión de las hojas y el consumo directo conocido como “coqueo” introduciendo unas cinco a seis hojas dentro de la boca (“acuso”, “acullico”) que se mastican o solo se dejan entre de la mejilla y la mandíbula, para extraer sus jugos (Figura 3O). La planta de *Aloe vera* (aloe, sábila) es cultivada en muchos jardines urbanos, consumida con fines preventivos y también como antiinflamatorio para los miembros inferiores con tomas diarias y complementado con el tratamiento médico oficial.

En relación con los efectos secundarios o no deseados señalados por los participantes, éstos recomiendan no ingerir *Rosmarinus officinalis* (romero) porque puede generar hipertensión arterial y, en general, comentaron que no se debe emplear ninguna planta en embarazadas y en bebés hasta los 2 años tanto de uso interno (infusiones, decocciones) como externo (cataplasmas, ungüentos, baños). Otros advierten que el cocimiento excesivo puede ser tóxico, ya que se pueden desarrollar otros principios activos nocivos, como es el caso de la infusión de

Lavandula officinalis (lavanda) como analgésico para cefaleas. Los participantes son conscientes de que el efecto de una planta medicinal en cada individuo es diferente, y son cuidadosos al momento de recomendar. Manifiestan que la forma de administrarse debe ser medida en las cantidades, siendo la medida usual del órgano empleado la equivalente a los “tres dedos” y una cucharadita de té por taza. Para que el efecto terapéutico de las plantas sea efectivo, se recomienda su consumo como máximo durante un mes o de uno a tres meses. Otros usuarios consumen plantas con fines preventivos como la especie *Artemisia copa* (copa copa) para dar calor previo al invierno y otros consumen diariamente *Capsicum pubescens* (locoto) para combatir la gastritis (Figura 3Q).

Los valores de la Importancia Relativa (IR) de cada una varían entre 11 y 100 y muestran que aquellas con valores de $IR > 75$ poseen mayor versatilidad medicinal, como *Ruta chalepensis* (ruda) ($IR=100$) y *Matricaria chamomilla* (manzanilla) ($IR=85$); con versatilidad media (IR entre 75 y 25) se agrupan el 29,2% de las plantas, entre las que se mencionan a *Plantago major* (llantén) ($IR=70$), *Rosmarinus officinalis* (romero) ($IR=69$) y *Vachellia aroma* (tusca) ($IR=66$), en tanto que las menos versátiles ($IR > 25$) reúnen a la mayoría de las plantas (69%) que tratan entre 1 y 2 sistemas corporales (Tabla 1). Las 2 especies más versátiles se usan como digestivos, sedativos, analgésicos, antiinflamatorios, hipocolesterolemiantes, expectorantes, purgantes, antiespasmódicos y vulnerarios para el tratamiento de 10 sistemas corporales, tienen en común su origen no nativo euroasiático, se cultivan o se adquieren en comercios especializados. Ambas se preparan en infusiones de la planta entera en el caso de *R. chalepensis* y de hojas y flores en el de *M. chamomilla*, mientras que la administración de *R. chalepensis* no se recomienda para embarazadas.

El Factor de Consenso (FCI) entre los informantes (participantes) urbanos refleja la diversidad de criterios que los orientan en la selección de plantas para determinados tratamientos (Tabla 2). Los valores más altos de FCI fueron para los Sistemas Respiratorio ($FCI=0,62$) y Ocular ($FCI=0,60$) y con valor igual a cero para los Sistemas Dentario, Endocrino, Termorregulador dado que cada persona usa una especie diferente para distintas afecciones y dolencias, es decir no hay consenso entre los participantes. Los restantes sistemas corporales forman subgrupos homogéneos con valores de FCI similares (por ejemplo, Digestivo $FCI=0,57$, Genital $FCI=0,58$ y Piel $FCI=0,50$). Sigue teniendo alto consenso la elección del consumo de plantas con propiedades terapéuticas en el área de neumonología para aliviar dolencias y afecciones respiratorias (tos, resfriados, gripes y enfriamientos) prefiriendo los medicamentos herbarios naturales por sobre los medicamentos antibióticos y corticoides.

Tabla 2. Valores del Factor de Consenso entre Informantes (FCI) para los distintos sistemas corporales ordenados de manera decreciente.

Table 2. Values of the Consensus Factor among Informants (CFI) for different body systems arranged in decreasing order.

Sistema Corporal	FCI
Sistema Respiratorio	0,62
Sistema Ocular	0,60
Sistema Genital	0,58
Sistema Digestivo	0,57
Sistema Osteomuscular	0,55
Piel	0,50
Psiquis	0,36
Sistema Nervioso Central	0,25
Sistema Vascular	0,16

Sistema Urinario	0,14
Sistema Dentario	0,00
Sistema Endócrino	0,00
Sistema Termorregulador	0,00

Prácticas y saberes sobre plantas medicinales, enfermedades y fuentes del conocimiento botánico

Los testimonios recogidos por los participantes en relación a la concepción de las enfermedades y sus orígenes demuestran que las mismas son multicausales: a) el desbalance alimenticio y nutricional entendido como una alimentación basada en los excesos (alcohol, grasas, etc.) o la deficiente incorporación de alimentos nutritivos necesarios para el bienestar del cuerpo y su salud, b) los hábitos sedentarios que propician la inactividad del cuerpo con implicancias negativas sobre la salud y c) desarmonía emocional, es decir, la salud emocional vinculada a estados de desequilibrios (estrés) o desbalances energéticos, trastornos de ansiedad o el silenciar las emociones. En este sentido, se cree entonces, que las emociones crean estados físicos que el cuerpo comunica a través de las enfermedades. En nuestro ámbito de estudio, no se obtuvieron referencias concretas de las enfermedades o dolencias folk propiamente dichas, como tampoco se nombraron a médicos tradicionales, curanderos/as o especialistas locales dedicados a sanar a las personas.

Las fuentes de los saberes de las plantas medicinales en el ámbito urbano estudiado revelaron procesos de transmisión vertical, vinculadas al ámbito familiar, particularmente de padres o abuelos a hijos; de transmisión horizontal, es decir la circulación de prácticas caseras entre vecinos con presencia de nuevos aprendizajes y vías de transmisión o entre aquellos adultos mayores que migraron desde áreas rurales del interior de la provincia y aún conservan los conocimientos de la medicina criolla, y por los medios de comunicación de internet y redes sociales. En el contexto urbano analizado, si bien se han mencionado representaciones y prácticas de la medicina tradicional, se visualiza un proceso de hibridación cultural fruto de la interacción de personas con distintas bases culturales y de las influencias propias del ambiente urbano. Estos mecanismos de intersección y transacción posiblemente sean atribuidos a la urbanización, modernización, al avance de las terapias propias de las medicinas alternativas complementarias y una mayor difusión de los medios de comunicación sobre las virtudes de determinadas plantas.

Los participantes también mencionaron haber realizado cursos de capacitación en reconocimiento de plantas, elaboración de tinturas madres, fitoterapia, masoterapia, terapia floral y bioenergética, medicina andina y de cosmética natural como así también haber gestionado su autoconocimiento (autodidactas) mediante la lectura de literatura especializada y por compartir experiencias con otras personas. Algunos informantes que se identifican como conocedores de las plantas y de sus propiedades, participan de proyectos de emprendedores promovidos por asociaciones sin fines de lucro o por el municipio capitalino mediante microcréditos para la elaboración de diversos productos fitoterápicos entre ellos las tinturas madres y las microdosis que luego los ofrecen por canales de venta directa on line a herboristerías y dietéticas. También las ofrecen en ferias barriales, donde instruyen a los consumidores sobre sus usos y recomiendan su empleo. De esta manera ciertas plantas ingresan a los sistemas fitoterapéuticos de la ciudad, mediante las tinturas madres y microdosis de *Allium sativum* (ajo, Figura 3N), *Artemisia vulgaris* (artemisa) y *Cannabis sativa* (canabis), entre otras. Las plantas nativas adquieren relevancia en este ámbito de la medicina complementaria alternativa como *Geoffreoa decorticans* (chañar), *Dysphania ambrosioides* (paico), *Tagetes minuta* (suico), *Smallanthus macroscyphus* (yacón), *Passiflora edulis* (pasionaria) y *Bidens mandonii* (amor seco).

Los consumidores ciudadanos a pesar de tener sus necesidades básicas de salud ya satisfechas revalorizan la medicina tradicional y se vuelcan al consumo de plantas medicinales porque constituye la primera opción de curación ante una dolencia en el ámbito familiar, por su accesibilidad y bajo costo. Otros, recurren a las terapias alternativas con tratamientos de tinturas madres homeopáticas o aromaterapia. Quienes acuden a estas prácticas, buscan una cura o sanación natural, no invasiva que aborde integralmente a la persona física y emocionalmente.

En el discurso de los participantes se reflejan los saberes y prácticas de la herbolaria urbana proveniente de un conjunto de conocimientos botánicos híbridos y dinámicos puesto que incorpora constantemente nuevas especies, particularmente por la globalización del saber. Uno de los procesos de hibridación de la fitoterapia salteña se muestra con el aporte de especies y prácticas, aumentando la riqueza total de plantas medicinales (mecanismo de fusión o yuxtaposición), por ejemplo, en el caso de *Taraxacum officinale* (diente de león) y *Xanthium strumarium* (abrojo), ambas malezas no nativas muy difundidas en el Valle de Lerma con propiedades hepáticas, digestivas, tónicas y reguladoras del colesterol. Las combinaciones de plantas nativas y no nativas que refuerzan la acción terapéutica también es un mecanismo de hibridación (recombinación), como el caso de la combinación de *Lippia turbinata* (poleo, nativa) con plantas no nativas como *Artemisia annua* (artemisa) y *Artemisia absinthium* (ajenjo) o *Ruta chalepensis* (ruda) como mezcla contraceptiva. Las tinturas madres y las microdosis son productos innovadores en las terapias locales que se elaboran tanto con especies medicinales nativas como no nativas. Otro mecanismo de hibridación se da en el caso de la especie *Hiperium connatum* (hipérico) una hierba que crece en los cerros colindantes e indicada para la armonización energética y como antidepresivo, lo que podría sugerir la circulación de una especie adaptógena en el contexto urbano analizado.

Espacios y modos de adquisición

Las plantas medicinales se cultivan en los jardines, patios y en huertas familiares para consumo propio (45%) (Figura 3C, G, H, L, M); proceden de la recolección a campo en los cerros de los alrededores (31%) y de la adquisición en comercios especializados como mercados, farmacias, herboristerías y dietéticas locales (27%). Algunos participantes al recolectar las plantas a campo escogen lugares "lo más naturales posibles", tomando sólo la cantidad que asegure la supervivencia de la planta y seleccionando aquellas sanas y vigorosas.

Al relacionar las especies con IR mayor a 60 con los lugares de obtención, se puede observar que, las plantas más versátiles, *Matricaria chamomilla* es la única que se adquiere en comercios, *Vachellia aroma* solo se recolecta a campo, *Ruta chalepensis* y *Rosmarinus officinalis* se cultivan (Figura 3J) y, *Plantago major* se obtiene en el campo y también se cultiva.

Percepción de los profesionales de la salud

Desde nuestra investigación, se advirtió una gran heterogeneidad de sentires y saberes entre el personal de salud entrevistado, los cuales se agruparon en cuatro categorías que, de alguna manera, resumen las posturas de los integrantes de los equipos profesionales y no profesionales con respecto a las plantas medicinales: 1) El reconocimiento del uso de plantas medicinales por parte de los pacientes ("sabemos que las usan"); 2) La falta de evidencia científica cuantificable sobre los beneficios de su práctica ("no nos consta el beneficio"); 3) El temor a los efectos adversos (el fantasma de la toxicidad) y, 4) La ausencia de conocimiento formal sobre el uso ("a mí nadie me lo enseñó").

En relación con la primera categoría, el personal de salud entrevistado, en general, reconoce que los pacientes utilizan plantas medicinales en mayor o en menor medida, dando cuenta de nombres populares de 33 plantas medicinales empleadas por los pacientes, como por ejemplo *Dysphania ambrosioides* (paico), *Geoffroea decorticans* (chañar), *Petroselinum crispum* (perejil) y *Nicotiana glauca* (palán-palán), entre otras (Tabla 1). Asimismo, manifiestan que las afecciones gastrointestinales, las respiratorias y los problemas de piel son los más recurrentes

en los centros de atención primaria de la salud que atienden. Esto coincide con los usos más populares entre los entrevistados para el tratamiento de dolencias digestivas y respiratorias básicamente, según se demuestra por el mayor consenso entre informantes (FCI) obtenido para los Sistemas Digestivo y Respiratorio.

El conocimiento de los beneficios terapéuticos de las plantas por parte del personal de la salud proviene del propio entorno social y familiar y, a su vez de las conversaciones de sus pacientes durante las consultas médicas. Algunos de los participantes referían haber crecido en contacto con sus abuelas, destacando especialmente el rol femenino en los cuidados de la salud dentro del ámbito doméstico; manifiestan, además, que heredaron de ellas los saberes sobre prácticas fitoterápicas que las recuerdan y mantienen en el presente y que, incluso, fueron los motores para elegir las carreras relacionadas a las ciencias de la salud.

Algunos participantes consultados lamentan que, utilizar las plantas como primer tratamiento, hayan retrasado el acceso a la medicina alopática, reconocida por la mayoría como la “auténtica” y única posible de dar una respuesta óptima a los problemas de salud, especialmente los más graves. Cuando se les pregunta sobre el hábito de interrogar acerca del uso de plantas medicinales, no es común que esto ocurra en profesionales médicos y aclaran: “*La gente no te cuenta porque tienen miedo que los retes...*”. Se desconoce claramente la frecuencia del uso y la costumbre, probablemente porque se desestime esta práctica como importante, o porque los pacientes entiendan que, en el modelo biomédico de salud oficial, no hay lugar para otros tratamientos relacionados con enfoques más integrales, para lo que se acude, en muchos casos, a las medicinas tradicionales. Por otra parte, los profesionales nutricionistas, cuya práctica está centrada en los hábitos alimentarios, se atreven a interrogar más sobre consumos de infusiones, no así sobre otras modalidades de uso ajenas a la vía oral.

Para la segunda categoría, los testimonios recogidos sobre la falta de evidencia científica cuantificable de los beneficios de la práctica fitoterápica urbana reconocen que, entre las comunidades locales, se usan plantas medicinales por diversos motivos y, los profesionales (los que diagnostican y prescriben), se resisten a aceptar su beneficio al entender que no existen evidencias contundentes sobre las utilidades que dicen tener. Asimismo, reconocen que los problemas de salud por los que habitualmente se tratan los pobladores (problemas gastrointestinales, respiratorios y de piel), tienen un curso autolimitado, benigno, no de gravedad y donde el efecto placebo puede ser significativo, principalmente entre los que creen en el efecto curativo de las plantas.

Se reconoce, entre el personal de la salud consultado, que son muy estrictos en exigir evidencias científicas de las propiedades atribuidas a las plantas medicinales y muy laxos en prescribir medicamentos aprobados por la comunidad académica de nulo beneficio en determinadas patologías. Por otra parte, el personal de salud mira con mucha desconfianza las corrientes actuales que difunden sobre la inocuidad de los tratamientos de origen natural, donde la información de procedencia dudosa y poco científica en muchos casos circula por redes sociales de amplia accesibilidad para toda la población local.

Con respecto a la tercer categoría, cuando se habla de los efectos adversos del consumo de plantas medicinales, el personal sanitario consultado menciona el temor a prescribir algo que pueda dañar al paciente, aludiendo a la responsabilidad y autoridad que tienen sobre el cuidado de la salud y, si bien cuando se consulta acerca de la frecuencia de haber visto pacientes intoxicados, señalan uno u otro caso, hechos que quedaron grabados en sus memorias, como por ejemplo las intoxicaciones por “paico” (*Dysphania ambrosioides*) y “anís estrellado” (*Illicium verum*) en niños; también se recuerda un caso de quemadura local por la fricción con dientes de “ajo” (*Allium sativum*). Si bien se reconoce que las plantas, así como otros productos farmacológicos, no carecen del poder de producir toxicidad o eventos adversos, los mismos no se encuentran medidos ni en frecuencia de aparición, ni en gravedad.

El personal de la salud consultado manifiesta que desconfía de la cantidad de principio activo que puede tener la planta o la cantidad de planta que se use para la preparación, lo que se encuentra fuera del control profesional y a total criterio del paciente o del cuidador encargado de otorgar la medicina. Esta situación se compara con la administración justa de los medicamentos de la medicina formal que permite conocer la cantidad por dosis y la dosis acorde al peso y edad. Cabe aclarar que se reportaron algunos testimonios de profesionales que se sintieron cómodos en la prescripción de una planta con fines medicinales, sin embargo, aclaran: "... *la indico, pero no lo registro en la historia clínica*". Al profundizar sobre este tema, se alude al temor a la responsabilidad profesional en el caso de las intoxicaciones, incluso la opinión de otros colegas sobre el profesional que prescribe tratamientos no convencionales.

En la cuarta categoría se aprecia otra cuestión destacable que es la ausencia de conocimiento formal sobre el uso terapéutico de las plantas medicinales. Con excepción de algunos miembros de los equipos de salud participantes que reconocen tener un conocimiento informal heredado del ámbito familiar, todos los profesionales que participaron de la investigación advierten que no recibieron formación oficial durante sus carreras de grado, ni durante el período de las residencias médicas por parte del Ministerio de Salud de la provincia de Salta, salvo una profesional que relata haber participado de una experiencia con grupos originarios cuando trabajaba en el norte de la provincia. Sin embargo, expresaron la necesidad de contar con una capacitación formal sobre fitoterapia a través de cursos de formación en medicinas complementarias, particularmente para el personal a cargo de los Centros de Atención Primaria de la Salud (APS) de Salta.

DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran una riqueza de taxones medicinales de 120 plantas que duplica al registro del estudio de fitoterapia en barrios periurbanos del sudeste de la ciudad de Salta (59) (Oliva, 2016), es levemente mayor al estudio de farmacias expendedoras de plantas medicinales en 27 municipios de la provincia de Buenos Aires (109) (Consolini *et al.*, 2007), también a de la ciudad de Bahía Blanca (75) (Cambi & Hermann, 2001; Hermann *et al.*, 2001), al de la ciudad de Tandil (46) (Hilgert *et al.*, 2010) y notablemente superior al de Bariloche (25) (Cuassolo *et al.*, 2010). Mientras que contrasta con lo documentado en la ciudad capital jujeña (148) (Romeo, 2016) y al registrado en la ciudad de Córdoba donde se listan 256 taxones de plantas vasculares medicinales (Luján & Martínez, 2019). Esto da cuenta de la gran diversidad de plantas de valor terapéutico documentadas en las grandes ciudades culturalmente diversas, coincidiendo con Puentes *et al.* (2020) con relación al abordaje de la diversidad biocultural local desde dos dimensiones: biológica y cultural. En esta investigación se advierte una farmacopea con predominio de especies no nativas sobre las nativas (62% y 38% respectivamente), proporción coincidente a lo señalado por Oliva (2016), y similar a lo reportado por Luján & Martínez (2019), Consolini *et al.* (2007), Cuassolo *et al.* (2010) y Cambi & Hermann (2001). Esta relación entre el origen geográfico de las plantas medicinales es esperable ya que en áreas urbanas se incorporan saberes de contextos heterogéneos y globalizados (Pochettino *et al.*, 2008; Hurrell *et al.*, 2013; Luján & Martínez, 2019). Las familias botánicas más representativas de la herbolaria urbana salteña son Asteraceae y Lamiaceae al igual que lo señalado para las ciudades de Jujuy, Bahía Blanca, Tandil, Córdoba y en algunas localidades bonaerenses. Las especies de Asteraceae se reconocen por su estructura reproductiva, el capítulo, constituye una de las familias más diversas del Reino Plantas con alrededor de 24.000 especies de distribución global, en Argentina crecen alrededor de 1.400 especies repartidas en todas las provincias y hábitats (Katinas *et al.*, 2007). Para la flora medicinal argentina, las Asteraceae participan con un 18% (273 taxones) sobre el total documentado (1.529) y las Lamiaceae aportan un 1,7% (26) (Barboza *et al.*, 2009). Probablemente los habitantes locales conozcan y seleccionen a las plantas por las características organolépticas (sabor y/o aroma) presentes en varias especies de Asteraceae y Lamiaceae o Verbenaceae, éstas últimas familias afines morfológicamente. Se ha señalado que los aromas y

sabores están estrechamente vinculados al proceso de clasificación de plantas medicinales y sus efectos sobre la salud (Molares & Ladio, 2009), en particular a las afecciones digestivas (Luján & Martínez, 2019).

En relación con las especies integrantes de la herbolaria local urbana comunes a las reportadas en los trabajos similares citados previamente y, en orden decreciente, se menciona un 44% de plantas compartidas con la ciudad de Córdoba (Luján & Martínez, 2019), le siguen lo documentado en la provincia de Buenos Aires (32,5%) (Consolini *et al.*, 2007), en la ciudad de Jujuy (32%) (Romeo, 2016), en el sudeste de la ciudad de Salta (26%) (Oliva, 2016), en Tandil (21%) (Hilgert *et al.*, 2010), y con menos del 10% en Bariloche (8,3%) y Bahía Blanca (2,5%). Estas diferencias podrían explicarse, más allá de los aspectos metodológicos y alcances de cada investigación contrastada, a que los usuarios, culturalmente diversos, poseen un conocimiento híbrido, producto de saberes tradicionales combinados con información de diversa índole; a la amplia gama de oferta comercial de plantas y de productos elaborados sobre la base de ellas que operan en las grandes urbes, y a la circulación de tales plantas y productos en el país, provenientes de diferentes zonas geográficas y en distintos contextos (Pochettino *et al.*, 2008); a las estrategias de ventas de los comercios y medios de comunicación (Hurrell *et al.*, 2013); al fenómeno creciente de las prácticas originadas en la medicina alternativa complementaria (Luján & Martínez, 2019); por la disponibilidad y acceso a las plantas en distintos barrios y en los cerros que rodean a la ciudad de Salta (Oliva, 2016); por las prácticas relacionadas a diferentes grupos de inmigrantes de diversa procedencia (Acosta *et al.*, 2015; J. Hurrell *et al.*, 2016) y, por los patrones globales de uso de plantas medicinales de distribución cosmopolita que incorporan al sistema fitoterápico local a través de la comercialización y el cultivo con fines multipropósitos (Cuassolo *et al.*, 2010), como así también especies malezas o ruderales.

Atendiendo a las propiedades medicinales de las plantas más representativas mencionadas en este trabajo y continuando con la secuencia de comparaciones con estudios similares en ciudades argentinas que contienen este tipo de datos (Consolini *et al.*, 2007; Hilgert *et al.*, 2010; Luján & Martínez, 2019; Oliva, 2016; Romeo, 2016) se compararon los usos medicinales referidos para las 7 plantas versátiles registradas en este estudio (IR entre 54 y 100) (*Ruta chalepensis*, *Matricaria chamomilla*, *Plantago major*, *Vachellia aroma*, *Lavandula officinalis*, *Mentha pulegium* y *Allium sativum*). Las plantas que registran mayores usos medicinales compartidos son *M. chamomilla* y *M. pulegium* empleadas para el tratamiento de trastornos gastroenterológicos, respiratorios y dermatológicos (cuidados del cabello y dermatosis diversas). Le sigue el llantén (*P. major*) es una planta utilizada como cicatrizante, antiséptico, vulnerario y afecciones dérmicas; sin embargo, para otras áreas de la salud, se indican usos disimiles: en Córdoba y localidades bonaerenses se emplea como laxante (constipación), y en este estudio como antidiarreico. La lavanda (*L. officinalis*) es un arbusto cuyas hojas infusionadas se usan como analgésico (cefaleas), sedante y dolores musculares y óseos; el ajo (*A. sativum*) se reporta como antiparasitario y la tusca (*V. aroma*) como digestivo y depurativo. Se destaca que la ruda (*R. chalepensis*) es una planta con numerosas aplicaciones medicinales en Tandil y Córdoba, particularmente para dolencias digestivas e intestinales, como reguladora de los ciclos menstruales, abortivo, usos coincidentes con los barrios salteños aquí estudiados. Estos usos comunes pueden sustentarse en la popularidad de las plantas medicinales mencionadas, en la facilidad de obtención (cultivo, alta disponibilidad a campo y adquisición en comercios), en el variado conocimiento tradicional dentro del contexto urbano pluricultural y, por la difusión a través de medios de comunicación masiva (Arenas, 2007) en la transmisión del Conocimiento Botánico Urbano (CBU) no tradicional (Hurrell *et al.*, 2013; Hurrell & Pochettino, 2014). Sin embargo, nuestros resultados no reportaron la aplicación de plantas o productos derivados como suplementos dietarios, adelgazantes, multivitamínicos y energizantes, que poseen una alta demanda en ciudades de mayor envergadura como Córdoba y el área Metropolitana de Buenos Aires (Pochettino *et al.*, 2008; Arenas *et al.*, 2015; Luján & Martínez, 2019).

En lo respecta a las concepciones de salud y enfermedad, nuestros resultados muestran que las causas de las dolencias o afecciones pueden ser orgánicas (mala alimentación/nutrición y

sedentarismo) y también emocionales en términos de desbalances emocionales y energéticos, concordando con el fenómeno New Age que explica salud y enfermedad como resultado de diversos equilibrios y desequilibrios entre entidades, energía de la persona, el individuo y su medio social y ambiental (Carozzi, 1995) y se instalan sin la necesidad de que haya procesos de migración poblacional (Idoyaga Molina, 2015). Para recuperar ese equilibrio energético y emocional se emplean productos fitoterápicos homeopáticos (tinturas madres y microdosis), de raigambre occidental (Idoyaga Molina, 2001a), sin embargo, no se mencionaron prácticas como sahúmos, rituales, oraciones, ni elementos sagrados/religiosos específicos como ocurre en la etnomedicina urbana de Córdoba y alrededores (Luján & Martínez, 2019). Es importante reconocer que en el trabajo de Oliva (2016) en sectores urbanos del sudeste de la capital salteña menciona dos plantas referidas para usos mágicos o sobrenaturales (*R. chalepensis* y *Schinus areira*), señalando a la primera como “planta protectora” y a la segunda para “proteger al bebé” y que “crezca sano”, sin mencionar las formas de uso. En este sentido, se sugiere que tales percepciones vinculadas a estas especies se enmarcan en las dolencias folk de raigambre hispano-quechua (Idoyaga Molina, 2001b). En los barrios analizados no se utilizan las terapias de la medicina alternativa complementaria como si sucede en otros sectores urbanos al norte de la ciudad documentado en la presente contribución. Esto puede producirse porque los procesos de selección y combinación de las prácticas herbolarias locales, inclusive a nivel de barrios, depende obviamente de las diferencias étnicas, sociales y culturales de la población (Idoyaga Molina, 1999), de los estilos de pensamiento entre los individuos de un mismo grupo social, y muy posiblemente porque son costosas y disponibles mayoritariamente para usuarios de sectores medios y altos (Idoyaga Molina, 2015). Se advierte, además, que algunas prácticas de la medicina alternativa y complementaria como la terapia de la “armonía energética” atribuida a algunas especies de la herbolaria cordobesa (Luján & Martínez, 2019) resultan equivalentes a la “armonización energética” aplicada por algunos participantes salteños para recuperar el bienestar psicológico.

En relación a la Importancia Relativa (IR) de las especies, nuestros resultados muestran que los valores obtenidos para *R. chalepensis* (IR=100) y *Rosmarinus officinalis* (IR=69) son similares a los asignados por los pobladores de Tandil (IR=90 y 66 respectivamente); mientras que para *M. chamomilla* los valores de IR registrados son inferiores (IR=57) a los nuestros (IR=85) y, en el caso de *Aloe vera* (aloe), los resultados son inversos, ya que para los pobladores salteños no constituye una planta versátil (IR=35), mientras que en Tandil es considerada como la planta de mayor importancia relativa y la utilizan en un amplio abanico de afecciones y dolencias asignándole un IR=100 (Hilgert *et al.*, 2010).

En el contexto de la ciudad de Salta, al comparar las afecciones y dolencias abordadas con la medicina tradicional en el ámbito familiar (digestivas y respiratorias) con las tratadas en el ámbito de la medicina oficial, es decir en los APS analizados, se halla coincidencia ya que el personal de salud manifiesta que los trastornos gastrointestinales y respiratorios son los más recurrentes. A la vez, concuerda parcialmente con lo documentado por Hidrobo Unda (2020) al señalar que predominan las patologías respiratorias y dermatológicas, siendo esta última afección menos popular en nuestra investigación.

La percepción por parte del personal de la salud acerca de la fitoterapia urbana da cuenta de la existencia desde ambas partes (pacientes-profesionales) de un espacio de silencio sobre lo que no se menciona y se usa, haciendo de cuenta que esto aquí no pasó, reforzando lo que Portugal Ramírez (2017) menciona entre los grises de la interculturalidad, la cual es validada o legitimada por los mismos sistemas oficiales de salud. Nuestros resultados coinciden con lo documentado por Turano *et al.* (2009) para la ciudad de Bahía Blanca, al referirse al ocultamiento que hacen los pacientes ante el profesional médico de las prácticas de la medicina tradicional por considerarlas inocuas o por temor a ser censuradas.

Se destaca la cuestión formativa de los profesionales de la salud que, ante el desconocimiento, relega la medicina herbolaria y las considera “prácticas sin consenso académico” (Alonso &

Desmarchelier, 2015). Es conocido el esfuerzo que realizan las autoridades sanitarias para poder regular el uso de las medicinas tradicionales y complementarias, entre ellas a través del fomento de las investigaciones de la seguridad y la eficacia, así como la regulación del estado en la venta de productos de usos medicinales (OMS, 2013). En Centroamérica existe la Red TRAMIL, una red de colaboradores científicos cuyo objetivo fundamental es aportar una perspectiva científica a las medicinas y saberes populares de la Cuenca del Caribe. En este sentido, la Red ofrece entre otros servicios, la capacitación y formación de recursos humanos en el sector salud incorporando el estudio y uso de plantas de la medicina tradicional en apoyo a la estrategia de la Atención Primaria de la Salud (APS). Sus líneas de acción se orientan a la validación científica, difusión y capacitación, conservación y cultivo de recursos herbolarios y fortalecimiento de redes nacionales y regionales, entre ellas, a la Argentina y Brasil (Durán *et al.*, 2018).

En Argentina existen escasos registros estadísticos de intoxicaciones por vegetales, reportando sólo el 0,2% de las consultas toxicológicas (Mutti, 2002) y, en general, subestiman la cantidad real de intoxicaciones. Esto se debe, en parte, a la escasa importancia dada en la diagnosis a la posible exposición con algún vegetal que presente propiedades tóxicas y a la falta de equipos interdisciplinarios para evaluar este tipo de afecciones en la mayoría de los centros de salud del país (Pérez Cuadra *et al.*, 2010).

Se destaca la motivación y la necesidad cada vez mayor por parte del personal de salud entrevistado de capacitarse formalmente en fitoterapia a fin de conocer otros puntos de vistas diferentes sobre la atención integral de la persona y la prevención de enfermedades, aspectos frecuentemente asociados a la medicina tradicional complementaria; al tiempo que reconocen una creciente insatisfacción con los servicios de atención de salud existentes. En este sentido, para los profesionales de la salud local existen posibilidades reales de capacitarse en fitoterapia en el marco del Programa de Docencia e Investigación del Ministerio de Salud de la provincia de Salta, cuyo objetivo es fomentar el desarrollo de los equipos de Salud a través de estrategias que permitan su crecimiento y jerarquización.

CONCLUSIONES

El presente trabajo actualizó los recursos fitoterápicos del ámbito urbano de la ciudad de Salta mediante la documentación de taxones medicinales no reportados en los trabajos previos del área de estudio.

La población salteña estudiada aplica la medicina tradicional en el ámbito doméstico, las terapias alternativas y complementarias y también recurre a la medicina oficial. Asimismo, cuenta con conocimientos botánicos híbridos y dinámicos con los procesos de hibridación de los tipos fusión, recombinación, nuevos desarrollos en productos innovadores y circulación de especies.

En el sistema de salud pública local, las dolencias del sistema digestivo y respiratorio fueron las enfermedades más citadas y que presentaron mayor número de usos de plantas medicinales.

El personal de salud entrevistado reconoce la práctica de la medicina herbolaria en los hogares salteños y requiere de las autoridades sanitarias del Estado provincial, la capacitación formal en fitoterapia, considerándola sustancial en su rol del resguardo de la salud del paciente, de la relación médico-paciente y así evitar consecuencias de distintas índoles para el sistema de salud, en particular para los Centros de Atención Primaria de la Salud (APS).

Asimismo, es necesario seguir creando puentes que comuniquen los saberes populares con el conocimiento científico en forma bidireccional, que permitan alcanzar mayores protagonismos

de las comunidades en el cuidado de la salud, que sean sustentables, efectivas, seguras y al alcance de los individuos que las necesiten.

Es importante ampliar las investigaciones sobre fitoterapia y estudiar, por ejemplo, los procesos de diversificación y resignificación de los saberes y prácticas sobre plantas medicinales enunciadas en términos biomédicos, en relación a los estilos culturales, la influencia del segmento de población inmigrante (boliviana, sobre todo), de modos de vida (medicina alternativa complementaria) y de interacción social entre la ciudad y poblaciones periurbanas y rurales lindantes a la misma, en el marco de la cosmovisión de los practicantes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los revisores cuyas sugerencias mejoraron la presente contribución. Nuestro reconocimiento a los pobladores salteños por su colaboración, participación en nuestra investigación y por compartir sus saberes. Asimismo, al personal de los centros de salud que amablemente respondieron a nuestras consultas. Este proyecto fue subsidiado por el Consejo de Investigaciones de la UNSa, a través del Proyecto B N°2783.

LITERATURA CITADA

- Acosta, M., Ladio, A., & Vignale, D. (2018). Herbolaria migrante boliviana en un contexto periurbano del Noroeste Argentino. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat*, 17(2), 217-237.
- Acosta, M., Vignale, D., & Ladio, A. (2015). ¿Qué saben sobre plantas empleadas en medicina tradicional los niños de una escuela primaria de S. S. de Jujuy, Argentina? *Gaia Scientia*, 9(3), 90-104.
- Acreche, N., Albeza, M., Caruso, G., Broglia, V., & Acosta, R. (2004). Diversidad biológica humana en la provincia de Salta. *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales*, 22(1), 171-194.
- Albuquerque, U. P., Farias, R., De Lucena Luiz, P., Fernandes, V., Da Cunha, C., Romeu, R., & Alves, N. (2019). *Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology* (U. P. Albuquerque, R. Farias Paiva de Lucena, L. V. Fernandes Cruz da Cunha, & R. R. Nóbrega Alves, Eds.; Segunda). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8919-5>
- Alexiades, M., & Sheldon, J. (1996). *Selected guidelines for ethnobotanical research: a field manual*. (New York Botanical Garden, Ed.).
- Alonso, J., & Desmarchelier, C. (2015). *Plantas Medicinales Autóctonas de la Argentina Bases Científicas para su Aplicación en Atención Primaria de la salud*.
- Amani, S., García, V., González, A., Hernández, R., Martínez, M., Sulaimán, C., Tracanna, M., Poch, M., Bianchi, J., Aguilar Tejada, E., Andrada, M., Avellaneda, J., Brito, S., Márquez, R., Rodríguez, A., & Rodríguez, M. (2007). Recursos naturales usados como medicinales y prácticas etnomédicas. Voces del equipo de salud en el Departamento Cachi, Salta, Argentina. *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromaticas*, 6(5), 282-283.
- Anuario Estadístico 2018-2019. (2019). *Anuario Estadístico de la Provincia de Salta 2018 avance 2019*.
- Arenas, Cristina, I., Puentes, J., Buet Constantino, F., Hurrell, J., & Pochettino, M. (2011). Adaptógenos: plantas medicinales tradicionales comercializadas como suplementos dietéticos en la conurbación Buenos Aires-La Plata (Argentina). *Bonplandia*, 20(2), 251-264.
- Arenas, P. (2009). Los estudios sobre medicina y farmacopea vernácula en el Gran Chaco. *Rojasiana*, 8(2), 81-100.
- Arenas, P. M. (2007). Suplementos dietéticos: estudio etnobotánico en zonas urbanas. *Kurtziana*, 33(1), 193-202.

- Arenas, P. M., Doumecq, B., Puentes, J. P., & Hurrell, J. (2015). Algas y plantas comercializadas como adelgazantes en el área metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Gaia Scientia*, 9(3), 32-40.
- Barboza, G., Cantero, J., Núñez, C., Pacciaroni, A., & Ariza Espinar, L. (2009). Medicinal plants: A general review and a phytochemical and ethnopharmacological screening of the native Argentine Flora. *Kurtziana*, 34(1-2), 7-635.
- Bennett, B. C., & Prance, G. T. (2000). Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of northern South America. *Economic Botany*, 54(1), 90-102. <https://doi.org/10.1007/BF02866603>
- Boleda, M. (1993). *La población del noroeste argentino: historia y actualidad* (Legasa, Ed.).
- Cambi, V., & Hermann, P. (2001). El Expendio de Hierbas Medicinales en el Partido de Bahía Blanca, Argentina. *Acta Farm. Bonaerense*, 20(1), 33-37.
- Canals Frau, S. (1943). *Los aborígenes del valle de Salta en el Siglo XVI* (Instituto de Etnografía Americana de la Universidad Nacional de Cuyo, Ed.).
- Carozzi, M. (1995). Definiciones de la New Age desde las Ciencias Sociales. *Boletín de Lecturas Sociales y Económicas*, 5(2), 19-24.
- Cerruti, M. (2009). *Diagnóstico de las poblaciones de inmigrantes en la Argentina*.
- Cid, J. (2004). *Situación de los aborígenes en la provincia de Salta*.
- Consolini, A., Ragone, M., Tambussi, A., & Paura, A. (2007). Estudio Observacional del Consumo de Plantas Medicinales en La Provincia de Buenos Aires, Argentina, en el Periodo Diciembre de 2004-Noviembre de 2005. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 26(6), 924-936.
- Cordara, C., & Duarte, J. (2017). *¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados*.
- Costilla, J. (2015). El ritual religioso como fuente para la antropología histórica: una reflexión sobre la celebración “del Milagro” en Salta. *Cuadernos del INAPL*, 24(1), 78-95.
- Crivos, M., Martínez, M., & Pochettino, M. (2008). Phytotherapy applied to the treatment of cultural bound syndromes in Calchaqui Valley (Salta, Argentina). En Devarajan Thangadurai (Ed.), *Medicinal and aromatic plants*.
- Cruz, S. M. (2016). Medicina tradicional y fitoterapia una alternativa para el mejoramiento de la salud en Guatemala Ensayo Científico / Scientific Essay. *Tecnología y Salud*, 3(1).
- Cuassolo, F., Ladio, A., & Ezcurra, C. (2010). Aspectos de la comercialización y control de calidad de las plantas medicinales más vendidas en una comunidad urbana del NO de la Patagonia Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9, núm. 3, 165-176. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85615232003>
- Durán, R., Cebrián-Torrejón, G., Nossin, E., Gómez-Estrada, H., & Costaguta, M. (2018). Medicina popular y atención primaria de la salud (APS): 35 años de experiencia TRAMIL en el Caribe. *Steviana*, 10(2). https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV10N2A5_2018
- Ernst, E. (2000). Prevalence of use of complementary/alternative medicine: a systematic review. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(2), 252-257.
- Fabbroni, M., Flores, C. B., Guzmán Ayarde, M. F., & Robbiati, F. O. (2022). Usos tradicionales de las plantas medicinales en los Valles Calchaquies, Salta, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 57(3), 1-34.
- Flora Argentina. (2023, agosto 4). *IBODA-IMVIB*.
- Flores, M. E. (2023). Antropología de los territorios indígenas: aportes para el estudio de las naturalezas entre guaraní y chané del noroeste argentino. *Horizontes Antropológicos*, 29(66). <https://doi.org/10.1590/1806-9983e660404>
- Foster, G. (1953). Relationships between Spanish and Spanish-American Folk Medicine. *The Journal of American Folklore*, 66(261), 201-217.
- Franco, J., & Pecci, C. (2002). La relación médico-paciente, la medicina científica y las terapias alternativas. *Medicina*, 63(2), 111-118.
- Gaiero, D. M., Simonella, L., Gassó, S., Gili, S., Stein, A. F., Sosa, P., Becchio, R., Arce, J., & Marelli, H. (2013). Ground/satellite observations and atmospheric modeling of dust

- storms originating in the high Puna-Altiplano deserts (South America): Implications for the interpretation of paleo-climatic archives. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(9), 3817-3831. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50036>
- González, H. (2018). Investigación participativa entre los tapietes de Argentina: documentación interdisciplinaria del léxico relacionado con el mundo vegetal del Chaco salteño. *Paraquaria Natural*, 6(2). [https://doi.org/10.32525/PARAQUARIANAT.2018\(6\):17.28](https://doi.org/10.32525/PARAQUARIANAT.2018(6):17.28)
- Granovetter, M. (1976). Network Sampling: Some First Steps'. *The American Journal of Sociology*, 81(6), 1287-1303.
- Hermann, P., Cambi, V., Bontti, E., Haussaire, M., & Sánchez, D. (2001). El uso de plantas medicinales en Bahía Blanca, Argentina (Parte II). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 36(1-2), 161-170.
- Hidrobo Unda, H. D. (2020). *Equidad en Salud y Territorio: Experiencias de trabajo en red desde un Hospital Público en Salta, Argentina*. [Maestría en Desarrollo Humano]. FLACSO Argentina.
- Hilgert, N. I. (2001). Plants used in home medicine in the Zenta River basin, Northwest Argentina. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(1), 11-34. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00190-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00190-8)
- Hilgert, N. I., & Gil, G. E. (2006). Medicinal plants of the Argentine Yungas plants of the Las Yungas biosphere reserve, Northwest of Argentina, used in health care. *Biodiversity and Conservation*, 15(8), 2565-2594. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-3874-6>
- Hilgert, N. I., Higuera, M. de L., & Kristensen, M. J. (2010). La medicina herbolaria en el contexto urbano. Estudio de caso en un barrio de la ciudad de Tandil, Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9, núm. 3, 177-190. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85615232003>
- Hurrell, J. A., & Pochettino, M. L. (2014). Urban Ethnobotany: Theoretical and Methodological Contributions. En U. P. Albuquerque, L. V. F. Cruz da Cunha, R. F. P. de Lucena, & R. R. N. Alves (Eds.), *Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology* (pp. 293-309). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8636-7>
- Hurrell, J. A., Pochettino, M. L., Puentes, J., & Arenas, P. M. (2013). Del marco tradicional al escenario urbano: Plantas ancestrales devenidas suplementos dietéticos en la conurbación Buenos Aires-La Plata, Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12, núm. 5, 499-515.
- Hurrell, J., Morales, M., & Fortunato, R. (2016). Legumbres funcionales y nutracéuticas comercializadas en el área metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Bonplandia*, 25(2), 115-128.
- Hurrell, Ulibarri, E., Arenas, P., & Pochettino, M. (2011). Leguminosas medicinales y alimenticias utilizadas en la conurbación Buenos Aires-La Plata, Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromática*, 10(5), 443-455.
- Idoyaga Molina, A. (1999). El simbolismo de lo cálido y lo frío. Reflexiones sobre el daño, la prevención y la terapia entre los criollos de San Juan (Argentina). *Mitológicas*, 14, 7-27.
- Idoyaga Molina, A. (2001a). Etiologías, síntomas y eficacia terapéutica. El proceso diagnóstico de la enfermedad en el Noroeste Argentino y Cuyo. *Centro Argentino de Etnología Americana*, 16(1), 9-43.
- Idoyaga Molina, A. (2001b). Etiologías, síntomas y eficacia terapéutica. El proceso diagnóstico de la enfermedad en el Noroeste Argentino y Cuyo. *Mitológicas*, 16, 9-43.
- Idoyaga Molina, A. (2015). Enfermedad, terapia y las expresiones de lo sagrado. *Ciencias Sociales y Religión/Ciências Sociais e Religião*, 17(22), 15-37. <https://doi.org/10.22456/1982-2650.56161>
- Idoyaga Molina, A., & Sarudiansky, M. (2011). Las medicinas tradicionales en el Noroeste Argentino Reflexiones sobre tradiciones académicas, saberes populares, terapias rituales y fragmentos de creencias indígenas. *Argumentos*, 24(66), 315-337.
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*.
- INDEC. (2022). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*.

- Katinas, L., Gutierrez, D., Grossi, M., & Crisci, J. (2007). Panorama de la familia Asteraceae (=Compositae) en la República Argentina. *Bol. de la Soc. Argent. de Bot.*, 42(1-2), 113-129.
- Ladio, A. H., & Albuquerque, U. P. (2014). The concept of hybridization and its contribution to urban ethnobiology. *Ethnobiology and Conservation*, 3. <https://doi.org/10.15451/ec2014-11-3.6-1-9>
- Luján, & Barboza, G. (2008). Control de calidad botánico e higiénico-sanitario de muestras comerciales usadas como droga cruda en Argentina. *Arnaldoa*, 15(1), 109-125.
- Luján, M. C., & Martínez, G. J. (2019). Etnobotánica médica urbana y periurbana de la ciudad de Córdoba (Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(2), 155-196. www.blacpma.usach.cl
- Luján, & Martínez, G. (2017). Dinámica del conocimiento etnobotánico en poblaciones urbanas y rurales de Córdoba (Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 13(3), 278-302.
- Martin, G. (2000). *Etnobotánica. Manual de métodos* (UNESCO & Royal Botanic Gardens, Eds.). Nordan Comunidad.
- Martínez, G. (2017). *Las plantas en la medicina tradicional de las Sierras de Córdoba. Un recorrido por la cultura campesina de Paravachasca y alamuchita* (Detodoslosmares, Ed.).
- Martínez, G., & Barboza, G. (2010). Natural pharmacopoeia used in traditional Toba medicine for the treatment of parasitosis and skin disorders (Central Chaco, Argentina). *Journal of Ethnopharmacology*, 132(1), 86-100. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.07.049>
- Martínez, G., & Planchuelo, A. M. (2003). Medicina tradicional en criollos campesinos en Córdoba. *Scripta Ethnologica*, 83-116.
- Martínez, M., & Pochettino, M. (2004). Análisis de los recursos terapéuticos utilizados en el Valle Calchaquí. Las mujeres dicen acerca de dolencias y “remedios”. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 29, 163-182.
- Martínez Sarasola, C. (1992). *Nuestros paisanos los indios* (Del Nuevo Extremo, Ed.).
- Medeiros, Albuquerque, U. P., de Oliveira Abreu, D. B., da Silva, T. C., Ferreira Junior, W. S., Ramos, M. A., & Ladio, A. H. (2016). What drives the use of natural products for medicinal purposes in the context of cultural pluralism? *European Journal of Integrative Medicine*, 8(4), 471-477. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2016.03.012>
- Medeiros, P., Ramos, U., Alves, M., De Albuquerque, P., Farias, R., Muniz De Medeiros, P., Santos De Almeida, A. L., & De Lucena, P. (2008). The role of visual stimuli in ethnobotanical surveys: An overview Human as niche constructors View project The role of visual stimuli in ethnobotanical surveys: An overview. *Research Signpost*, 37(2), 126-137. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2099.2726>
- Ministerio de Salud Pública. (2018, agosto 7). *Aprueba definición geográfica, sectorización del programa de atención primaria y centros de salud dependientes del área Operativa IV zona sur. Aprueba estructura orgánica*. Gobierno de la Provincia de Salta.
- Molares, S., & Ladio, A. (2009). Chemosensory perception and medicinal plants for digestive ailments in a Mapuche community in NW Patagonia, Argentina. *Journal of Ethnopharmacology*, 123(3), 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.03.033>
- Municipalidad de Salta. (2021, agosto 12). *Barrios de Salta: mapa interactivo de cada area de la Ciudad de Salta*. Gobierno de la Ciudad de Salta.
- Mutti, O. A. (2002). Intoxicación por plantas de la Medicina Popular. Enfoque multidisciplinario. *Farmacoterapéutica y Toxicología*, 9, 16-22.
- Nalawade, S. M., Sagare, A. P., Lee, C.-Y., Kao, C.-L., & Tsay, H.-S. (2003). Studies on tissue culture of Chinese medicinal plant resources in Taiwan and their sustainable utilization. *Bot. Bull. Acad. Si.*, 44, 79-98.
- Oliva, V. (2016). Usos y costumbres sobre hierbas medicinales en barrios periurbanos del sudeste de la ciudad de Salta, Argentina. *Archivos de Medicina Familia y General*, 13(1), 18-26.
- OMS. (2023). *Towards health and well-being for all*.

- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Organización Mundial de la Salud.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H., Aragon, R., Campanello, P., Prado, D., Oesterheld Martin, & Leon Rolando. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral*, 28, 40-63.
- Palma, N. (1978). *La medicina popular en el noroeste argentino* (Huemul, Ed.).
- Paz, J. (2016). Introducción general Un marco conceptual y una sinopsis del desarrollo en la provincia de Salta. En J. Paz, A. Osvaldo, C. Piselli, & A. Soruco (Eds.), *Mapa social de la Provincia de Salta para la Cooperación Internacional* (pp. 14-36). Consejo Federal de Inversiones - Gobierno de la provincia de Salta.
- Pérez Cuadra, V., Turano, F. A., & Cambi, V. N. (2010). Plantas medicinales y ornamentales tóxicas. *Revista de la Asociación Médica de Bahía Blanca*, 20(3), 67-70.
- Pérez De Nucci, A. (1990). Medicina tradicional del noroeste argentino: «enfermedad del susto» y «ojeadura». *Asclepio*, 42(1), 311-333.
- Piselli, C. (2016). Estructura Poblacional e Infraestructura Social Básica. En J. Paz, O. Chauqi, C. Piselli, & A. Soruco (Eds.), *Mapa social de la Provincia de Salta para la Cooperación Internacional* (pp. 37-103). Consejo Federal de Inversiones-Gobierno de la Provincia de Salta.
- PNUD. (2010). *Informe Regional sobre Desarrollo Humano para América Latina y el Caribe. Actuar sobre el futuro: romper la transmisión intergeneracional de la desigualdad*.
- Pochettino, M. L., Arenas, P., Sánchez, D., & Correa, D. (2008). Conocimiento botánico tradicional, circulación comercial y consumo de plantas medicinales en un área urbana de Argentina. *Plantas Medicinales y Aro Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 7(3), 141-148. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85670304>
- Pochettino, M. L., & Lema, V. S. (2008). La variable tiempo en la caracterización del conocimiento botánico tradicional. *Darwiniana*, 46(<2, 227-239.
- Pochettino, M. L., Puentes, J. P., Buet Costantino, F., Arenas, P. M., Ulibarri, E. A., & Hurrell, J. A. (2012). Functional Foods and Nutraceuticals in a Market of Bolivian Immigrants in Buenos Aires (Argentina). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2012/320193>
- Portugal Ramírez, M. (2017). Interculturalidad en salud. *Palobra*, 17, 278-295.
- Puentes, J. P., Arenas, P. M., & Hurrell, J. A. (2020a). Lamiaceae medicinales y aromáticas comercializadas en el Área Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Bonplandia*, 29(1), 5-20. <https://doi.org/10.30972/bon.2914106>
- Puentes, J. P., Arenas, P. M., & Hurrell, J. A. (2020b). Lamiaceae medicinales y aromáticas comercializadas en el Área Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Bonplandia*, 29(1), 5-20. <https://doi.org/10.30972/BON.2914106>
- Queiroz, M. (1984). Hot and cold classification in traditional Iguape medicine. *Ethnology*, 23, 63-72.
- Richeri, M., Beeskow, A., & Ladio, A. (2010). Las plantas y la salud en la comunidad boliviana de Puerto Madryn (Argentina). En M. L. Pochettino, A. H. Ladio, & P. M. Arenas (Eds.), *Ediciones y Transformaciones en Etnobotánica*. CYTED.
- Rodríguez Echazú, S., Oliva, V., Peduzzi, M., & Sanz Aguilar Peduzzi, O. (2019). *Plantas que hablan, Plantas que curan. Estudio etnobotánico y aportes al conocimiento de la salud del departamento La Poma (Provincia de Salta, Argentina)* (Fondo Editorial Secretaría de Cultura de la Provincia de Salta, Ed.; Primera).
- Romeo, R. (2016). Plantas medicinales que se comercializan en San salvador de Jujuy, Argentina. *Revista Farmacéutica*, 158(1), 3-14.
- Scarpa, G. (2000). *Estudio etnobotánico de la subsistencia de los «Criollos» del Chaco noroccidental Argentino*. Universidad de Buenos Aires.
- Scarpa, G. (2004). Medicinal plants used by the Criollos of Northwestern Argentine Chaco. *Journal of Ethnopharmacology*, 91, 115-135.
- Scarpa, G. (2009). Etnobotánica médica de los indígenas Chorote y su comparación con Criollos. *Darwiniana*, 41(1), 92-107.

Recibido:
4/septiembre/2023

Aceptado:
15/enero/2024

- Scarpa, G. (2020). Comparación entre la terapéutica vegetal cálido-fresca de la medicina popular argentina actual y la 'materia médica misionera' del siglo XVIII: implicancias y valoración relativa de aspectos teóricos. In memoriam. *Scripta Ethnologica*, 42, 41-64.
- Scarpa, G., & Arenas, P. (2004). Vegetation units of the Argentine Semiarid Chaco: The Toba-Pilagá perception. *Phytocoenologia*, 34(1), 133-161.
- Sciortino, J., & Ramos Vernieri, F. (2018). Análisis de la variación temporal de lluvias en la Ciudad de Salta. *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, 1-2.
- Silva Lima, S. C., Arruda, O. G., Dias Renovato, R., & Martins Alvarenga, M. R. (2012). Representaciones y usos de las plantas medicinales en mayores. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*, 20(4), 3-7. www.eerp.usp.br/rlae
- SOLAE. (2016). *Código de Ética para la investigación, la investigación-acción y la colaboración etnocientífica en América Latina* (E. Cano Contreras, A. Medinaceli, A. Argueta Villamar, & O. Sanabria Diago, Eds.; Vol. 14). Etnobiología.
- Soruco, A. (2016). Salud. En J. Paz, A. Osvaldo, C. Piselli, & A. Soruco (Eds.), *Mapa social de la Provincia de Salta para la Cooperación Internacional* (pp. 143-205). Consejo Federal de Inversiones - Gobierno de la Provincia de Salta.
- Suárez, M. (2014). *Etnobotánica wichí del bosque xerófito en el Chaco semiárido salteño* (Autores de Argentina, Ed.).
- Tardío, J., & Pardo-de-Santayana, M. (2008). Cultural Importance Indices: A Comparative Analysis Based on the Useful Wild Plants of Southern Cantabria (Northern Spain)1. *Economic Botany*, 62(1), 24-39. <https://doi.org/10.1007/s12231-007-9004-5>
- Trotter, R., & Logan, M. (1986). Informant consensus: a new approach for identifying potentially effective medicinal plants. In: Etkin, N. L. (ed.). *Plants in indigenous medicine and diet: Bio behavioral approaches*. Redgrave Publishers, 91-112.
- Turano, F. A., Cambi, V. N., & Viviana Cambi, D. (2009). Plantas medicinales: Mitos y verdades sobre una fuente natural de Recursos Terapéuticos. *Revista de la Asociación Médica de Bahía Blanca*, 19(4), 115-119.
- Ulivarri, P., & Clark, A. (2020). Migrantes bolivianos en barrios bolivianos en la ciudad de Salta, Argentina. *Norteamérica*, 15(1), 223-234.
- Vignale, D. (2002). Los estudios etnobotánicos en el NOA. En Amat A. (Ed.), *Farmacobotánica y Farmacognosia en Argentina 1980-1998*. Edic. Científicas Americanas.
- Word Flora Online. (2023, agosto 6). *WFO*. Publicación on line.
- Zuloaga, F., Morrone, O., & Rodriguez, D. (1999). Análisis de la biodiversidad en plantas vasculares de la Argentina. *Kurtziana*, 27(1), 17-167.