

SEP

POLIBOTÁNICA

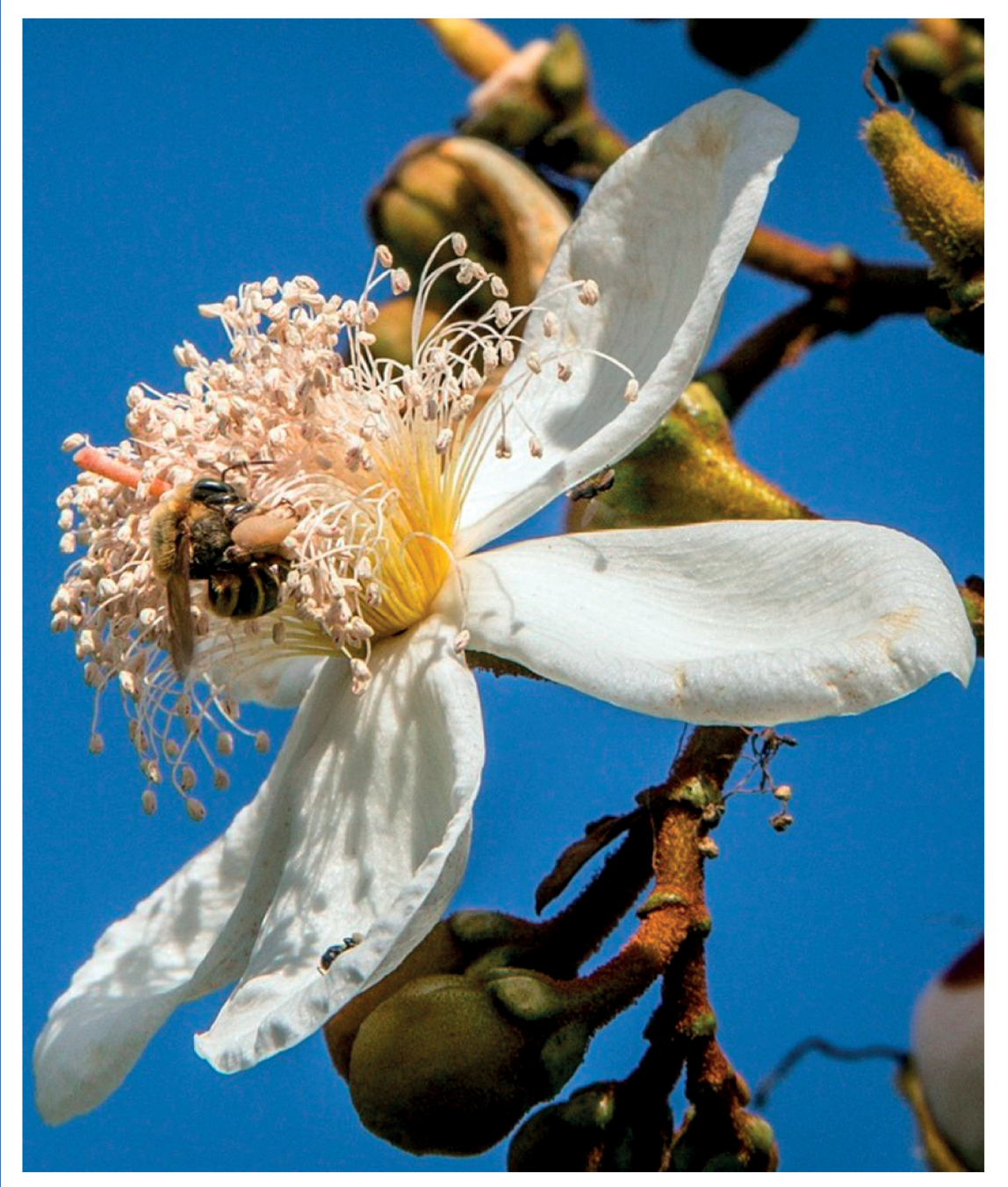
ISSN 1405-2768



Julio 2022

Núm. 54

POLIBOTÁNICA



Núm. 54



Julio 2022

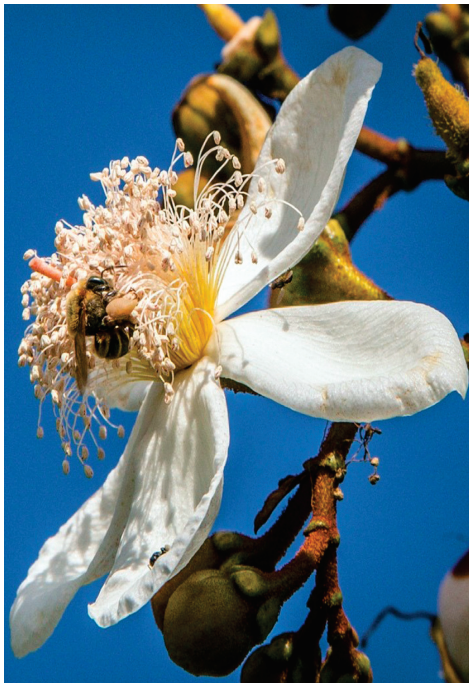
PÁG.

CONTENIDO

- 1 Clave para identificar las especies del género *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) en el estado de Michoacán, México.
Key for the identification of species of the genus Bursera Jacq. ex L. (Burseraceae) in the state of Michoacán, Mexico.
Rzedowski, J. | R. Medina-Lemos
- 11 Diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo manejo en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México.
Diversity and tree structure of a managed temperate forest in the municipality of Pueblo Nuevo, Durango, Mexico.
Flores-Morales, E.A. | O.A. Aguirre-Calderón | E.J. Treviño-Garza | M.A. González- Tagle | E. Alanís-Rodríguez | G. Angeles-Pérez | F. Huizar-Ámezcu.
- 27 Estructura, composición florística, biomasa aérea y contenido de carbono en la selva mediana perennifolia en Tizimín, Yucatán, México.
Structure, floristic composition, above-ground biomass and carbon content in tropical evergreen forest in Tizimin, Yucatan, Mexico.
Martínez-Gauna, C.A. | J.I. Yerena-Yamallel | L.G. Cuéllar-Rodríguez | E. Alanís-Rodríguez | E. J. Ortega-Arroyo.
- 51 Comparación de valores estructurales de manglar en diferentes condiciones de degradación ecológica.
Comparison of mangrove structural values in different conditions of ecological degradation.
Basañez-Muñoz, A. de J. | A. Serrano | L. Cuervo-López | C. Naval-Avila | A. Capistrán-Barradas | A.G. Jordán-Garza.
- 71 Evaluación de una restauración mediante dron en el matorral espinoso tamaulipeco.
Evaluation of a restoration through drone in the tamaulipeco thornscrub.
Gutiérrez-Barrientos, M. | J.D. Marín-Solis | E. Alanís-Rodríguez | E. Buendía-Rodríguez.
- 87 Efecto de la cobertura y condiciones edáficas en la presencia de *Amoreuxia wrightii* A. Gray, en el noreste de México.
Effect of coverage and edaphic conditions on the presence of Amoreuxia wrightii A. Gray, in northeastern Mexico.
Patiño-Flores, A.M. | E. Alanís-Rodríguez | V.M. Molina-Guerra | M.I. Yáñez-Díaz | A. Mora-Olivo | E. Jurado | H. González-Rodríguez
- 101 Componentes del rendimiento de *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. en Guerrero, México.
Yield components of Crotalaria longirostrata Hook. & Arn. in Guerrero, Mexico.
Salinas-Morales, J.L. | C.B. Peña-Valdivia | C. Trejo | M. Vázquez-Sánchez | C. López-Palacios | D. Padilla-Chacón.
- 123 Germinación y multiplicación de plantas *in vitro* de *Heimia salicifolia* (Lythraceae).
Germination and micropropagation in vitro of Heimia salicifolia (Lythraceae).
Ordoñez-Posadas, F. | M. de L. Martínez-Cárdenas | J.L. Rodríguez de la O.
- 139 Micropropagación de *Agave maximiliana* Baker por proliferación de yemas axilares.
Micropropagation of Agave maximiliana Baker by axillary shoot proliferation.
Santacruz-Ruvalcaba, F. | J.J. Castañeda-Nava | J.P. Villanueva-González | M.L. García-Sahagún | L. Portillo | M.L. Contreras-Pacheco.
- 153 Origen botánico y caracterización fisicoquímica de la miel de meliponinos (Apidae:Meliponini) de Teocelo, Veracruz, México.
Botanical origin and physicochemical characterization of meliponini honey (Apidae:Meliponini) from Teocelo, Veracruz, Mexico.
Ortiz-Reyes, L.Y. | D.L. Quiroz- García | M.L. Arreguín-Sánchez | R. Fernández-Nava.
- 171 Comparación anatómica de la lámina foliar de cinco especies leñosas nativas del noreste de México durante la época húmeda y seca.
Leaf blade anatomical comparison of five native woody species of northeastern Mexico during the wet and dry season.
Fillo-Hernández, E. | H. González-Rodríguez | I. Cantú-Silva | T.G. Domínguez-Gómez | J.G. Marmolejo-Monsivais | M.V. Gómez-Meza.
- 185 Estudio anatómico e histoquímico de los órganos vegetativos de *Piper aduncum* L. (Piperaceae).
Anatomical and histochemical study of the vegetative organs of Piper aduncum L. (Piperaceae).
Arroyo, J. | P. Bonilla | M. Marín | G. Tomás | J. Huamán | G. Ronceros | E. Raez† | L. Moreno | W. Hamilton.
- 203 Evaluación del efecto hipoglucémico de *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. en mice con diabetes tipo 2 inducida.
Evaluation of the hypoglycemic effect of Tectaria heracleifolia (Willd.) Underw. in mice with induced type 2 diabetes.
Luna-Rodríguez, A.K. | M.A. Zenil-Zenil | S. Cristians | A.M. Osuna-Fernández | H.R. Osuna-Fernández.
- 219 Árboles nativos de Sinaloa del sistema agroforestal huerto familiar.
Native trees of Sinaloa at the homegarden agroforestry system.
Avendaño-Gómez, A. | B. Salomón-Montijo | G. Márquez-Salazar.
- 241 Atributos tangibles e intangibles y diferenciación sensorial de la vainilla mexicana.
Tangible and intangible attributes and sensory differentiation of mexican vanilla.
Barrera-Rodríguez, A.I. | A. Espejel | M.G. Pérez | A.G. Ramírez-García.
- 257 Percepción local de los usos y situación ambiental y económica del toronjil (Lamiaceae) en tres comunidades del estado de Guerrero, México.
Local perception of the situation, environmental and economic uses of toronjil (Lamiaceae) in three communities of the state of Guerrero, Mexico.
Hernández-Ramírez, U. | M. Trujillo-Nájera | T. Romero-Rosales | A. Huicochea-Moctezuma | T. de J. Adame-Zambrano | M. A. Gruñtal-Santos.
- 271 Importancia relativa de las especies medicinales ofertadas en el mercado de Tepeaca, Puebla, México.
Relative importance of medicinal species offered in the Tepeaca market, Puebla, Mexico.
Reyes-Matamoros, J. | D. Martínez-Moreno | J.G. Fuentes-López | F. Basurto-Peña.

Portada

Flor de *Bixa orellana* L. (Bixaceae), “achiote” polinizada por *Melipona beecheii* Bennett (Apidae), “jicota mansa”. Entre los principales polinizadores para las flores de numerosas especies de árboles, plantas y lianas en las zonas tropicales y subtropicales de bosques y selvas, se encuentra las abejas sin aguijón, tanto es así que algunos campesinos ya tienen establecida la meliponicultura basada en la cría de *M. beecheii* para producir miel, polen y cerumen que son productos apreciados en el mercado y con importantes propiedades alimenticias y medicinales.



Flower of Bixa orellana L. (Bixaceae), “achiote” pollinated by *Melipona beecheii* Bennett (Apidae), “jicota mansa”. Among the main pollinators for the flowers of numerous species of trees, plants and lianas in tropical and subtropical areas of forests and jungles are stingless bees, so much so that some farmers have already established meliponiculture based on the breeding of *M. beecheii* to produce honey, pollen and cerumen that are products appreciated in the market and with important nutritional and medicinal properties.

por/by **Rafael Fernández Nava**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretario General: *Mtro. Juan Manuel Cantú Vázquez*

Secretario Académico: *Dr. David Jaramillo Vigueras*

Secretario de Extensión e Integración Social: *Dr. Luis Alfonso Villa Vargas*

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: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Directora:

Dra. Yadira Rivera Espinoza

Subdirectora Académica:

M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes

Subdirector Administrativo:

Ing. Raúl Chávez Alvircio

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Gerardo Aparicio Ozores

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Dr. Felipe Neri Rodríguez Casasola

POLIBOTÁNICA, Año 27, No. 54, julio-diciembre 2022, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

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

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

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EDITOR EN JEFE

Rafael Fernández Nava

EDITORA ASOCIADA

María de la Luz Arreguín Sánchez

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Christiane Anderson
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan, US

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

Heike Vibrans
Colegio de Postgraduados
Estado de México, México

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

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

Delia Fernández González
Universidad de León
León, España

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

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

Hugo Cota Sánchez
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

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

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

Claude Sastre
Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris, Francia

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

Mauricio Velayos Rodríguez
Real Jardín Botánico
Madrid, España

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

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

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

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

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

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

José Manuel Rico Ordaz
Universidad de Oviedo
Oviedo, España

DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

Luz Elena Tejeda Hernández

OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Pedro Aráoz Palomino

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

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

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

e) CONCLUSIONES.

ESPECIFICACIONES DE FORMATO PARA EL CUERPO DEL TRABAJO

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

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

ESTRUCTURA Y FORMATO DE LOS AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

9. REVISIÓN Y PUBLICACIÓN

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

Una vez aceptado el trabajo, se cobrarán al autor(es) **\$299.25 por página más IVA, independiente**mente 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 \$15.88 USD per text page, regardless of how many pictures it contains.

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

Dr. Rafael Fernández Nava

Editor en Jefe de

POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional

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

Correo electrónico:

polibotanica@gmail.com

rfernan@ipn.mx

Dirección Web

http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

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

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

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

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



**CLAVE PARA IDENTIFICAR LAS
ESPECIES DEL GÉNERO *Bursera*
Jacq. ex L. (BURSERACEAE) EN EL
ESTADO DE MICHOACÁN, MÉXICO**

**KEY FOR THE IDENTIFICATION
OF SPECIES OF THE GENUS
Bursera Jacq. ex L. (BURSERACEAE)
IN THE STATE OF MICHOACÁN,
MEXICO**

Rzedowski, J. y R. Medina-Lemos

CLAVE PARA IDENTIFICAR LAS ESPECIES DEL GÉNERO *Bursera* Jacq. ex L. (BURSERACEAE) EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉXICO.

KEY FOR THE IDENTIFICATION OF SPECIES OF THE GENUS *Bursera* Jacq. ex L. (BURSERACEAE) IN THE STATE OF MICHOACÁN, MEXICO.



**CLAVE PARA IDENTIFICAR LAS ESPECIES DEL GÉNERO *Bursera* Jacq. ex L.
(BURSERACEAE) EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

**KEY FOR THE IDENTIFICATION OF SPECIES OF THE GENUS *Bursera* Jacq. ex L.
(BURSERACEAE) IN THE STATE OF MICHOACÁN, MEXICO.**

Rzedowski, J.
y R. Medina-Lemos

CLAVE PARA IDENTIFICAR
LAS ESPECIES DEL
GÉNERO *Bursera* Jacq. ex L.
(BURSERACEAE) EN EL
ESTADO DE MICHOACÁN,
MÉXICO.

KEY FOR THE
IDENTIFICATION OF
SPECIES OF THE GENUS
Bursera Jacq. ex L.
(BURSERACEAE) IN THE
STATE OF MICHOACÁN,
MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 1-10 Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.1

J. Rzedowski / jerzedowski@gmail.com

Instituto de Ecología, A.C.
Centro Regional del Bajío
Pátzcuaro, Michoacán, México

R. Medina-Lemos

Departamento de Botánica, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

RESUMEN: Se presenta una clave para la identificación de 41 especies del género *Bursera* conocidas como habitantes del estado mexicano de Michoacán. Se proporciona asimismo la información sobre la disponibilidad de descripciones e ilustraciones de cada una. La clave está basada mayormente en características de las hojas, de las infrutescencias y de los frutos. Se incluyen datos relativos a la importancia, distribución geográfica general y desarrollo histórico del conocimiento de estas plantas en el estado. **Palabras clave:** bosque tropical caducifolio, *Bursera*, identificación, Michoacán, México.

ABSTRACT: A key for the identification of 41 species of the genus *Bursera* known in the Mexican state of Michoacán is presented. Additionally, information is included regarding the availability of descriptions and illustrations of each of the species. The key is largely based on characteristics of leaves, inflorescences and fruits. Information regarding the importance, general geographic distribution and history of the knowledge about these plants in the state is also included.

Key words: *Bursera*, identification, Mexico, Michoacán, tropical deciduous forest.

INTRODUCCIÓN

El género *Bursera* es uno de los elementos más característicos de la flora arbórea del bosque tropical caducifolio en México, no solamente por la frecuencia de los individuos, sino también por la diversidad de las especies, el estado de Michoacán es uno de los privilegiados en esta riqueza biológica.

Los primeros componentes de este grupo, procedentes de la mencionada entidad federal se dieron a conocer de manera formal en 1824, a raíz de la exploración realizada por Kunth, bajo los nombres de *Elaphrium ariense* Kunth, en el municipio de Ario, y *E. jorullense* Kunth, colectada en las laderas del volcán Jorullo, plantas ahora llamadas respectivamente como *Bursera ariensis* (Kunth) McVaugh & Rzed. y *B. copallifera* (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock (Kunth, 1824).

Sin embargo, el avance de su conocimiento en el estado fue muy tardado y no fue sino hasta 1965 cuando McVaugh y Rzedowski citaron la existencia de 28 especies (MacVaugh & Rzedowski, 1965). En 2005, Rzedowski y colaboradores enumeraron 37 especies (Rzedowski *et al.*, 2005). En la flora arbórea de Michoacán (Cué-Bär *et al.*,

2006), se enlistaron 38 y en la actualidad se reportan 41. Algunas más están por describirse todavía y se puede estimar que la cantidad total se encuentre alrededor de 50.

Antes de la intervención humana en la entidad, el bosque tropical caducifolio ocupaba cerca de la mitad del territorio del estado de Michoacán, la mayor concentración de las especies de *Bursera* se localiza en la Depresión del río Balsas, le sigue en importancia la vertiente meridional de la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transversal. Infortunadamente este tipo de vegetación (y con ello grandes poblaciones de *Bursera*) es el que ha quedado sumamente diezmado, de manera que en la actualidad al parecer no queda en pie mucho más de 10% de la superficie original. Ha desaparecido como tal prácticamente en todo el Eje Volcánico Transversal, donde solamente permanecen árboles aislados en medio de la vegetación secundaria. En la Depresión del río Balsas quedan en pie aún numerosos fragmentos aislados en laderas más empinadas y en pedregales. Es en la región cercana a la cortina de la presa del Infiernillo, donde persiste todavía una extensión de tamaño significativo de bosque tropical caducifolio.

De los colectores que más han contribuido al conocimiento de este género en Michoacán son George B. Hinton, quien de 1938 a 1941 exploró intensivamente la flora de la parte meridional del estado. Recientemente José Carmen Soto Núñez, biólogo nativo de la ciudad de Huetamo, dedicó gran parte de su vida (1979-2018) a colectas botánicas en Michoacán y Guerrero, sobre todo en los sectores de clima cálido. Fernando Guevara, catedrático de la carrera de biólogo en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, durante varios años (sobre todo entre 1978 y 1980, así como entre 2009 y 2013) estuvo colectando activamente ejemplares de *Bursera* en el estado. Los especímenes y las observaciones realizadas por estos tres personajes han jugado un papel fundamental en el esclarecimiento y conocimiento taxonómico de las especies de *Bursera* en esta región.

A la fecha existen cerca de 1950 registros de ejemplares de *Bursera* colectados en Michoacán. Los herbarios que contienen mejor representación son: el del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México o MEXU (990 ejemplares), el de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo o EBUM (734 ejemplares), el del Centro Regional del Bajío del Instituto de Ecología, A. C. o IEB (505 ejemplares) y el de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional o ENCB (360 ejemplares).

La información sobre las características generales y el desarrollo histórico de la taxonomía de *Bursera* pueden encontrarse en el artículo de Rzedowski *et al.* (2004). Los datos sobre la existencia de descripciones e ilustraciones de las especies michoacanas se proporcionan al final de esta contribución. Actualmente no existe una clave para poder reconocer las especies del género *Bursera* en el país. Dada la diversidad del género en México y en particular en esta entidad, se justifica publicar una clave de identificación para conocer la identidad de las especies y facilitar a todos los estudiosos del bosque tropical caducifolio su reconocimiento.

RESULTADOS

En la construcción de la clave se ha dado preferencia a las características de las hojas, de las inflorescencias y de los frutos, que son las que con mayor frecuencia pueden observarse en los ejemplares de herbario.

Clave dicotómica

- 1 Frutos bivalvados; corteza del tronco por lo general lisa, rara vez con exfoliación en tiras de textura rígida.
- 2 Hojas bipinnadas, al menos en la mayor parte de la lámina.
- 3 Hojas todas o en su mayor parte bipinnadas; raquis de la hoja angostamente alado; foliolos de 2 a 5(11) mm de ancho, con margen entero o trilobado; árbol de amplia distribución geográfica *B. bipinnata*
- 3 Hojas en su mayor parte pinnadas, solamente a veces algunas bipinnadas; raquis de la hoja anchamente alado; foliolos de 6 a 10 mm de ancho, con (1)2 a 5(6) dientes en el margen de cada lado; árbol o arbusto conocido de la región costera Michoacán, de altitudes inferiores a 300 m *B. ribana*
- 2 Hojas pinnadas o trifolioladas.
- 4 Foliolos 3, rara vez alguna hoja con 5.
- 5 Foliolos de 2.5 a 8(12) cm de largo, rara vez obovados, al menos en su mayoría, agudos a acuminados en el ápice *B. heteresthes*
- 5 Foliolos de 1.5 a 6 cm de largo, mayormente obovados, redondeados en el ápice
..... *B. infernidialis*
- 4 Foliolos 5 o más, al menos en las hojas principales.
- 6 Raquis de la hoja desprovisto de alas.
- 7 Infrutescencias escasamente ramificadas, de aspecto espiciforme; foliolos 5 a 11, su ápice agudo a acuminado *B. sarcopoda*
- 7 Infrutescencias paniculiformes ampliamente ramificadas; foliolos (3)5(7), su ápice caudado-acuminado *B. fragrantissima*
- 6 Raquis de la hoja alado, a veces solamente en el extremo distal.
- 8 Frutos pubescentes; árbol solamente conocido del este de Michoacán
..... *B. submoniliformis*
- 8 Frutos glabros.
- 9 Foliolos acuminados a caudado-acuminados en el ápice; infrutescencia laxa; árbol solamente conocido del noroeste de Michoacán *B. penicillata*
- 9 Foliolos a menudo redondeados a agudos en el ápice, o bien francamente acuminados, pero entonces los árboles desconocidos del noroeste de Michoacán.
- 10 Foliolos (9)13 a 23.
- 11 Foliolos de las hojas principales de más de 4 cm de largo; infrutescencias laxas.
- 12 Foliolos blanquecinos en el envés, de ca. 1 cm de ancho, acuminados en el ápice *B. bicolor*
- 12 Foliolos sin mayor contraste de color entre el haz y el envés, a menudo de 2 cm o más de ancho, agudos a acuminados en el ápice *B. hintonii*

- 11 Foliolos de menos de 4 cm de largo; infrutescencias compactas.
- 13 Foliolos con el envés densamente blanco-tomentoso, notablemente más pálidos que en el haz *B. velutina*
- 13 Foliolos sin envés notablemente más pálido que el haz *B. copallifera*
- 10 Foliolos (3)5 a 11(15).
- 14 Árboles solamente conocidos de altitudes superiores a 1500 m en el norte de Michoacán.
- 15 Foliolos de menos de 2.5 cm de largo *B. glabrifolia*
- 15 Foliolos, al menos en su mayoría de más de 2.5 cm de largo.
- 16 Infrutescencia compacta o los frutos solitarios; hojas de textura membranácea *B. palmeri*
- 16 Infrutescencia laxa; foliolos de textura cartácea o coriácea.
- 17 Foliolos (5)9 a 11(15), pubérulos en el envés *B. madrigalii*
- 17 Foliolos (3)5 a 9(13), densamente blanquecino-tomentosos en el envés *B. cuneata*
- 14 Árboles conocidos de altitudes inferiores a 1500 m en la mitad meridional de Michoacán.
- 18 Foliolos por lo general de menos de 2.5 cm de largo, con (1)2 a 5(6) dientes profundos de cada lado; frutos de 5 a 6 mm de largo; árbol habitante de la región costera de Michoacán *B. ribana*
- 18 Foliolos a menudo de más de 2.5 cm de largo, con 5 o más dientes de cada lado; frutos con frecuencia de más de 6 mm de largo.
- 19 Foliolos con dientes frecuentemente escotados en el ápice.
- 20 Infrutescencia laxa; foliolos lanceolados a angostamente lanceolados, de 5.5 cm o más de largo *B. sarukhanii*
- 20 Infrutescencia compacta, o bien los frutos solitarios; foliolos con frecuencia de menos de 5 cm de largo.
- 21 Ramillas y hojas pilosas con pelos hasta de 1.5 mm de largo; raquis de la hoja con alas hasta de 5 mm de ancho; foliolos (3)7 a 11(15); árbol habitante de la Depresión del Balsas, en altitudes hasta de 650 m *B. coyucensis*
- 21 Ramillas y hojas sin pelos tan largos; raquis de la hoja con alas hasta de 3 mm de ancho; foliolos (3)5 a 7(11); árbol de más amplia distribución geográfica y ecológica, pero mayormente presente en la franja costera de Michoacán *B. excelsa*
- 19 Foliolos con dientes por lo general sin escotadura.

- 22 Foliolos coriáceos y lustrosos en la madurez, por lo general de 3 cm o menos de largo; árbol habitante de altitudes entre (600)1100-1400 m en la mitad meridional de Michoacán *B. glabrifolia*
- 22 Foliolos de textura membranácea y sin lustre, de 3 a 6 cm de largo; árbol habitante de altitudes entre 100 y 1050 m en Michoacán
..... *B. citronella*
- 1 Frutos trivalvados; corteza del tronco por lo general exfoliante.
- 23 Foliolos más de cinco veces más largos que anchos.
- 24 Foliolos filiformes, de 1 mm o menos de ancho; corteza del tronco sin exfoliarse
..... *B. paradoxa*
- 24 Foliolos lineares a angostamente lanceolados, de 2 mm o más de ancho; corteza del tronco exfoliante.
- 25 Foliolos con el ápice agudo a redondeado y margen entero; corteza del tronco por lo general anaranjada; árbol conocido de la Depresión del Balsas, donde habita en altitudes entre 200 y 400 m *B. toledoana*
- 25 Foliolos con el ápice acuminado y margen por lo general serrado; árboles que habitan en altitudes entre 400 y 1800 m.
- 26 Corteza del tronco amarilla, rojiza o café; foliolos (5)9 a 13(17) *B. confusa*
- 26 Corteza del tronco roja o rojiza; foliolos (9)13 a 21(35) *B. multijuga*
- 23 Foliolos menos de cinco veces más largos que anchos.
- 27 Foliolos 1 o 3, a veces algunas hojas con 5.
- 28 Hojas densamente pilósulas; foliolos 3(5), de menos de 3.5 cm de largo, de ápice redondeado a obtuso *B. trifoliolata*
- 28 Hojas glabras o a veces pilósulas a lo largo de las nervaduras.
- 29 Foliolos 1(3).
- 30 Foliolo con el margen entero; corteza del tronco sin exfoliarse; árbol habitante de la región de Infiernillo *B. xolocotzii*
- 30 Foliolo con el margen serrado o crenado; tronco con la corteza exfoliante, roja o rojiza: árboles más ampliamente distribuidos en la Depresión del Balsas.
- 31 Foliolo por lo general oblanceolado, largamente atenuado en la base; peciolo de 4 a 8 mm de largo; pedicelos en fruto 5 a 7 mm de largo *B. crenata*
- 31 Foliolo por lo general oblongo, redondeado en la base; peciolo de 1 cm o más de largo; pedicelos en fruto de 1 a 2 mm de largo *B. trimera*
- 29 Foliolos (1)3(5).
- 32 Foliolos 1 a 5, de margen entero, desiguales en número, forma y tamaño en la misma ramilla; corteza del tronco roja o rojiza; árbol habitante de lugares cercanos al litoral *B. instabilis*

- 32 Foliolos (1)3, de margen serrado o crenado.
- 33 Pecíolo de las hojas principales de más de 4 cm de largo; oliolos 3, hasta de 11.5 cm de largo, largamente acuminados a caudados en el ápice; corteza del tronco roja *B. kerberi*
- 33 Pecíolo hasta de 4 cm de largo; foliolos hasta de 6.5 cm de largo.
- 34 Foliolos por lo general acuminados en el ápice; corteza del tronco amarilla
..... *B. staphyleoides*
- 34 Foliolos redondeados a subagudos en el ápice; corteza del tronco roja o rojiza
..... *B. trimera*
- 27 Foliolos 5 o más, a veces alguna hoja con 3.
- 35 Foliolos verdes oscuros en el haz, verde-glaucos en el envés, de margen entero; tronco amarillo o amarillento; árbol habitante del sureste de Michoacán
..... *B. discolor*
- 35 Foliolos sin contraste muy notable de color entre el haz y el envés.
- 36 Foliolos con 15 a 30 dientes de cada lado; árboles habitantes del suroeste de Michoacán.
- 37 Foliolos con 20 a 30 dientes de cada lado, su ápice por lo general acuminado; corteza del tronco amarilla *B. occulta*
- 37 Foliolos con 15 a 20 dientes de cada lado, su ápice agudo a obtuso; corteza del tronco roja *B. denticulata*
- 36 Foliolos de margen entero o con menos de 15 dientes de cada lado; árboles de más amplia distribución geográfica.
- 38 Foliolos de menos de 1.5(2) cm de ancho; corteza del tronco amarilla o café.
- 39 Hojas pubescentes *B. ariensis*
- 39 Hojas glabras o casi glabras.
- 40 Foliolos lanceolados, acuminados en el ápice *B. confusa*
- 40 Foliolos elípticos, oblongos, obovados o casi orbiculares, agudos a redondeados en el ápice; planta con frecuencia arbustiva *B. fagaroides*
- 38 Foliolos, al menos en las hojas maduras, de (1.5)2 cm o más de ancho, de margen entero; corteza del tronco roja o rojiza.
- 41 Frutos pubescentes *B. grandifolia*
- 41 Frutos glabros.
- 42 Frutos de menos de 9 mm de largo.
- 43 Foliolos (3)5(7), glabros desde la juventud; corteza del tronco roja, sin tintes oscuros *B. ovalifolia*
- 43 Foliolos (3)7 a 9, densamente cinéreo-pubescentes en la juventud, por lo general con algo de pubescencia en la madurez; corteza del tronco roja

- oscura *B. arborea*
 42 Frutos de 9 mm o más de largo.
 44 Foliolos 5 a 7; árbol habitante de altitudes superiores a 1000 m
 *B. roseana*
 44 Foliolos por lo general 7 a 11; árbol habitante de altitudes hasta de 1000 m
 *B. simaruba*

LITERATURA CITADA

Recibido:
30/marzo/2023

Aceptado:
13/julio/2022

- Bullock, A. A. (1936). Notes on the Mexican species of the genus *Bursera*. *Bull. Misc. Inform. Kew*(6), 346-387.
- Bullock, A. A. (1937). Further notes on the genus *Bursera*. *Bull. Misc. Inform. Kew*, 9, 447-457.
- Bullock, A. A. (1939). *Bursera hintonii*, *B. trimera*, *B. heteresthes* and *B. tecomaca*. *Hooker's Ic. Pl.*(34), 3392-3395.
- Cué-Bär, E. M., Villaseñor, J., Arredondo-Amezcuca, L., Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2006). Flora arbórea de Michoacán, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.*(78), 47-81.
- Engler, H. A. (1883). Burseraceae. DC. *Monogr. Phaner.*(4), 1-169.
- Guevara-Féfer, F. (2010). Una nueva especie de *Bursera* (Burseraceae) endémica de la cuenca baja del río Balas en los estados de Michoacán y Guerrero, México. *Acta Bot. Mex.*(92), 119-128.
- Guevara-Féfer, F., & Rzedowski, J. (1980). Notas sobre el género *Bursera* (Burseraceae) en el estado de Michoacán. I. Tres especies nuevas de los alrededores de la presa de Infiernillo, con algunos datos relativos a la región. *Bol. Soc. Bot. México*(39), 63-81.
- Kunth, C. S. (1824). Burseraceae. En A. Humboldt, & A. Bonpland, *Nova genera et species plantarum*. (Vol. 7, págs. 23-25). Paris.
- MacVaugh, R., & Rzedowski, J. (1965). Synopsis of the genus *Bursera* L. in western México, with notes on the material of *Bursera* collected by Sessé & Mociño. *Kew Bull.*(18), 317-382.
- Medina-Lemos, R. (2008). Burseraceae. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*(66), 1-76.
- Rose, J. N. (1906). Studies of Mexican and Central American plants. V. *Contr. U.S. Natl. Herb.*, 3(10), 79-132.
- Rose, J. N. (1911). Burseraceae. *N. Amer. Fl.*(25), 241-261.
- Rzedowski, J. (1970). Notas sobre el género *Bursera* (Burseraceae) en el estado de Guerrero. *Anales Esc. Nac. Cienc. Biol.*, 17, 17-36.
- Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. (2000). Tres especies nuevas de *Bursera* (Burseraceae) de la región costera del occidente de México. *Acta Bot. Mex.*(50), 47-69.
- Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. (2006). Dos especies nuevas de *Bursera* (Burseraceae) de México. *Acta Bot. Mex.*(74), 169-178.
- Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. (2008). Dos especies nuevas de *Bursera* (Burseraceae) de los estados de Guerrero, Michoacán y Oaxaca. *Acta Bot. Mex.*(82), 75-85.
- Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. (2009). Nota sobre *Bursera heteresthes* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*(88), 81-93.
- Rzedowski, J., & Guevara-Féfer, F. (1992). Burseraceae. *Flora del Bajío y de regiones adyacentes.*(3), 1-46.
- Rzedowski, J., Medina-Lemos, R., & Calderón de Rzedowski, G. (2004). Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Bot. Mex.*(66), 23-151.

- Rzedowski, J., Medina-Lemos, R., & Calderón de Rzedowski, G. (2005). Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo de las especies mexicanas del género *Bursera* (Burseraceae). *Acta Bot. Mex.*(70), 8-111.
- Rzedowski, J., Medina-Lemos, R., & Calderón de Rzedowski, G. (2007). Segunda restauración de *Bursera ovalifolia* y nombre nuevo para otro componente del complejo de *B. simaruba* (Burseraceae). *Acta Bot. Mex.*(81), 55-70.
- Wilson, P. G. (1958). *Plantae Mexicanae Hintonianae*. *Kew Bull.*, 1(13), 155-170.
- www.plantillustrations.org. (2015). www.plantillustrations.org / plantgenera.org. Obtenido de Plantillustrations.org.
- www.plants.jstor.org. (2000-2022). www.plants.jstor.org. Obtenido de ÍTHAKA; ARTSTOR; JSTOR; PORTICO.
- www.swbiodiversity.org. (s.f.). *SEINet*. Recuperado el 2021, de swbiodiversity.org.

Anexo 1. Información relativa a la existencia de descripciones e ilustraciones de las especies

- B. arborea* (Rose) L. Riley, descripción disponible en Rose (1906 y 1911).
- B. ariensis* (Kunth) McVaugh & Rzed., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004).
- B. bicolor* (Willd. ex Schldtl.) Engl., descripción disponible en Engler (1883) y en Rose (1911).
- B. bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004).
- B. citronella* McVaugh & Rzed., descripción e ilustración de una hoja disponibles en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. confusa* (Rose) Engl., descripción disponible en Rose (1910); ilustración de una hoja en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. copallifera* (Moc. & Sessé ex DC.) Bullock., descripción disponible en Medina Lemos (2008); descripción e ilustración disponibles en Kunth (1824) bajo el nombre de *Elaphrium jorullense*, ilustración también en el portal Plantillustrations.
- B. coyucensis* Bullock; descripción disponible en Bullock (1936).
- B. crenata* Paul G. Wilson, descripción disponible en Wilson (1958).
- B. cuneata* (Schldtl.) Engl., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski & Guevara Féfer (1992).
- B. denticulata* McVaugh & Rzed., descripción e ilustración de una hoja disponibles en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. discolor* Rzed., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski (1970).
- B. excelsa* (Kunth) Engl., descripción e ilustración disponibles en Kunth (1824); ilustración también en el portal Plantillustrations.
- B. fagaroides* (Kunth) Engl., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2005); ilustración asimismo en el portal Plantillustrations.
- B. fragrantissima* Bullock, descripción disponible en Bullock (1937).
- B. glabrifolia* (Kunth) Engl., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004).
- B. grandifolia* (Schldtl.) Engl., descripción disponible en Engler (1883) y en Rose (1911).
- B. heteresthes* Bullock, descripción e ilustración disponibles en Rzedowski & Calderón de Rzedowski (2009); ilustración también en Bullock (1939).
- B. hintonii* Bullock, descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004); ilustración también en Bullock (1939).
- B. infernidialis* Guevara & Rzed., descripción e ilustración disponibles en Guevara-Féfer & Rzedowski (1980).

- B. instabilis* McVaugh & Rzed., descripción e ilustración de hojas disponible en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. kerberi* Engl., descripción disponible en Engler (1883) y en Rose (1911); ilustración disponible en Bullock (1939) bajo el nombre de *B. tecomaca*; ilustración de una hoja en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. madrigalii* Rzed., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski & Calderón de Rzedowski (2006).
- B. multijuga* Engl., descripción disponible en Engler (1883) y en Rose (1911); ilustración de una hoja en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. occulta* McVaugh & Rzed., descripción e ilustración de una hoja disponibles en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. ovalifolia* (Schltdl.) Rzed., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2007).
- B. palmeri* S. Watson, descripción disponible en Rzedowski & Guevara Féfer (1992); ilustración de una hoja en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. paradoxa* Guevara & Rzed., descripción e ilustración disponibles en Guevara Féfer & Rzedowski (1980).
- B. penicillata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl., descripción disponible en Rzedowski & Guevara Féfer (1992); ilustración de una hoja en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. ribana* Rzed. & Calderón, descripción e ilustración disponibles en Rzedowski & Calderón de Rzedowski (2000).
- B. roseana* Rzed., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2007).
- B. sarcopoda* Paul G. Wilson, descripción disponible en Wilson (1958).
- B. sarukhanii* Guevara & Rzed., descripción e ilustración disponibles en Guevara-Féfer & Rzedowski (1980).
- B. simaruba* (L.) Sarg., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004); ilustraciones asimismo en el portal Plantillustrations.
- B. staphyleoides* McVaugh & Rzed., descripción e ilustración de una hoja disponibles en McVaugh & Rzedowski (1965).
- B. submoniliformis* Engl., descripción e ilustración disponibles en Rzedowski *et al.* (2004).
- B. toledoana* Rzed. & Calderón, descripción e ilustración disponibles en Rzedowski & Calderón de Rzedowski (2008).
- B. trifoliolata* Bullock, descripción disponible en Bullock (1936).
- B. trimera* Bullock, descripción disponible en Bullock (1936).
- B. velutina* Bullock, descripción disponible en Bullock (1936).
- B. xolocotzii* Guevara, descripción e ilustración disponibles en Guevara-Féfer (2010).

Las fotografías de ejemplares de herbario de todas las especies, salvo de *B. arborea* y *B. coyucensis*, pueden consultarse en el portal Datos abiertos UNAM. Las de *B. coyucensis* están disponibles en el sitio web www.swbiodiversity.org (s.f.).

Las fotografías de los tipos nomenclaturales de la mayor de las especies de *Bursera* y de los sinónimos taxonómicos pueden verse en el portal Global Plants JSTOR www.plants.jstor.org (2000-2022).

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA ARBÓREA DE UN BOSQUE TEMPLADO BAJO MANEJO EN EL MUNICIPIO DE PUEBLO NUEVO, DURANGO, MÉXICO

DIVERSITY AND TREE STRUCTURE OF A MANAGED TEMPERATE FOREST IN THE MUNICIPALITY OF PUEBLO NUEVO, DURANGO, MEXICO

Flores-Morales, E.A.; O.A. Aguirre-Calderón; E.J. Treviño-Garza; M.A. González-Tagle; E. Alanís-Rodríguez; G. Angeles-Pérez y F. Huizar-Amezcuca.

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA ARBÓREA DE UN BOSQUE TEMPLADO BAJO MANEJO EN EL MUNICIPIO DE PUEBLO NUEVO, DURANGO, MÉXICO.

DIVERSITY AND TREE STRUCTURE OF A MANAGED TEMPERATE FOREST IN THE MUNICIPALITY OF PUEBLO NUEVO, DURANGO, MEXICO.



DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA ARBÓREA DE UN BOSQUE TEMPLADO BAJO MANEJO EN EL MUNICIPIO DE PUEBLO NUEVO, DURANGO, MÉXICO.

DIVERSITY AND TREE STRUCTURE OF A MANAGED TEMPERATE FOREST IN THE MUNICIPALITY OF PUEBLO NUEVO, DURANGO, MEXICO.

E.A. Flores-Morales

O.A. Aguirre-Calderón / oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

E.J. Treviño-Garza

M.A. González-Tagle

E. Alanís-Rodríguez

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

G. Angeles-Pérez

*Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo,
Texcoco, Estado de México, México.*

F. Huizar-Amezcu

*Unidad de Prestación de Servicios Ejidales de El Salto, Dgo., A.C. (UPSE)
El Salto, Durango, México.*

Flores-Morales, E.A.;
O.A. Aguirre-Calderón;
E.J. Treviño-Garza;
M.A. González-Tagle;
E. Alanís-Rodríguez;
G. Angeles-Pérez y
F. Huizar-Amezcu.

DIVERSIDAD Y
ESTRUCTURA ARBÓREA
DE UN BOSQUE
TEMPLADO BAJO MANEJO
EN EL MUNICIPIO DE
PUEBLO NUEVO,
DURANGO, MÉXICO.

DIVERSITY AND TREE
STRUCTURE OF A
MANAGED TEMPERATE
FOREST IN THE
MUNICIPALITY OF
PUEBLO NUEVO,
DURANGO, MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 11-26 Julio 2022

RESUMEN: El estudio se realizó en el ejido La Victoria, ubicado en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. El objetivo del estudio fue evaluar la diversidad, así como medir su estructura horizontal y vertical, los datos provinieron de 24305 parcelas de muestreo circulares de 1000 m², derivados del inventario ejidal forestal. Para estimar la riqueza y diversidad se utilizaron los índices de Shannon y Margalef. Se registraron 7 familias y 24 especies arbóreas, de las cuales la de mayor valor de importancia fue la familia Pinaceae cuya especie con mayor valor fue *Pinus cooperi*. El valor del Índice de Margalef fue 2.67. En relación al valor de diversidad de especies, el valor del Índice de Shannon fue de 2.85. El Índice de Pretzsch A tuvo valores de 2.63 con valor A_{max} de 3.94 y A_{rel} de 68%, lo que indica que la zona evaluada presenta uniformidad media. Las familias con mayor importancia por su contribución estructural en el bosque de pino-encino del suroeste del estado de Durango son Pinaceae y Fagaceae, los géneros *Pinus* y *Quercus* son los más importantes. El bosque templado estudiado presenta una riqueza específica y diversidad de especies arbóreas mediana, así como una estructura uniforme en base a los resultados presentados por el Índice de Pretzsch.

Palabras clave: biodiversidad, especies, IVI, Margalef, Sierra Madre Occidental, riqueza, Shannon.

ABSTRACT: The study was carried out in the ejido La Victoria, located in the municipality of Pueblo Nuevo, Durango, Mexico. The objective of the study was to evaluate the diversity, as well as to measure its horizontal and vertical structure, the data are derived from the forest ejidal inventory. To measure richness and diversity, the Shannon and Margalef indices were used. 7 families and 24 tree species were registered, of which the highest value of importance was the Pinaceae family, whose species with the highest value was *Pinus cooperi*. The Margalef Index value was 2.67. In relation to the value of species diversity, the value of the Shannon Index was 2.85. The Pretzsch A Index had values of 2.63 with an A_{max} value of 3.94 and A_{rel} of 68%, which indicates that the evaluated area presents average uniformity. The families with greater importance due to their structural contribution in the pine-oak forest of the southwest of the state of Durango are Pinaceae and Fagaceae, the genera *Pinus* and

Quercus are the most important. The temperate forest studied has a medium specific richness and diversity of tree species, as well as a uniform structure based on the results presented by the Pretzsch Index.

Keywords: biodiversity, species, IVI, Margalef, Sierra Madre Occidental, wealth, Shannon.

INTRODUCCIÓN

La alta diversidad de los ecosistemas propicia a una gran riqueza o variedad de especies; en México estos ecosistemas están integrados principalmente por matorrales xerófilos (41%), bosques templados (24%) y selvas (23%) (Conafor, 2009; Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020). Los bosques templados son de los ecosistemas de mayor distribución entre los distintos tipos de asociaciones de coníferas en México; éstos cubren alrededor de tres cuartas partes de su distribución potencial estimada, si bien más de la mitad se encuentran en gran preservación gracias a las estrategias de manejo y toma de decisiones certeras (Inegi, 2003; Inegi, 2009; Ramos-Reyes *et al.*, 2017). Los beneficios de este tipo de bosques son de gran importancia económica fomentando su uso de manera ordenada; procurando satisfacer las necesidades de la sociedad actual y futura, así como su valor ecológico debido a la gran cantidad de servicios ambientales que proveen, principalmente la fijación de CO₂ (Granados-Sánchez *et al.*, 2007; Aguirre-Calderón, 2015).

El manejo forestal es primordial para la conservación de la diversidad, así como la modificación de la estructura a nivel de masas, de ahí la importancia de la cuantificación de las variables estructurales de los bosques para comprender el funcionamiento y con ello aportar herramientas que complementen el manejo forestal sustentable (Hernández-Salas *et al.*, 2013; Zarco-Espinosa *et al.*, 2010).

Las prácticas silvícolas, dependiendo de sus métodos y grados de intensidad tienden a favorecer un reducido número de especies lo cual pueden presentar grados de complejidad si se pretende armonizar los criterios de sustentabilidad que implican conservar la diversidad (Gavilán y Rubio, 2005).

El uso de índices de diversidad que describen la riqueza de especies muestran la relevancia en distintas áreas de un ecosistema y a su vez una validez científica para establecer criterios de conservación, ya que estas son utilizadas como indicadores ambientales de un ecosistema (Magurran, 1989; Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020; Campo y Duval, 2014).

El conocimiento de la estructura y diversidad de las especies arbóreas en bosques templados es importante para la gestión y conservación, aún falta generación de estudios específicos sobre todo en el noroeste de México donde se encuentra parte de la Sierra Madre Occidental (SMO) (Graciano-Ávila *et al.*, 2017).

El estado de Durango se ubica en la SMO que es considerada como un importante corredor biológico tanto para especies boreales como elementos tropicales de montaña, destacando en el primer caso las plantas maderables y en el segundo, las herbáceas (Bye, 2005; Graciano-Ávila *et al.* 2020b). Diversos estudios señalan que las familias dominantes en los bosques de Durango son Pinaceae y Fagaceae (Graciano-Ávila *et al.*, 2017, González-Elizondo *et al.*, 2007, González-Elizondo *et al.*, 2012). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue caracterizar la estructura y evaluar la diversidad de especies arbóreas en un bosque templado bajo manejo en el Estado de Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido La Victoria, ubicado al Suroeste del estado de Durango, en el municipio de Pueblo Nuevo (Fig. 1), ubicado los 23°40' 04" y 23° 47' 54" N, y los 105° 21' 31" y 105° 29' 52" O.

El ejido La Victoria se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia de gran Meseta y Cañones Duranguenses y Mesetas y Cañadas del Sur. El tipo de roca predominante es ígnea extrusiva ácida (Rentería-Arrieta y Montiel-Antuna, 2017). Los suelos son de tipo cambisol, regosol y litosol con textura predominantemente gruesa a media (INEGI, 1984). La vegetación en la mayor parte del predio está formada por bosques de pino-encino, con distintas condiciones de productividad. Las principales especies de pino son *Pinus cooperi* Blanco, *P. durangensis* Martínez y *P. leiophylla* Schl. et Cham. (Dominguez-Cabrera *et al.*, 2007).

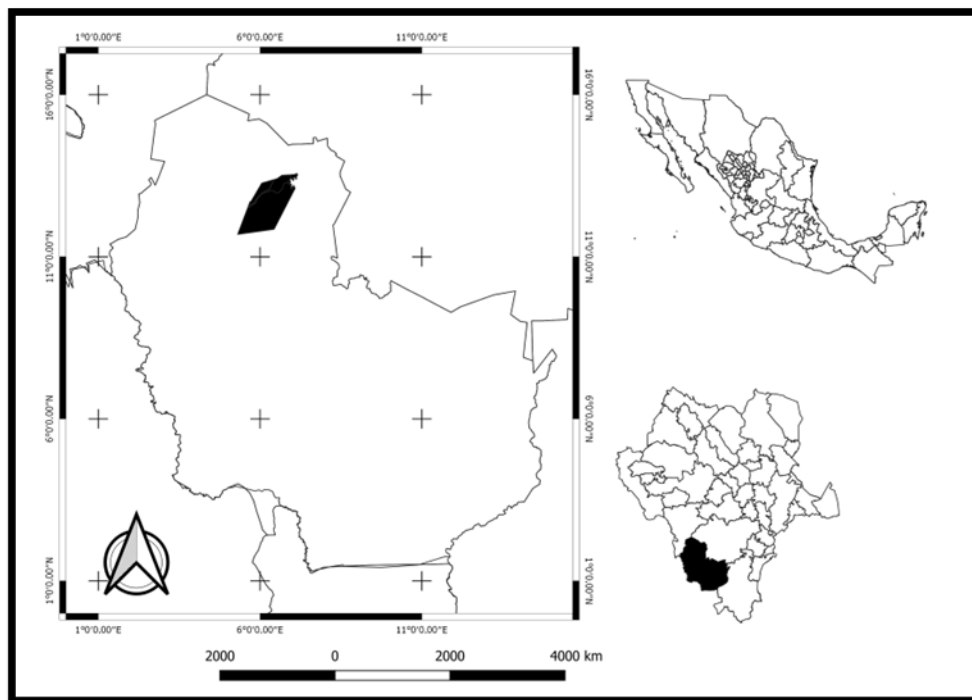


Fig. 1. Ubicación del área de estudio en el suroeste del estado de Durango, en el noroeste de México.

Obtención de datos y análisis de la información

Los datos analizados proceden de 24305 parcelas de muestreo circulares de 1000 m², producto del inventario ejidal forestal realizado en el año 2016, ubicadas principalmente en bosques dominados por *Pinus cooperi* Blanco; a todos los árboles se les midió el diámetro normal, la altura total y se registró la especie a la que pertenece cada individuo.

Para evaluar la estructura horizontal se determinaron la abundancia con base en el número de árboles por especie, la dominancia en función del área basal, y la frecuencia con base en la presencia en los sitios de muestreo. Las variables relativizadas se utilizaron para obtener el Índice de valor de importancia (IVI), que se define como la sumatoria de la abundancia relativa más la cobertura relativa y la frecuencia relativa (Silva-García *et al.*, 2021), y adquiere valores porcentuales en una escala de cero a 300 (Mostacedo y Fredericksen 2000; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020):

$$A_i = \frac{N_i}{E(ha)}, AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum A_i} \right) \times 100$$

Donde: A_i es la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i , respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i , y E la superficie de muestreo (ha). La cobertura relativa se obtuvo con la fórmula:

$$D_i = \frac{Ab_i}{E(ha)}, DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum D_i}\right) \times 100$$

Donde: D_i es la cobertura absoluta, DR_i es cobertura relativa de la especie i respecto a la cobertura, Ab_i el área basal de la especie i y E la superficie (ha). La frecuencia relativa se obtuvo con la fórmula:

$$F_i = \frac{P_i}{NS}, FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum F_i}\right) \times 100$$

Donde: 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 es el número de sitios en el que está presente la especie i y NS el número total de sitios de muestreo.

$$IVI = AR_i + DR_i + FR_i$$

Para determinar la semejanza en la composición de las especies se aplicó el coeficiente de similitud. Se eligieron los sitios más representativos del área de estudio con base en el número de especies, se aplicó un análisis de similitud con el programa PAST versión 4.0 (González-Ramírez *et al.* 2017), mediante un algoritmo que permite analizar la similitud de las muestras a través del cálculo del porcentaje con intervalos de 0 a 100 %, cuyo resultado se representa en un dendrograma de similitud-disimilitud de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957).

Para complementar la caracterización de la estructura horizontal se realizó un análisis geoestadístico con el método de interpolación IDW (interpolación inversa de la distancia) con el fin de representar e identificar las áreas con mayor y menor abundancia, dominancia y frecuencia (Aragón-Hernández *et al.* 2019). IDW es un método de interpolación espacial determinista, que supone que los puntos más próximos a la muestra son más parecidos entre sí, de tal forma que existe una relación lineal de similitud entre un punto de valor conocido y sus vecinos, esa relación de parentesco queda expresada por una función ponderada con la distancia (Castro *et al.* 2018). El valor que tomará un punto desconocido, pero en la vecindad del punto muestreado será la media ponderada por la distancia. Se representa con la siguiente fórmula:

$$Z(x,y) = \frac{\sum_{ij} z(i,j)W(i,j)}{\sum_{ij} W(i,j)}$$

donde $Z(x,y)$ es el valor interpolado de un punto no muestreado, $z(i,j)$ es el valor de un punto muestreado al interior de un radio de búsqueda definido, y $W(i,j)$ son los pesos estadísticos asignados por el inverso de la distancia.

Se utilizaron también los índices de Shanon-Weaver (H) (Shanon y weaver, 1949) para cuantificar la biodiversidad específica, y el índice de Margalef (DMg) para estimar la riqueza de especies. H' refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006). Las fórmulas de ambos índices son:

$$H' = -\sum_i^s p_i \times \ln(p_i), p_i = \frac{n_i}{N}$$

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

Donde: S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos, n_i es el número de individuos de la especie i y p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos.

La estructura vertical de las especies se analizó con el índice de distribución vertical A de Pretzsch (Pretzsch, 1996), en el que A tiene valores entre cero y un valor A_{max} ; un valor $A=0$ significa que el rodal está constituido por una especie que ocurre en un solo estrato; A_{max} se alcanza cuando la totalidad de las especies están presentes en la misma proporción tanto en el rodal como en los diferentes estratos (Corral *et al.*, 2005). Para estimar la distribución vertical de las especies se definieron tres zonas de altura (Jiménez *et al.*, 2008) zona I: 80 a 100% de la altura máxima del área; zona II: 50 a 80% de la altura máxima, y zona III: de 0 a 50% de la altura máxima. El índice se estimó con la siguiente fórmula:

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

Donde: A = Índice de distribución vertical, S = Número de especies presentes, Z = Número de estratos respecto a la altura, P_{ij} = Porcentaje de especies en cada zona, se estima mediante $(n_{ij}; j/N)$, n_{ij} , j = Número de individuos de la especie i en el estrato j , N = Número total de individuos.

Fue necesario estandarizar el el Índice de Pretzsch para el análisis, lo cual se realizó con el valor de A_{max} , que se obtuvo con la siguiente ecuación:

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

Para estandarizar el valor de A_{max} se aplicó la siguiente expresión:

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

RESULTADOS

Se registraron 24 especies arbóreas en total, distribuidas en siete familias (Tabla 1). La familia más representativa fue *Pinaceae* con once especies, seguida de las familias *Fagaceae* con siete especies, *Cupressaceae* con 2 especies cada una. Estas tres familias incluyeron tres géneros y 20 especies, lo que constituye el 95.9 % de la vegetación registrada en los 24305 sitios de muestreo

Tabla 1. Nombre científico y familia de las especies registradas en el ejido la Victoria, Durango, México

| Especie | Familia |
|-----------------------------|----------|
| <i>Pinus cooperi</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus durangensis</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus leiophylla</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus teocote</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus engelmannii</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus lumholtzii</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus ayacahuite</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus douglasiana</i> | Pinaceae |
| <i>Pinus herrerae</i> | Pinaceae |
| <i>seudotsuga menziesii</i> | Pinaceae |
| <i>Abies durangensis</i> | Pinaceae |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| <i>Juniperus deppeana</i> | Cupressaceae |
| <i>Cupressus lindleyi</i> | Cupressaceae |
| <i>Quercus sideroxyla</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus durifolia</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus obtusata</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus coccolobifolia</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus viminea</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus candicans</i> | Fagaceae |
| <i>Quercus rugosa</i> | Fagaceae |
| <i>Alnus acuminata</i> | Betulaceae |
| <i>Arbutus xalapensis</i> | Ericaceae |
| <i>Prunus serotina</i> | Rosaceae |
| <i>Populus tremuloides</i> | Salicaceae |

La comunidad arbórea del área de estudio tuvo una densidad promedio de 584 individuos ha^{-1} . La familia Pinaceae fue la más abundante con densidad promedio de 361 árboles ha^{-1} , representando el 61.81 % del total, seguida de la familia Fagaceae con el 23.45% del total y densidad promedio de 137 árboles ha^{-1} (Tabla 2).

La interpolación (IDW) realizada con los datos de abundancia (Fig. 2A) muestra diversos focos verdes, es decir, que el número de individuos es alto. Estos focos se encuentran distribuidos en varios sectores del área; sin embargo, las áreas con densidades más altas se encuentran al suroeste de la región estudiada, donde es posible encontrar sitios que van de los 65 hasta los 157 individuos que es la densidad máxima.

Para la dominancia (Fig. 2B), los resultados de la interpolación muestran en gran parte del área grandes focos color violeta, lo cual significa que hay mayor área basal debido a los esquemas de manejo silvícola que se programaron y los efectos requeridos, esto permite obtener la mayor productividad de los bosques. Los valores en dominancia máximos oscilan entre los 25 y 37.5 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, estos resultados se correlacionan positivamente con los tratamientos silvícolas que se aplican.

La figura 2C muestra el análisis espacial de la densidad de especies interpolada, se observa que el ejido la Victoria exhibe diversos manchones donde la diversidad es alta en términos relativos. Las áreas con mayor diversidad concuerdan con las áreas donde hay mayor dominancia. Los valores oscilan de 1 a 24 especies presentes, los primeros indican que existen áreas donde solo predomina una especie (rodales puros) mientras que el máximo número de especies se concentran solo en pequeñas áreas los valores dominantes en el número de especies se encuentran entre las 14 y 18 especies. La cartografía se elaboró con una resolución espacial de 100x100, por lo que cada pixel equivale a una hectárea.

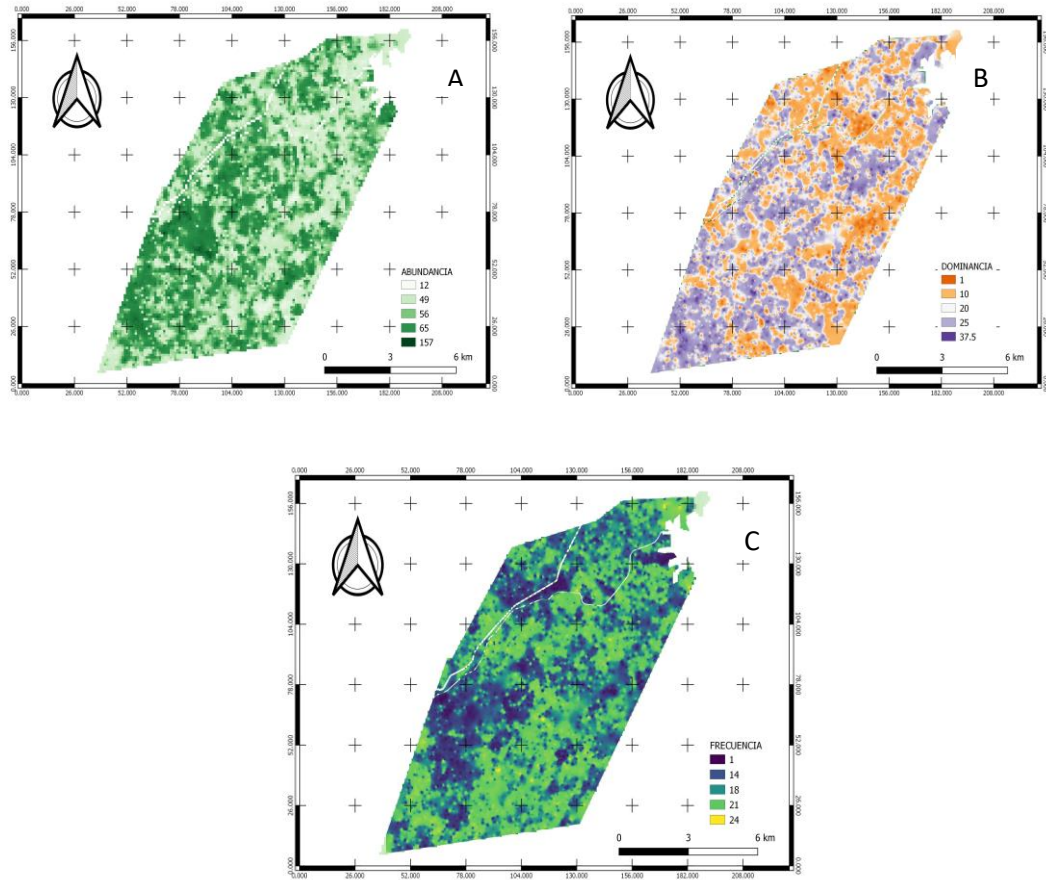


Fig. 2. Mapas de abundancia (A) dominancia (B) y frecuencia (C) con el método de interpolación IDW con resolución espacial de 100x100, para el ejido la Victoria, Durango, México.

Tabla 2. Abundancia, dominancia y frecuencia por género de las especies registradas en el área de estudio.

| Familia | Abundancia | | Dominancia | | Frecuencia | | IVI |
|--------------|--------------------------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|------------|
| | Absoluta (n ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (m ² ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (N) | Relativa (%) | |
| Pinaceae | 361 | 61.81 | 23.82 | 63.36 | 14132 | 58.14 | 185.89 |
| Cupressaceae | 62 | 10.61 | 3.75 | 9.97 | 3664 | 15.07 | 34.51 |
| Fagaceae | 137 | 23.45 | 8.88 | 23.62 | 3880 | 15.96 | 61.59 |
| Betulaceae | 1 | 0.17 | 0.30 | 0.79 | 142 | 0.58 | 0.86 |
| Ericaceae | 21 | 3.59 | .84 | 2.23 | 2483 | 10.21 | 16.77 |
| Rosaceae | 1 | 0.17 | 0.005 | 0.013 | 3 | 0.012 | 0.18 |
| Salicaceae | 1 | 0.17 | 0.001 | 0.002 | 1 | 0.004 | 0.17 |
| total | 584 | 100 | 37.59 | 100 | 24305 | 100 | 300 |

IVI= índice de valor de importancia, N= número de sitios donde se presenta la familia o especie

Las especies con mayor densidad fueron *Pinus cooperi* (188.89 individuos ha^{-1}) que corresponde al 27% del total, seguido de *Quercus sideroxyla* (130 individuos ha^{-1}); con 12.5% del total se encuentra *Pinus durangensis* que equivale a 73 árboles ha^{-1} , *Pinus ayacahuite* con 69 individuos por ha^{-1} que corresponde al 11.81% de la muestra, mientras que las demás especies muestreadas rondan porcentajes de 0.17% a 10.4%, que corresponden a 1 y 61 individuos ha^{-1} (Tabla 2).

Se tuvo una dominancia absoluta de $37.59 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. La familia Pinaceae fue la de mayor dominancia relativa ($23.82 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con 63.36% del total, seguida de la familia Fagaceae que tuvo una dominancia relativa de $8.88 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, lo que equivale a 23.62% del total (Tabla 2). Las especies con mayor área basal fueron *P. cooperi* ($8.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con 32.97%, *Pinus durangensis* ($4.23 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con 9.35%, *Q. sideroxyla* ($6.03 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con 13.32% y *Arbutus xalapensis* ($0.863 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con 18.63% que suman en total 74.27% de las especies encontradas (Tabla 3).

El dendrograma derivado de la matriz de similitud-disimilitud de Bray-Curtis (Fig. 3) presenta agrupados a los sitios de muestreo más representativos con base en el número de especies presentes, lo cuales conforman 3 grandes grupos bien definidos con base en la similitud. El primero está integrado por un solo sitio cuyo componente arbóreo corresponde a una composición de tres familias Pinaceae, Fagaceae y Ericaceae con 17.7% de similitud. El segundo grupo está conformado por 42 sitios con 54.3% de similitud, y una composición de pino-encino. El grupo 3 está conformado por 56 sitios y es el grupo con mayor número de sitios y tiene una similitud de 45.7%. Las agrupaciones están influidas por el número de individuos de cada especie y con la composición florística que se presenta en el área de estudio.

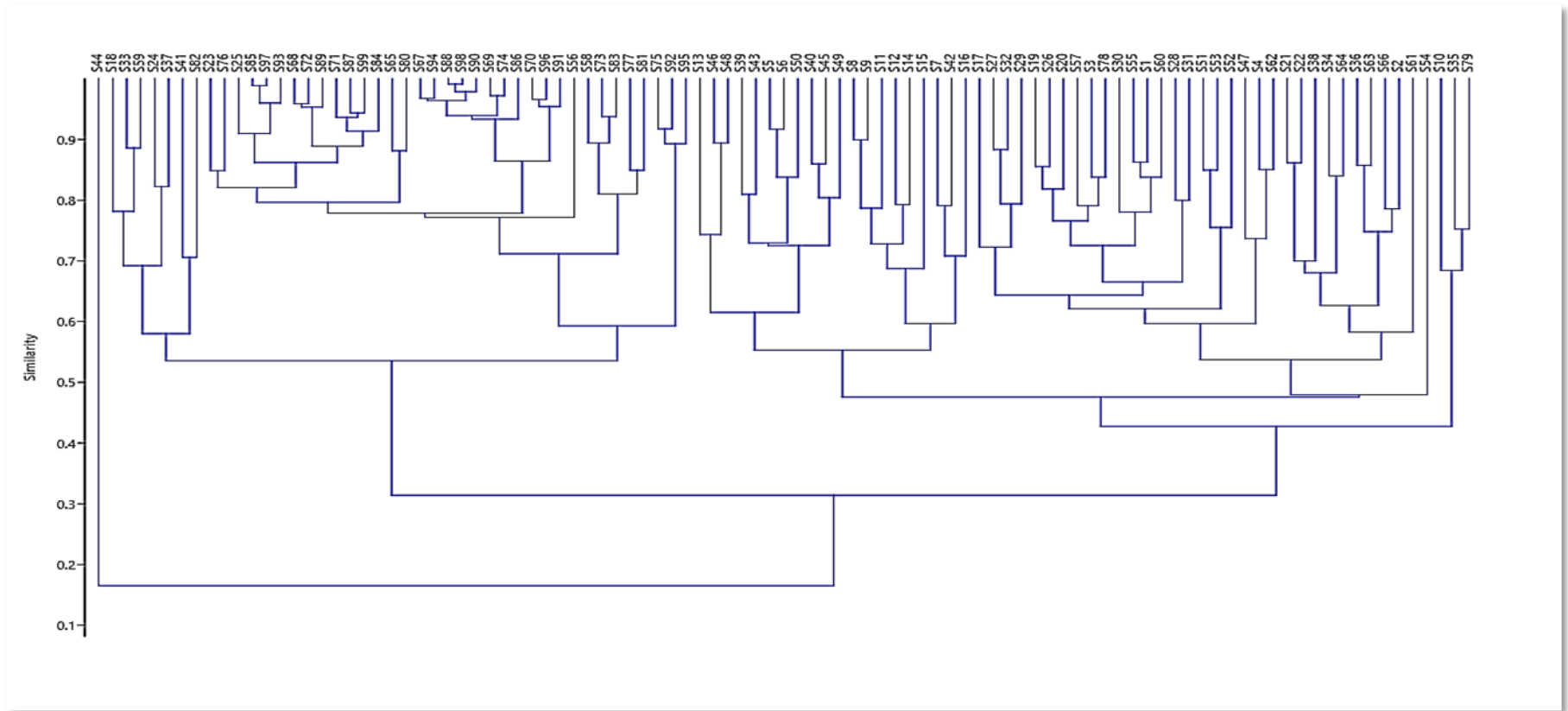


Fig. 3. Dendrograma de similitud-disimilitud Bray-Curtis de los sitios más representativos del área de estudio.

La riqueza y diversidad específica de la comunidad arbórea estudiada de 24 especies presentó un valor en el índice de Margalef de 2.67. En relación al valor de diversidad de especies, el valor del índice de Shannon fue de 2.85. Con base en los resultados el área se puede definir como de mediana diversidad arbórea.

En cuanto a la estructura vertical se distribuye en tres estratos, de los cuales el superior (I: >80% de la altura máxima) donde se encontraron 12 especies y fue dominado por *P. cooperi* y *P. durangensis* con las alturas más destacadas de 38 y 35.4 m. Las alturas más bajas en el estrato correspondieron a *Q. sideroxyla* y *P. cooperi*; cabe destacar que las alturas mínimas fueron superiores a 24 metros

En el estrato II (>50%-80 %) domina *P. cooperi*, con alturas de 12 a 24.6 m. Sin embargo, comienzan a estar presentes otras especies, tales como *Q. viminea*, *Q. candicans*, *A. acuminata*, *A. xalapensis*, etc. con alturas de 17 a 24 m. En total, se encontraron 21 especies, siendo las dominantes los géneros *Pinus* y *Quercus*.

El estrato III (hasta 50 %) están presentes las 24 especies reportadas en el presente estudio, las especies dominantes en altura corresponden al género *Pinus* (*P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote*) cuyas alturas rondan de 1.80 m a 11.9 m.

El índice A tuvo valores de 2.63 con valor A_{max} de 3.94 y A_{rel} de 68%, lo que indica que la zona evaluada presenta uniformidad media en la diversidad de alturas. Valores de A_{rel} cercanos a 100% indican que todas las especies se encuentran distribuidas de forma equitativa en los tres estratos de altura.

Tabla 3. Características estructurales para las especies registradas en el ejido La Victoria.

| Especie | Familia | Abundancia | | Dominancia | | Frecuencia | | IVI (%) |
|-----------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|---------|
| | | Absoluta (n ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (m ² ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (N) | Relativa (%) | |
| <i>Pinus cooperi</i> | Pinaceae | 158 | 27.05 | 8.55 | 18.87 | 3844 | 15.81 | 61.73 |
| <i>Pinus durangensis</i> | Pinaceae | 73 | 12.5 | 4.23 | 9.35 | 2898 | 11.92 | 33.77 |
| <i>Pinus leiophylla</i> | Pinaceae | 17 | 2.91 | 0.84 | 1.87 | 1462 | 6.01 | 10.79 |
| <i>Pinus teocote</i> | Pinaceae | 38 | 6.50 | 1.90 | 4.20 | 2262 | 9.30 | 20 |
| <i>Pinus engelmannii</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 3.91 | 8.63 | 63 | 0.25 | 9.05 |
| <i>Pinus lumholtzii</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 0.089 | 0.19 | 24 | 0.09 | 0.45 |
| <i>Pinus ayacahuite</i> | Pinaceae | 69 | 11.81 | 3.08 | 6.81 | 3464 | 14.25 | 32.87 |
| <i>Pinus douglasiana</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 0.016 | 0.035 | 4 | 0.01 | 0.215 |
| <i>Pinus herrerae</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 0.37 | 0.82 | 31 | 0.12 | 1.11 |
| <i>Juniperus deppeana</i> | Cupressaceae | 61 | 10.44 | 2.50 | 5.52 | 3652 | 15.02 | 30.98 |
| <i>Cupressus lindleyi</i> | Cupressaceae | 1 | 0.17 | 1.25 | 2.75 | 12 | 0.04 | 2.96 |
| <i>seudotsuga menziesii</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 0.80 | 1.7 | 64 | 0.26 | 2.13 |
| <i>Abies durangensis</i> | Pinaceae | 1 | 0.17 | 0.052 | 0.11 | 16 | 0.06 | 0.34 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> | Fagaceae | 130 | 22.22 | 6.03 | 13.32 | 3530 | 14.52 | 50.06 |
| <i>Quercus durifolia</i> | Fagaceae | 1 | 0.17 | 0.86 | 1.91 | 85 | 0.34 | 2.42 |
| <i>Quercus obtusata</i> | Fagaceae | 1 | 0.17 | 0.32 | 0.71 | 26 | 0.10 | 0.98 |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|
| <i>Quercus coccolobifolia</i> | Fagaceae | 1 | 0.17 | 0.44 | 0.99 | 71 | 0.29 | 1.45 |
| <i>Quercus viminea</i> | Fagaceae | 1 | 0.17 | 0.49 | 1.08 | 36 | 0.14 | 1.39 |
| <i>Quercus candicans</i> | Fagaceae | 1 | 0.17 | 0.74 | 1.64 | 131 | 0.53 | 2.34 |
| <i>Quercus rugosa</i> | Fagaceae | 2 | 0.34 | 0.004 | 0.008 | 1 | 0.00 | 0.348 |
| <i>Alnus acuminata</i> | Betulaceae | 1 | 0.17 | 0.30 | 0.67 | 142 | 0.58 | 1.42 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> | Ericaceae | 21 | 3.59 | .843 | 18.63 | 2483 | 10.21 | 32.43 |
| <i>Prunus serotina</i> | Rosaceae | 1 | 0.17 | 0.005 | 0.01 | 3 | 0.01 | 0.19 |
| <i>Populus tremuloides</i> | Salicaceae | 1 | 0.17 | 0.001 | 0.002 | 1 | 0.00 | 0.172 |
| Total | | 584 | 100 | 37.59 | 100 | 24305 | 100 | 300 |

IVI = Índice de valor de importancia, N= número de sitios donde se presenta la familia o especie

DISCUSIÓN

Las estructura y diversidad de un bosque natural son de las principales variables que se deben tomar en cuenta en el manejo de los recursos forestales, pues aportan bases para la toma de decisiones para un mejor aprovechamiento forestal (Gavilan y Rubio, 2005; Lopez *et al.*, 2017).

López *et al.* (2017) encontraron también que el género *Pinus* tiene mayor abundancia en los bosques templados bajo manejo. En este estudio se registraron 24 especies, cantidad inferior a las 27 especies registradas por Linares *et al.* (1999) en bosque de pino-encino en el estado de Durango.

Por su estructura y diversidad el bosque estudiado corresponde a un bosque típico de pino-encino de la Sierra Madre Occidental. Se encontraron las mismas familias dominantes reportadas para la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, las cuales son *Pinaceae* y *Fagaceae* (Aragón-Piña *et al.* 2010).

Las especies con mayor importancia por el área basal que ocupan fueron *P. durangensis*, *P. cooperi*, *P. ayacahuite* *Q. sideroxyla* y *J. Deppeana* (83%); estas especies han sido reportadas como las de mayor área basal en bosques de pino-encino del estado de Durango (Valenzuela y Granados, 2009).

Con base en la similitud florística se presentan resultados que contrastan a diferentes estudios, debido a que se presentan mayores porcentajes en el presente estudio. Esto difiere con lo reportado por Dominguez-Gomez *et al.* (2018) quien analizó 4 sitios en la zona serrana de Durango, quien encontró principalmente especies de *Pinus* y *Quercus*, pero de acuerdo al dendrograma de similitud se aprecia porcentajes bajos de similitud que rondan entre 12.94% y 29.81% esto puede deberse a la poca información recabada o a la composición florística que hay entre las áreas de estudio.

La interpolación inversa de la distancia (IDW) se utiliza comúnmente en los estudios relacionados con hidrología y climáticos, por ejemplo, en la estimación de la precipitación, pero existen trabajos relacionados con la riqueza y distribución de flora como el realizado por Castro *et al.* (2018), quienes analizaron la composición de la diversidad vegetal en la ciudad de Santiago de Chile, encontrando que las especies exóticas ocupan un 85% del área y solo un 15% las especies nativas.

Los resultados difieren con lo reportado por Graciano-Ávila *et al.* (2017) en el ejido la Victoria, municipio de Pueblo Nuevo, quien encontró 12 especies que representan un 50% menos especies de lo que se reporta en el presente estudio. Los valores a partir de los índices de Margalef y Shannon son inferiores (Dmg 1.53 y H' 1.74) que corresponde a una riqueza y diversidad baja, mientras que con un muestreo más intensivo se obtuvieron valores por encima de 2, esto significa una diversidad y riqueza mediana.

La estructura vertical en un bosque de pino-encino por lo regular presenta uniformidad en las alturas debido a los tratamientos que en ellos se aplican, hecho que difiere con Camacho *et al.* (2014) quienes encontraron valores del índice A es de 2.01 con un A_{max} de 3.74 y un A_{rel} de 54%, lo que indica que la distribución de las especies en los estratos de altura se encuentra en 46% de la máxima diferenciación dimensional, lo cual se presenta que el rodal es no uniforme en cuanto a las alturas.

El índice de Pretzsch se ha utilizado en diferentes áreas como en el Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET). Un estudio realizado por Mora-Donjuán *et al.* (2014) quienes obtuvieron valores A de 2.04 con un A_{max} de 3.08 y un A_{rel} de 53.8% lo que indica diversidad estructural media en los estratos de altura. Estos resultados muestran similitudes con los presentados por Alanís-Rodríguez *et al.* (2010) y García *et al.* (2005).

CONCLUSIONES

El bosque templado estudiado presenta un valor medio en cuanto a riqueza específica y diversidad de especies arbóreas. Las familias con mayor importancia por su contribución estructural a este bosque son Pinaceae y Fagaceae, los géneros *Pinus* y *Quercus* son los más importantes. Mientras que las especies más importantes son *P. cooperi*, *P. durangensis* y *Q. sideroxylla*. En cuando al índice de distribución vertical se tiene que la vegetación presenta una diversidad uniforme en los estratos, es decir, en un 68% de A_{rel} .

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al ejido la victoria y a la unidad de prestación de servicios ejidales de El Salto, Dgo., A.C. (UPSE) por proporcionar la información para realizar la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y bosques*, 21, 17-28.
DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Alanís-Rodríguez E, J. Jiménez., M. Pando, O.A. Aguirre, E. J. Treviño y P. Canizales. (2010). Caracterización de la diversidad arbórea en áreas Restauradas post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México” *Acta biológica*. Colombia. 15, 309-324.
- Alanís-Rodríguez, E., L. Sánchez-Castillo, C. Méndez-Osorio, P. Canizales-Velázquez, A. Mora-Olivo y E. A. Rubio-Camacho. (2020). Structure and diversity of trees on post-fire regenerated areas in Sierra de Guerrero, Mexico. *Botanical Sciences*, 98, 210-218.
DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2220>
- Aragón-Hernández, J. L., Aguilar-Martínez, G. A., Velázquez-Ríos, U., Jiménez-Magaña, M. R., & Maya-Franco, A. (2019). Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2), 1-17.
- Aragón-Piña, E. E., Garza-Herrera, A., González-Elizondo, M. S., & Luna-Vega, I. (2010). Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho El Durangueno, en

- la Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(3), 771-787.
- Ávila, G. G., E. A. Rodríguez, O. A. Calderón, M. A. Tagle, E. T. Garza, A. M. Olivo, y J. Coral-Rivas. (2020). Cambios en la composición y estructura de especies arbóreas en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botanica Mexicana*, 127. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1522>
- Bray, J. R. y J. T. Curtis. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs* 27, 325-349. DOI: 10.2307/1942268
- Bye, R. (1995). Prominence of the Sierra Madre Occidental in the biological diversity of Mexico. *Biodiversity and management of the Madrean Archipelago: The sky islands of the southwestern United States and northwestern México*, 19, 27. DOI: 10.2737/RM-GTR-264
- Cabrera, G. D., Ó. A. Calderón, F. J. Hernández, y J. J. Pérez. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques*, 13, 35-46. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311234>
- Camacho, R.A., M.A. González-Tagle, J. Jiménez-Pérez, E. Alanís-Rodríguez, D.Y. Ávila-Flores. (2014). Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL* 17, 34-41.
- Campo, A. M., V. S. Duval. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural: Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). DOI: http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
- Castro, S. A., N. Guerreo-Leiva, M. Bolados, y J. A. Figueroa. (2018). Riqueza y distribución de la flora urbana de Santiago de Chile: una aproximación basada en interpolación IDW. *Cuaderno de Pesquisa*, 30(1), 41-54. DOI: 10.17058/cp.v30i1.12198
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2009). Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Zapopan, Jal. México. 69 p.
- Corral, J., Ó. A. Aguirre, J. Jiménez y S. Corral. (2005). Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14, 217-228
- Domínguez- Gómez, T. G., B. N. Hernández- González, H. González -Rodríguez, I. Cantú-Silva, E. Alanís- Rodríguez, y M. D. S Alvarado. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9, 9-34. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>
- García, R. V., Petersen, P. B., Rodríguez, A. G., Pérez, A. L. S., & Martínez, F. M. H. (2005). Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Ibugana: Boletín del Instituto de Botánica*, 13(1), 67-76.
- Gavilán, R. G. y A. Rubio. (2005). ¿Pueden los índices de diversidad biológica ser aplicados como parámetros técnicos de la gestión forestal? *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 20, 93-98.
- González-Elizondo, M., E. González y L. Márquez. (2007). Vegetación y ecorregiones de Durango. México, D. F.: Instituto Politécnico Nacional. 165p.
- González-Elizondo, M., J. Tena-Flores, L. Ruacho-González, y I. López-Enríquez. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351-403.
- González-Ramírez, M., S. Zaragoza-Caballero, y C. X. Pérez-Hernández. (2017). Análisis de la diversidad de Coleoptera en el bosque tropical caducifolio en Acahizotla, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 381-388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.008>
- Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza, & A. Mora-Olivo. (2017). Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y bosques*, 23, 137-146. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>

Recibido:
10/septiembre/2021

Aceptado:
16/mayo/2022

- Granados-Sánchez, D., G. F. López-Ríos, y M. A. Hernández-García. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 13, 67-83.
- Hernández-Salas, J., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza, M. A. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García, y A. Domínguez-Pereda. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19, 189-200. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1984). Carta topográfica. Escala 1:50,000. El Salto, Durango. F13-A18 spp. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2003). Conjunto de datos vectoriales de la carta de vegetación primaria 1: 1 000 000. Aguascalientes, México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2009). Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie III. Aguascalientes, Ags., México. 74 p.
- Jiménez, J., Ó. A. Aguirre y H. Kramer. (2008). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 10, 355-366.
- Linares, M. A. M., Elizondo, S. G., & Zagoya, R. A. (1999). Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, Méx. *Madera y Bosques*, 5, 67-78.
- López-Hernández, J. A., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Monarrez-Gonzalez, M. A. González-Tagle, y J. Jiménez-Pérez. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y bosques*, 23, 39-51. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- Magurran, A. E. (1989). Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedral. Barcelona, España. 200 p.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR; Santa Cruz, Bolivia. 87p.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31, 583-590.
- Quijada, G. E. M., Balderas, J. M. M., Garza, E. J. T., Calderón, Ó. A. A., Rodríguez, E. A., & Yamalle, J. I. Y. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11, 95-123 DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Ramos-Reyes J, E. J. Treviño Garza, E. Buendía Rodríguez, O. A. Aguirre Calderón, y López J. I. Martínez. (2017). Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8, 64-88. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i43.66>
- Rentería-Arrieta, L.I. y E. Montiel-Antuna. (2017). Áreas naturales protegidas. En: La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado. CONABIO, México. 129-171p
- Shannon, C.E. y W. Weaver. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144pp.
- Silva-García, J. E., Aguirre Calderón, O. A., Alanís Rodríguez, E., Jurado Ybarra, E., Jiménez Pérez, J., y Vargas Larreta, B. (2021). Estructura y diversidad de especies arbóreas en un Bosque templado del Noroeste de México. *Polibotánica*, 52, 89-102.
- Valenzuela-Nuñez, L. M., y D. Granados Sánchez. (2009). Caracterización fisonómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15, 29-41.
- Zarco-Espinosa, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 26, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a26n1.179>

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO

STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO

Martínez-Gauna, C.A.; J.I. Yerena-Yamalle; L.G. Cuéllar-Rodríguez; E. Alanís-Rodríguez y E. J. Ortega-Arroyo.

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.
STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO.



ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.

STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO.

Martínez-Gauna, C.A.;
J.I. Yerena-Yamalle;
L.G. Cuéllar-Rodríguez;
E. Alanís-Rodríguez
y E. J. Ortega-Arroyo.

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN
FLORÍSTICA, BIOMASA
AÉREA Y CONTENIDO DE
CARBONO EN LA SELVA
MEDIANA PERENNIFOLIA EN
TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.

STRUCTURE, FLORISTIC
COMPOSITION, ABOVE-
GROUND BIOMASS AND
CARBON CONTENT IN
TROPICAL EVERGREEN
FOREST IN TIZIMIN,
YUCATAN, MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 27-49. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.3

C.A. Martínez-Gauna
J.I. Yerena-Yamalle / israel.yerena@gmail.com
L.G. Cuéllar-Rodríguez
E. Alanís-Rodríguez
E. J. Ortega-Arroyo

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Nacional km 145, 67700, Linares, Nuevo León, México.*

RESUMEN: El objetivo del estudio fue caracterizar la estructura horizontal, determinar la composición de especies leñosas, estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono en tres áreas: aguada, área de regeneración y área de conservación, en la selva mediana perennifolia. Se realizaron 88 sitios de muestreo de una superficie de 1,000 m², midiendo el diámetro a la altura de pecho (DAP), altura y diámetro de copa, de todos los individuos con DAP \geq 2.5 cm. De acuerdo con los resultados obtenidos en las categorías diamétricas, para el área de la aguada resultó un total de 9 categorías, el área de regeneración con 12 y el área de conservación 13 categorías. La riqueza de especies fue la siguiente: para el área de la aguada 45 especies, el área de regeneración 58 especies y para el área de conservación 61 especies. La especie de mayor índice de valor de importancia en las tres áreas es *Piscidia piscipula*. La biomasa aérea y el carbono almacenado resultaron en promedio para el área de regeneración 118.78 y 59.39 ton ha⁻¹, la aguada 166.50 y 83.25 ton ha⁻¹ y para el área de conservación 182.58 y 91.29 ton ha⁻¹.

Palabras clave: aguada; ecuaciones alométricas; índice de valor de importancia.

ABSTRACT: The objective of the study was to characterize the horizontal structure, determine the composition of woody species, estimate the above-ground biomass and carbon content in three areas: waterhole, regeneration area and conservation area, in a tropical evergreen forest. Eighty-eight sampling sites with a surface area of 1,000 m² were established, measuring the diameter at breast height (DBH), height and crown diameter, of all individuals with DBH \geq 2.5 cm. According to the results obtained in the diameter categories, a total of 9 categories resulted for the waterhole area, the regeneration area with 12 and the conservation area 13 categories. The species richness was as follows: for the waterhole area 45 species, the regeneration area 58 species and for the conservation area 61 species. The species with the highest index of importance value in the three areas is *Piscidia piscipula*. The average above-ground biomass and carbon stored was 118.78 and 59.39 ton ha⁻¹ for the regeneration area, 166.50 and 83.25 ton ha⁻¹ for the waterhole, and 182.58 and 91.29 ton ha⁻¹ for the conservation area.

Key words: waterhole; allometric equation; importance value index.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales del siglo XXI, a consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero. Este problema es ocasionado por la quema de combustible fósiles y otras actividades

antropogénicas. Como resultado se da el aumento del dióxido de carbono (CO₂) que empezó a presentar significancia a mediados del siglo XIX a causa del desarrollo industrial (Garreaud, 2011). Sobre el cambio del clima en la superficie terrestre, se estimó un incremento aproximado de 0.7 °C de temperatura, registrada en el último siglo (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007). Para mitigar efectos negativos del cambio climático están los ecosistemas forestales que cumplen funciones importantes en beneficio del ambiente.

Una de las principales funciones que presentan los ecosistemas forestales es capturar y almacenar carbono en la biomasa mediante la fotosíntesis. El ciclo natural del carbono se articula la atmósfera y biósfera, y varía dentro de los bosques según la composición florística, edad y estructura (Pan *et al.*, 2011). Por ejemplo, las selvas en crecimiento en edades tempranas o intermedias tienen mayor potencial de capturar de carbono cuya capacidad está relacionada a la edad. Es decir, con forme aumenta la edad la captación disminuye (Ajit *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2011). Por lo contrario, cuando los bosques son más maduros tienen mayor capacidad de retención mediante el almacenamiento de carbono. El almacenamiento o captura de carbono ha sido calculado en bosques naturales a través de la biomasa forestal.

La cuantificación y monitoreo continuo de la biomasa forestal, a de más de la estimación del carbono, se articula con las valoraciones técnicas sobre los bosques y su contribución funcional en la mitigación al cambio climático (Houghton *et al.*, 2015). Para la estimación de la biomasa existe un método indirecto, que consiste en la utilización de ecuaciones alométricas, las cuales utilizan variables independientes fáciles de medir en los árboles del bosque, como el diámetro, altura y densidad de la madera (Picard *et al.*, 2012). Estas ecuaciones han sido desarrolladas para diferentes bosques tropicales (Brown *et al.*, 1989; Cairns *et al.*, 2003; Návar, 2009; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008).

Bajo los antecedentes mencionados se desarrolló la presente investigación, cuyo objetivo del estudio fue caracterizar la estructura horizontal, determinar la composición de especies leñosas, estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono en tres áreas: aguada, área de regeneración y área de conservación, en la selva mediana perennifolia, con el propósito de generar conocimiento para ayudar a conocer las cantidades de carbono y su relación con diferentes parámetros en el ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el rancho “San Miguel” ubicado en el municipio de Tizimín, Yucatán, México, bajo las coordenadas geográficas 21°20'01.75" N y 87°46'28.77" O (Fig. 1). El área de estudio registra, una altitud promedio de 20 msnm. La vegetación dominante del predio es de tipo selva mediana perennifolia y plantación de teca (*Tectona grandis*). El clima presente es caliente subhúmedo con lluvias en verano (Aw), con una precipitación anual promedio de 1,167 mm y temperatura media anual de 25.4 °C (INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2009).

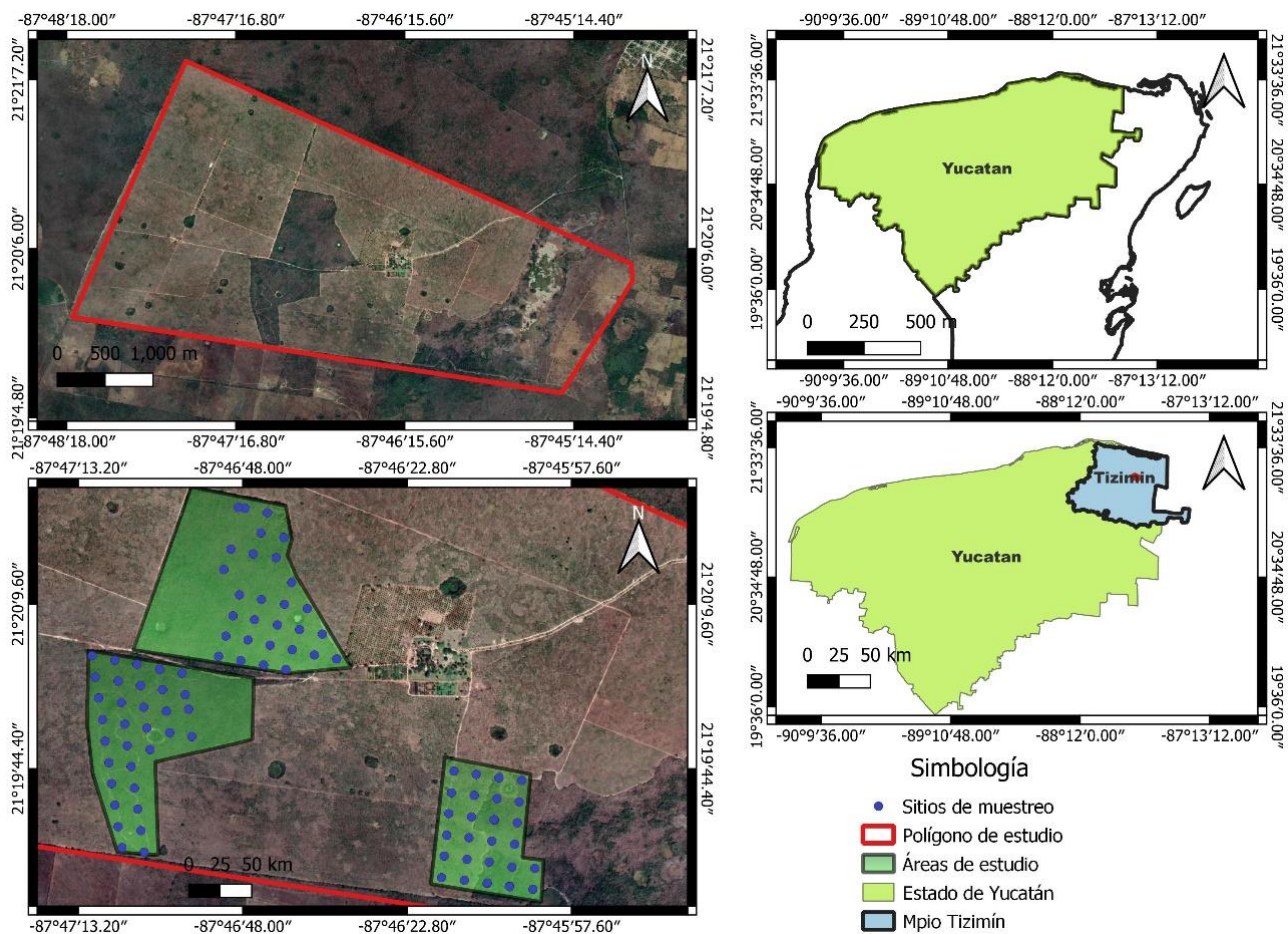


Fig. 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el área de estudio.

El rancho tiene una superficie de 1,181.62 ha, con diferentes usos de la tierra: 1) la aguada con 12 ha, en donde se forman cuerpos de agua temporales por geformas específicas disponiendo de una mayor humedad; 2) área de regeneración de 39 ha, con 30 años de abandono, las actividades que se realizaban anteriormente era ganadería extensiva y la extracción de madera y; 3) área de conservación con 53 ha, sin evidencia de uso previo.

Para evaluar las áreas se realizaron 26 unidades de muestreo en la aguada, 33 en el área de regeneración y 29 en el área de conservación, en total 88 unidades de muestreo rectangulares de 20 x 50 metros con una superficie de 1,000 m², la distribución se estableció de forma sistemática, es decir, distancias iguales entre los puntos centrales de las unidades, se obtuvo mediante la raíz cuadrada del resultado de la división de la superficie entre el número de unidades. En estas unidades experimentales se midió el diámetro normal, altura total y diámetro de copa (norte-sur) (este-oeste), considerando todos los individuos con DAP \geq a 2.5 cm.

Estructura horizontal y composición de especies leñosas

La estructura horizontal se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento de los individuos y de las especies en una determinada superficie y establecer su importancia ecológica. Se determinó el número de árboles por categoría diamétrica y se generaron gráficos

para comparar entre los usos de tierra. Con los datos obtenidos en campo para cada especie se determinó los parámetros ecológicos de abundancia relativa (AR_i), dominancia relativa (DR_i), frecuencia relativa (FR_i), así como el índice de valor de importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mostacedo & Fredericksen, 2000), se estimaron mediante las siguientes ecuaciones:

Abundancia relativa:

$$A_i = N_i / S \quad AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1..n} A_i} \right) * 100$$

donde A_i es abundancia absoluta, AR_i la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i, y S la superficie de muestreo (ha).

Dominancia relativa:

$$D_i = Ab_i / S(\text{ha}) \quad DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum_{i=1..n} D_i} \right) * 100$$

donde D_i es dominancia absoluta, DR_i la dominancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, Ab_i el área de copa de la especie i, y S la superficie de muestreo (ha).

Frecuencia relativa:

$$F_i = P_i / NS \quad FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum_{i=1..n} F_i} \right) * 100$$

donde F_i es la frecuencia absoluta, FR_i la frecuencia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, P_i el número de sitios en el que está presente la especie i, y NS número total de sitios de muestreo.

Índice de valor de importancia:

$$IVI = (AR_i + FR_i + DR_i) / 3$$

donde IVI es el índice de valor de importancia, AR_i es la abundancia relativa, FR_i es la frecuencia relativa y DR_i es la dominancia relativa.

Biomasa aérea y contenido de carbono

El contenido de carbono se obtuvo de la relación de la biomasa aérea por la concentración de carbono de las especies.

$$\text{Contenido de carbono} = B * CC$$

donde: B = biomasa aérea (peso seco de los árboles, kg), CC = concentración de carbono (%).

La concentración de carbono fue obtenida utilizando el factor de conversión de 0.5 recomendado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007). A partir de la vegetación identificada, se revisó literatura para identificar y seleccionar ecuaciones alométricas específicas para género o especie (Cairns *et al.*, 2003; Nívar, 2009; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008). Se utilizó una

ecuación general basada en el tipo de clima (Brown *et al.*, 1989) (Tabla 1 y 2) cuando no existió ecuaciones específicas para género o especie; o mediante la ecuación de volumen general:

$$b = v \cdot dm \cdot F_{exp}$$

donde: b = biomasa aérea; v = volumen del árbol; dm = densidad de la madera (Chave *et al.*, 2006); F_{exp} = factor de expansión (sin dimensión), relación entre la biomasa total y la biomasa de fuste.

$$v = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot h \cdot f$$

donde: v = volumen del árbol; d = diámetro a la altura de pecho (1.30 m); h = altura del árbol; f = factor de forma o coeficiente mórfico (es la relación que existe entre el volumen real del tronco y el modelo que se toma como referencia, el valor es diferente entre las especies).

Tabla 1. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa específica para género o especie.

| Especie | Ecuación |
|--|--|
| <i>Bauhinia variegata</i> L. | $[0.197575] * [DBH^{2.34002}]$ |
| <i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planchon | $[0.037241] * [DBH^{2.99585}]$ |
| <i>Brosimum alicastrum</i> Swarts. | $[0.0336] * [DBH^2] * [TH]$ |
| <i>Eugenia buxifolia</i> (Sw) Willd. | $[0.4600] + [[0.0370] * [DBH^2] * TH]$ |
| <i>Pouteria unilocularis</i> Donn. Smith | $[0.0465] * [DBH^2] * [TH]$ |
| <i>Spondias mombin</i> L. | |
| <i>Luehea speciosa</i> Willd. | $Exp(-2.12605 + 0.868 \text{ LN}(DN^2 * H))$ |
| <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng. | $[0.0841] * [DBH^{2.41}]$ |

DBH, DN = diámetro a altura de pecho (1.30 m); H, TH = altura (m).

Tabla 2. Ecuación por tipo de clima, Húmedo.

| Especie | Ecuación |
|---|--------------------------------------|
| <i>Albizia tomentosa</i> (Micheli) Standl. | |
| <i>Astronium graveolens</i> Jacq. | |
| <i>Byrsonima bucidifolia</i> Standl. | |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> L. | |
| <i>Cascabela gaumeri</i> (Hemsl.) Lippold | |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> Millsp. | |
| <i>Cecropia peltata</i> L. | |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L) Gaertn | |
| <i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose | $exp[-2.4090 + 0.95522 \ln(D^2 HS)]$ |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> L. | |
| <i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg. | |
| <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pavón) Oken | |
| <i>Cordia dodecandra</i> A. DC. | |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> Jacq. | |
| <i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug. & Urb. | |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. | |
| <i>Guettarda combsii</i> Urb. | |

| Espece | Ecuación |
|--|----------|
| <i>Gymnanthes lucida</i> Sw. | |
| <i>Hamelia patens</i> Jacq. | |
| <i>Indigofera indica</i> L. | |
| <i>Krugiodendron ferreum</i> (Vahl) Urb. | |
| <i>Leucaena shannonii</i> Donn. Sm. | |
| <i>Nectandra coriacea</i> (Sw.) Griseb. | |
| <i>Rehdera trinervis</i> (S.F. Blake) Moldenke | |
| <i>Sebastiania adenophora</i> Pax & K. Hoffm. | |
| <i>Senna pallida</i> (Vahl) H. S. Irwin & Barneby | |
| <i>Senna racemosa</i> (Mill.) H.S. Irwin & Barneby | |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> Jacq. | |
| <i>Simarouba glauca</i> DC. | |
| <i>Swartzia cubensis</i> (Britt. & Wils.) Standl. | |
| <i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp. | |

D= diámetro a altura de pecho (1.30 m), H= altura (m), S= densidad de madera.

El análisis estadístico de los datos se efectuó mediante el programa Statistica Advanced. Cuando los datos cumplieron con los criterios de normalidad y homocedasticidad se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$) completamente aleatorio para determinar si existen efectos significativos en las variables biomasa aérea y contenido de carbono, entre los usos de la tierra, y cuando resultó significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS

Estructura horizontal y composición de especies leñosas

El área de conservación presentó mayor número de individuos por hectárea 1,564 ind/ha y con más categorías diamétricas 13, seguida por la aguda con 1,285 ind/ha y 9 categorías, después el área de regeneración con 1,181 ind/ha y 12 categorías. En las tres áreas el mayor número de individuos resultó en las categorías diamétricas 10, 15 y 20 cm. La tendencia de distribución de individuos de estas masas irregulares se asemejó a la "J" invertida, concentrándose dentro de las categorías diamétricas menores donde se realiza la etapa de crecimiento, es decir, se encuentran en fase activa de crecimiento de latizales esto se considera árboles en etapa juvenil con transición a juvenil-adultos (Figs. 2, 3 y 4).

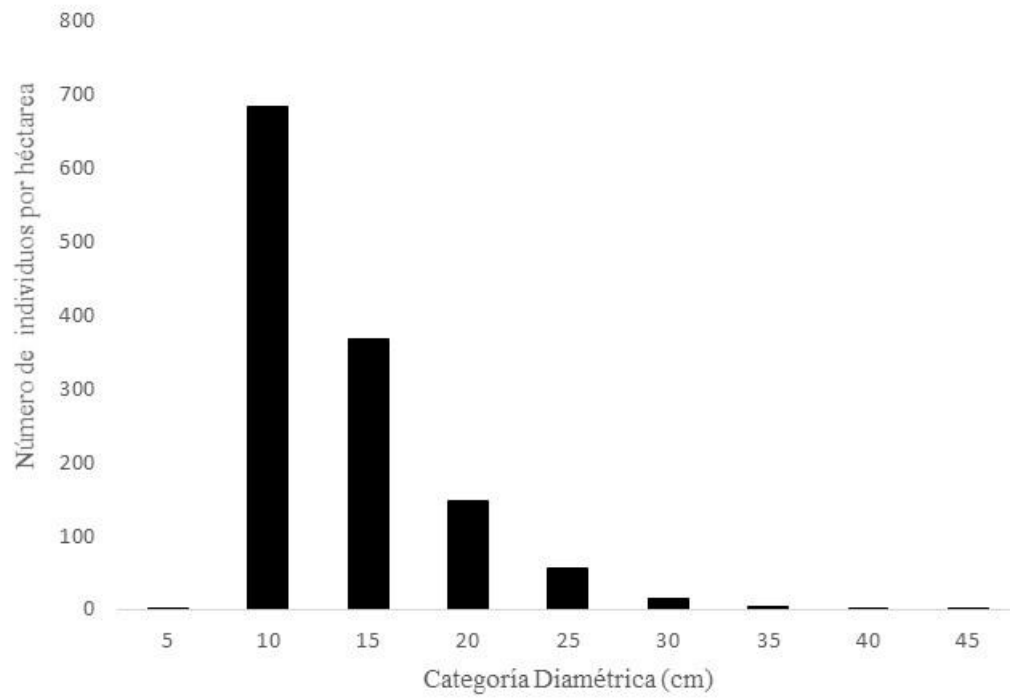


Fig. 2. Número de individuos por categoría diamétrica en el área de la aguada.

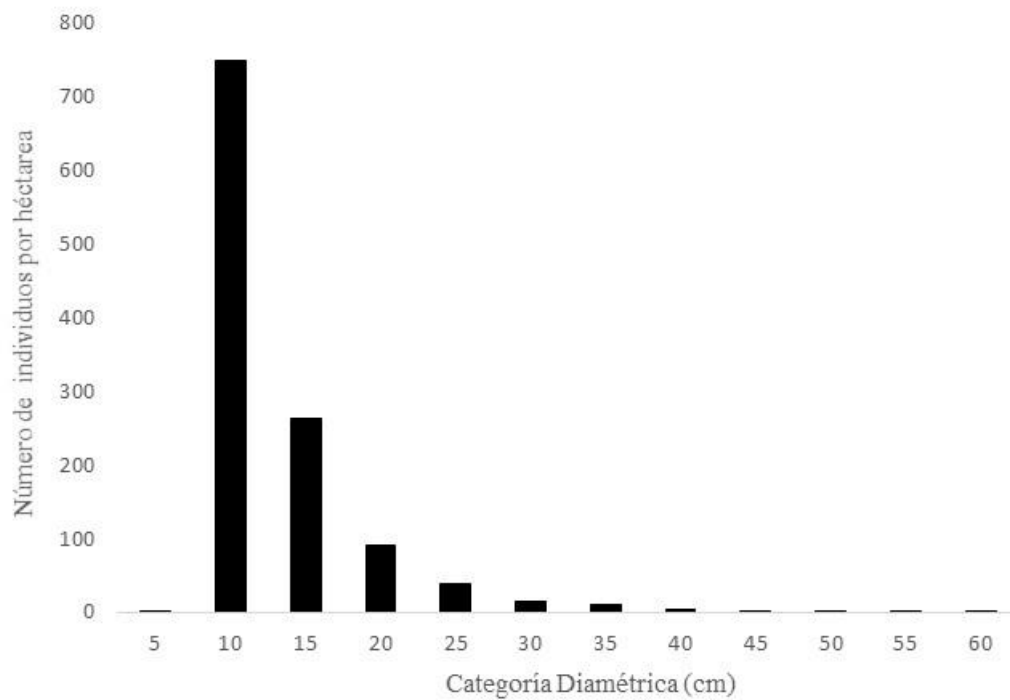


Fig. 3. Número de individuos por categoría diamétrica en el área de regeneración.

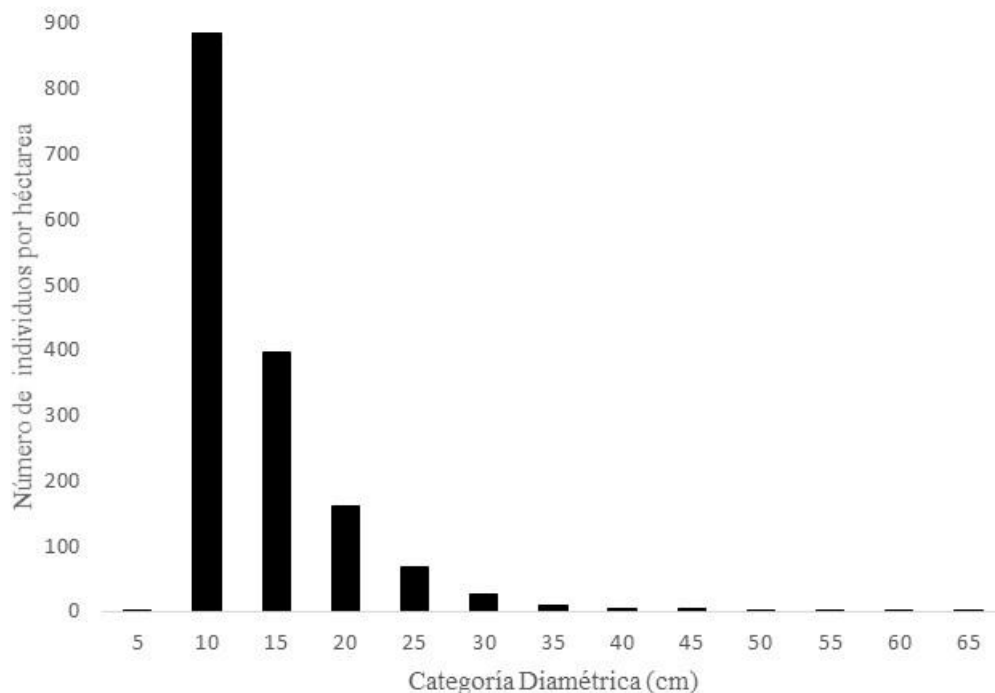


Fig. 4. Número de individuos por categoría diamétrica en el área de conservación.

En base a los datos obtenidos se registraron en el área de la aguada 45 especies pertenecientes a 43 géneros y 24 familias. Las familias más representativas fueron: Fabaceae con las especies: *Piscidia piscipula*, *Caesalpinia gaumeri* y *Lysiloma latisiliquum*, seguida de Burseraceae representada por *Bursera simaruba* y Polygonaceae por *Coccoloba cozumelensis*. Por otro lado, la especie *P. piscipula* resultó con el porcentaje mayor de abundancia relativa con 34.24% seguida por *C. gaumeri* con el 9.26% y *B. simaruba* con 7.94%. La cobertura de las copas se estimó en 10,562 m² ha⁻¹, siendo las especies más dominantes *P. piscipula* con 3,153 m² ha⁻¹ con 29.86% de dominancia relativa, seguida por *L. latisiliquum* mostrando 1,404 m² ha⁻¹ con 13.30% y *B. simaruba* con 1,038 m² ha⁻¹ aportando el 9.83%. En la frecuencia relativa 4 especies se registraron en todos los sitios de estudio: *B. simaruba*, *C. cozumelensis*, *P. piscipula* y *Vitex gaumeri* con una representatividad conjunta de 21.04% (5.26% cada una), le siguieron *C. gaumeri* y *L. latisiliquum* mostrando ausencia en un sitio teniendo una representación en conjunto de 9.48% (4.74% para cada una). El índice de valor de importancia reflejó que la especie de mayor peso ecológico es *P. piscipula* con 23.12%, seguida por *L. latisiliquum* con 8.42%, posteriormente a *B. simaruba* con 7.68%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 1.

En el área de regeneración se reconocieron 58 especies correspondientes a 55 géneros y 25 familias. Las familias y especies con los parámetros ecológicos superiores son Fabaceae caracterizada por *P. piscipula*, *Lonchocarpus xuul* y *C. gaumeri*, seguida de Polygonaceae conformada por *C. cozumelensis* y *Gymnopodium floribundum*, después Rubiaceae con *Machaonia lindeniana* y Burceraceae representada por *B. simaruba*. La especie *P. piscipula* obtuvo el valor mayor de abundancia relativa con el 21.94%, seguida por *L. xuul* con el 8.27% y *C. cozumelensis* con el 7.31%. Se estimó una cobertura de copas de 7,394 m² ha⁻¹; las especies con altos porcentajes de dominancia relativa fueron *P. piscipula* con 19.55% significando 1,446 m² ha⁻¹, seguida por *L. latisiliquum* con el 10.82% abarcando 800 m² ha⁻¹ y *C. gaumeri* presenta 7.47% equivalente a 552 m² ha⁻¹. *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* presentaron existencias en cada uno de los sitios muestreados obteniendo en conjunto 9.68% (4.84% cada una) de frecuencia relativa, continuando *L. xuul* con el 4.72% y con 4.60%

B. simaruba. *P. piscipula* presentó mayor valor del IVI con 15.45%; la segunda especie fue *L. xuul* con un valor de 6.73% y posteriormente *Lysiloma latisiliquum* con 6.39%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 2.

Para el caso del área de conservación, se identificaron 61 especies, 58 géneros y 28 familias. Las familias y especies más distintivas son: Fabaceae constituyéndose por *P. piscipula*, *C. gaumeri* y *L. xuul*. Le sigue la familia Polygonaceae representada por *C. cozumelensis* y *G. floribundum*, después Burseraceae con *B. simaruba* y Malvaceae con *Luehea speciosa*. La especie con la abundancia relativa más alta fue *P. piscipula* con el 19.37% del total. Le siguen las especies, *C. gaumeri* y *B. simaruba* con valores de 9% y 7.7% respectivamente. La cobertura de copas total de las especies manifestó ocupar 10,001 m² ha⁻¹; las especies con mayor dominancia relativa fueron: *P. piscipula* con 15.27% y 1,527 m² ha⁻¹, *L. latisiliquum* con el 10.95% siendo 1,095 m² ha⁻¹ y *C. gaumeri* con el 8.81% equivaliendo 882 m² ha⁻¹. En lo que respecta a las especies importantes en frecuencia relativa fueron: *C. cozumelensis* y *P. piscipula*; solo estuvieron ausentes en un sitio dando un total en conjunto del 8.62% (4.31% cada una). Se evidenciaron que tres especies comparten la misma cantidad de existencias faltando en dos sitios siendo estas *C. gaumeri*, *L. xuul* y *V. gaumeri* con 4.14%. En relación con el 100% del IVI, el 12.98% corresponde a *P. piscipula*, demostrando ser de mayor peso ecológico. La segunda especie resultó ser *C. gaumeri* con el 7.33% y la tercera *B. simaruba* con 6.49%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 3.

Biomasa aérea y contenido de carbono

En el área de la aguada, las especies con mayores cantidades de biomasa y carbono almacenado representando el 69% del total son: *P. piscipula* aportando 47.99 ton ha⁻¹ de biomasa correspondiente a 23.995 ton C ha⁻¹, le sigue *L. latisiliquum* contribuyendo con 44.75 ton B ha⁻¹ equivalente a 22.375 ton C ha⁻¹ y *C. gaumeri* con 22.57 ton B ha⁻¹ y 11.285 ton C ha⁻¹ (Anexo 4). **Para el área de regeneración** los resultados de valores mayores en biomasa y carbono por especie son: *L. latisiliquum* con 34.87 ton B ha⁻¹ y 17.435 ton C ha⁻¹, seguida de *P. piscipula* que registró en biomasa 22.75 ton ha⁻¹ y 11.375 ton C ha⁻¹; después *C. gaumeri* proporcionó 9.20 ton B ha⁻¹ correspondiente a 4.60 ton C ha⁻¹. Estas especies representan el 56% del total estimado y los valores demostraron ser inferiores a los cuantificados en el área de la aguada (Anexo 5). **En el área de conservación** los contenidos de biomasa y carbono superiores corresponden a cuatro especies que aportan el 53% del total: *L. latisiliquum* con un valor de 40.57 ton B ha⁻¹ y 20.285 ton C ha⁻¹; le sigue *P. piscipula* con 30.83 ton B ha⁻¹ y 15.415 ton C ha⁻¹, después *C. gaumeri* con 24.69 ton B ha⁻¹ y 12.345 ton C ha⁻¹ (Anexo 6).

En el área de la aguada, las categorías diamétricas 10, 15, 20 y 25 cm presentaron las mayores cantidades de biomasa siendo estas 34.2, 47.3, 39.9 y 24.6 ton B ha⁻¹, respectivamente, cuyas equivalencias en carbono almacenado son 17.1, 23.6, 20 y 12.3 ton C ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo, la categoría 5 contiene los menores con valores 0.04 ton B ha⁻¹ y 0.02 ton C ha⁻¹ (Figura 5). **Para el área de regeneración** los mayores valores de biomasa se presentaron en las clases diamétricas de 10 y 15 cm en donde se registró 28.4 y 25.7 ton ha⁻¹, respectivamente, lo cual equivale a 14.19 y 12.84 ton ha⁻¹ de carbono retenido (Fig. 6). **En el área de conservación** dentro de las categorías 10, 15, 20 y 25 cm se registraron los mayores valores de: 39.14, 42.12, 32.13 y 24.21 ton ha⁻¹ en biomasa, lo cual representa 19.57, 21.06, 16.07 y 12.11 ton ha⁻¹ de carbono almacenado, respectivamente (Fig. 7).

La biomasa y carbono almacenado fueron diferentes estadísticamente (ANOVA, Tukey, P≤0.05) entre las tres áreas estudiadas. Los mayores valores fueron para el área de conservación (Tabla 9) y los menores valores sin diferencia significativa fueron para la aguada y el área de conservación.

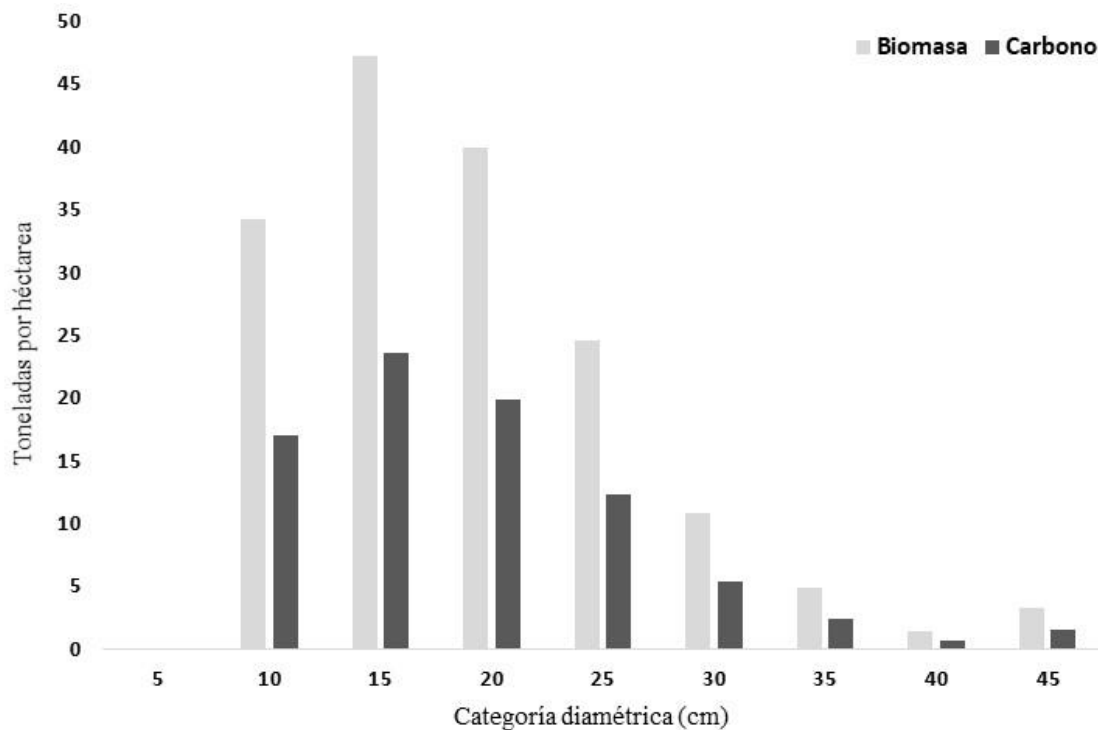


Fig. 5. Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en el área de la aguada.

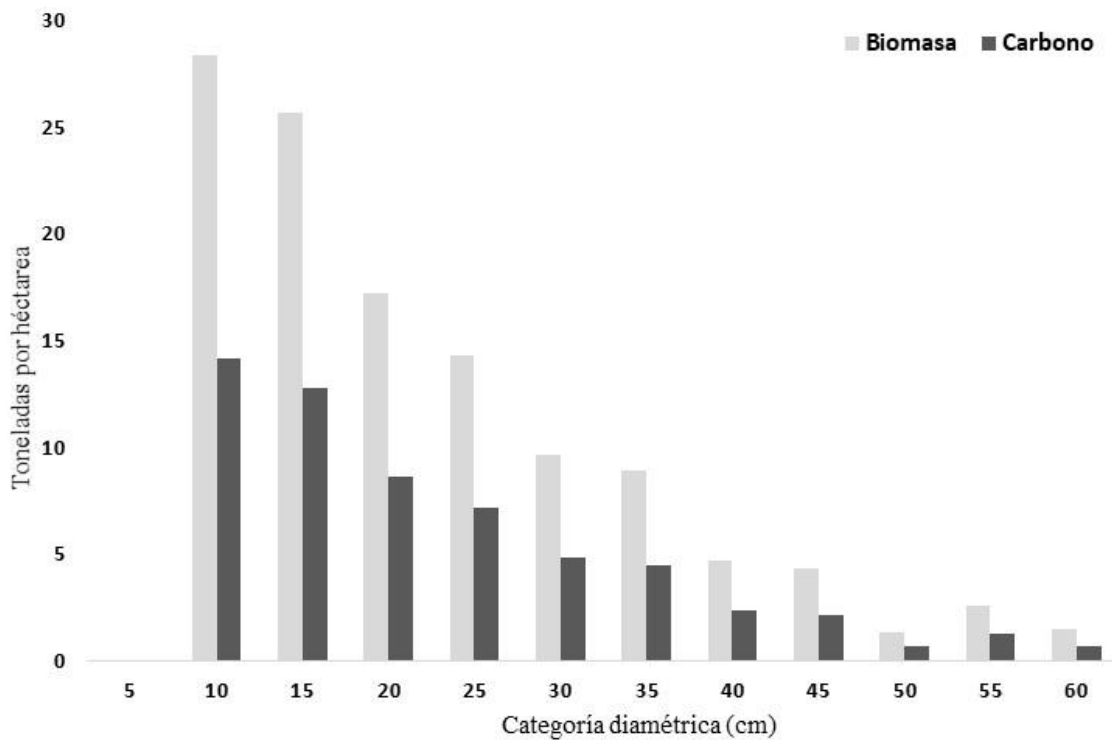


Fig. 6. Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de regeneración.

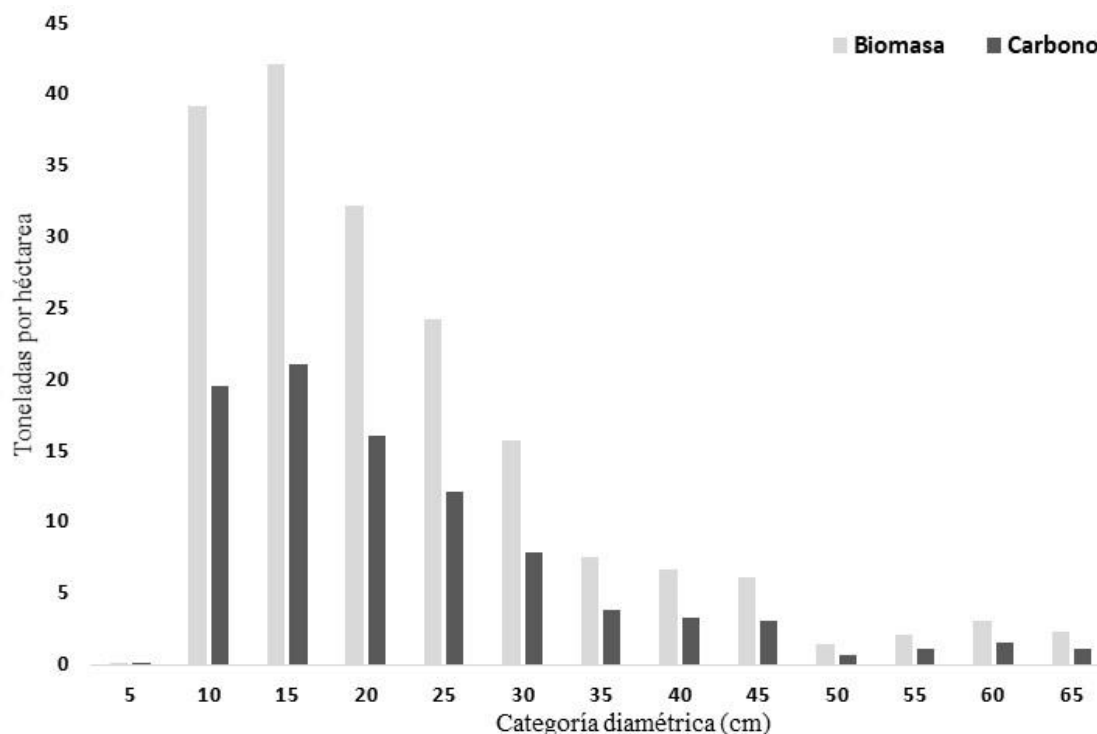


Fig. 7. Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de conservación.

Tabla 9. Biomasa aérea y contenido de carbono (ton ha^{-1}) por área.

| Área | Media | | Desviación estándar de la media | | Error estándar de la media | |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|---------|----------------------------|---------|
| | Biomasa | Carbono | Biomasa | Carbono | Biomasa | Carbono |
| Regeneración | 118.78 ^a | 59.39 ^a | 38.38 | 19.19 | 6.15 | 3.07 |
| Aguada | 166.50 ^b | 83.25 ^b | 42.81 | 21.40 | 13.54 | 6.77 |
| Conservación | 182.58 ^b | 91.29 ^b | 74.95 | 37.48 | 14.70 | 7.35 |

Letras iguales son estadísticamente similares ($P \leq 0.05$)

DISCUSIÓN

La composición de especies pertenecientes a las familias Fabaceae, Burseraceae, Polygonaceae y Rubiaceae, coincide con la de otros trabajos realizados en selvas en Yucatán (Chan, 2010; Gutiérrez-Báez *et al.*, 2011; López-Jiménez *et al.*, 2019; Zamora-Crescencio *et al.*, 2017; Zamora-Crescencio *et al.*, 2008). El número de especies fue menor en el área de la aguada donde las condiciones de disponibilidad de agua y humedad difieren en mayor cantidad con las otras zonas pero que influyen en el establecimiento y desarrollo de la diversidad arbórea. Las especies que se registraron en la mayoría de los sitios de las tres áreas son *Piscidia piscipula* y *Coccoloba cozumelensis*.

Los valores obtenidos de abundancia relativa en las tres áreas de estudio indican tener rangos similares a los determinados por Zamora-Crescencio *et al.* (2008) en una vegetación tipo selva mediana subcaducifolia en el municipio de Tzucacab localizado al sur del estado de Yucatán. Aquí las especies más representativas fueron *Bursera simaruba* el 13.17%, *Croton reflexifolius* con 22.01%, *Diospyros cuneata* el 17.60% y *Gymnanthes lucida* 43.22%, estos valores son mayores a los descritos en este trabajo. En otro estudio realizado por Zamora-Crescencio *et al.* (2017) al evaluar los parámetros estructurales de la selva mediana subperennifolia en el ejido Bethania, municipio de Campeche, reportan valores menores, tomando como ejemplo, *P. piscipula* con 1.40% y *C. cozumelensis* con 3.50%. Por otra parte, Chan (2010) analizó la estructura en la Reserva de la Biosfera Calakmul cita para la especie *P. piscipula* porcentajes menores a los reportados en este estudio, para *B. simaruba* reportan valores superiores. En general se mostró un comportamiento característico de las selvas tropicales en donde unas pocas especies son las más abundantes (Gutiérrez-Báez *et al.*, 2011), la densidad de algunas de estas permite suponer que son de rápido crecimiento (González-Iturbe *et al.*, 2002; Zamora-Crescencio *et al.*, 2008).

De acuerdo con el estudio de Chan (2010) referente a la dominancia relativa en diferentes edades de las especies *L. latisiliquum*, *B. simaruba* y *P. piscipula*, cita valores mayores a los reportados en este estudio. En el trabajo elaborado por Díaz *et al.* (2002) en la selva baja subperennifolia del ejido La Guadalupe en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, estimaron valores menores a los obtenidos en esta investigación. El área de regeneración presentó menor cobertura de copa lo cual se relaciona con el impacto de las actividades que se realizaban en el pasado (Esparza-Olguín & Martínez-Romero, 2018).

En la investigación de Zamora-Crescencio *et al.* (2008) reportan que las especies de mayor frecuencia relativa son: *L. latisiliquum*, *P. piscipula* y *C. reflexifolius* con 9.02, 9.89 y 8.15%, respectivamente. Dichos valores son superiores a los calculados en la presente investigación. Al comparar los resultados de las frecuencias del presente trabajo con los de Díaz *et al.* (2002), los sitios de la aguada y conservación demostraron ser mayores, el de regeneración fue menor.

En el estudio de Chan (2010) reporta que las especies con el índice de valor de importancia mayor son: *B. simaruba* con 9.45% y *P. piscipula* con 7.06%. En la investigación de Tadeo-Noble *et al.* (2019) mencionan que *B. simaruba* obtuvo 16.6%, *M. zapota* el 11.4% y *P. reticulata* 13.5% de índice de valor de importancia. Estos porcentajes descritos en comparación con los rangos de valores obtenidos en este trabajo en algunos casos son menores mientras que en otros mayores, se establece que se encuentran en un rango de variabilidad reducida.

Los resultados obtenidos de biomasa por especie son mayores a los reportados por Ramírez-Guardado (2015) en la Reserva Biocultural Kaxil-Kiuic en la Península de Yucatán donde estimó los siguientes valores: *L. latisiliquum* con 15.38 ton ha⁻¹, *C. gaumeri* 13.15 ton ha⁻¹ y *P. piscipula* con 7.45 ton ha⁻¹. En otra investigación realizada por Bautista-Hernández & Torres-Pérez (2003) citan cantidades para las especies *Manilkara zapota* de 157.95 ton B ha⁻¹ equivalente a 75.64 ton C ha⁻¹, *Brosimum alicastrum* con 61.07 ton B ha⁻¹ y 27.53 ton C ha⁻¹ y para *Swartzia cubensis* 47.33 ton B ha⁻¹ con 24.13 ton C ha⁻¹, estas son mayores a las de este trabajo.

Esparza-Olguín & Martínez-Romero (2018) reportaron para la vegetación tipo selva inundable un contenido de biomasa y carbono en la categoría diamétrica >31.5 cm mayor al de este estudio, pero el de las otras son menores. Las estimaciones realizadas por Esparza-Olguín (2019) por categorías diamétricas son menores a las del presente trabajo. En la categoría <2.5 cm estimo de biomasa 0.063 ton ha⁻¹ con 0.030 ton C ha⁻¹, para la clase >2.5 a 5 cm 0.183 ton B ha⁻¹ con 0.086 ton C ha⁻¹ y en >5 a 9 cm 0.563 ton B ha⁻¹ equivaliendo 0.265 ton C ha⁻¹. En el área de la aguada los individuos jóvenes están en etapa de desarrollo, el proceso de creación de biomasa y por ende la retención del elemento C se encuentran en un estado de productividad.

Eaton & Lawrence (2009) realizaron un estudio de contenido de carbono en una selva mediana subperennifolia al sureste de Yucatán en donde reportan 60.9 ton ha^{-1} . Ramírez-Guardado (2015) cita para una selva mediana subcaducifolia en la Península de Yucatán, una biomasa promedio de $106.28 \text{ ton ha}^{-1}$ cuyo equivalente es $57.60 \text{ ton ha}^{-1}$ de carbono almacenado. En otra investigación realizada al sur de la Península de Yucatán en una selva tropical estacionalmente seca con vegetación secundaria por parte de Dai *et al.* (2014) obtuvieron en promedio una reserva de carbono de 56.6 ton ha^{-1} . Las tres estimaciones de los trabajos mencionados resultan ser menores a las obtenidas para las áreas de conservación y aguada. Sin embargo, son similares a el área de regeneración. Estas realidades pueden atribuirse a que las áreas tuvieron algún tipo de perturbación producto de las actividades humanas. Además, estos resultados coinciden con los escenarios de cambio de uso de suelo en selvas medianas en Yucatán, los cuales indican que las perturbaciones tendrían un efecto mayor en la biomasa que en la riqueza de especies (Dupuy-Rada *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Se registró para el área de la aguada un total de 45 especies, en el área de regeneración 58 especies mientras que en el área de conservación resultó la de mayor cantidad con 61 especies. Donde la especie más representativa y de mayor importancia ecológica según los parámetros evaluados para las tres áreas de estudio es *Piscidia piscipula*. En el área de regeneración después de un tiempo de 30 años de no practicar actividades, ha permitido la recuperación de las especies manteniendo su composición en un 90% respecto al área de conservación. *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum* y *Caesalpinia gaumeri* son las especies de mayor contribución en biomasa y contenido de carbono en las tres áreas. Los contenidos superiores de carbono en las tres áreas de estudio se presentan en los individuos de las categorías intermedias (10 a 25 cm). Las estimaciones de biomasa y carbono almacenado en las áreas de estudio mostraron que la mayor cantidad se encuentra en el área de conservación seguido por el área de la aguada y posteriormente el sitio de regeneración. La recuperación hacia un estado más conservado de la selva toma muchos años, tal como se puede apreciar con el área de regeneración que alcanza un 65% de lo que se tiene de biomasa y carbono en el área conservada.

AGRADECIMIENTOS

Al Rancho San Miguel en Tizimín, Yucatán, por el permiso para realizar esta investigación, además, a todo el personal local quienes amablemente brindaron su apoyo para el trabajo en campo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada al primer autor para realizar una Maestría en Ciencias Forestales.

LITERATURA CITADA

- Ajit, Dhyani, S. K., Ramnewaj, Handa, A. K., Prasad, R., Alam, B., Rizvi, R. H., Gupta, G., Pandey, K. K., Jain, A., & Uma. (2013). Modeling analysis of potential carbon sequestration under existing agroforestry systems in three districts of Indo-gangetic plains in India. *Agroforestry Systems*, 87(5), 1129–1146. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9625-x>
- Bautista-Hernández, J., & Torres-Pérez, J. A. (2003). Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 9(1), 69–75. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=27&articulo=389>

- Brown S., Gillespie, A. J., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35, 881–902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>
- Cairns, M. A., Olmsted, I., Granados, J., & Argaez, J. (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 186(1–3), 125–132. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00229-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00229-9)
- Chan, D. A. M. (2010). *Diversidad florística y funcional a través de una cronosecuencia de la selva mediana subperennifolia en la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., ter Steege, H., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16, 2356–2367.
- Dai, Z., Birdsey, R. A., Johnson, K. D., Dupuy, J. M., Hernandez-Stefanoni, J. L., & Richardson, K. (2014). Modeling Carbon Stocks in a Secondary Tropical Dry Forest in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(4), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1925-x>
- Díaz, G. J., Castillo, A. O., & García, G. G. (2002). Distribución espacial y estructura arbórea de la selva baja subperennifolia en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 18, 11–28. <https://doi.org/10.19136/era.a18n35.235>
- Dupuy-Rada, J. M., Hernández-Stefanoni, J. L., Hernández-Juárez, R., Tun-Dzul, F., & May-Pat, F. (2012). Efectos del cambio de uso del suelo en la biomasa y diversidad de plantas leñosas en un paisaje de bosque tropical seco en Yucatán. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 4, 130–140. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1242/1/id26022_Dupuy_Juan.pdf
- Eaton, J. M., & Lawrence, D. (2009). Loss of carbon sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 949–958. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.019>
- Esparza-Olguín, L. G., & Martínez-Romero, E. (2018). Diversidad y carbono almacenado en el área forestal permanente de Álvaro Obregón, Calakmul, Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 152–186. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.141>
- Esparza-Olguín, L. G. (2019). Diversidad y biomasa de la selva circundante al Volcán de los Murciélagos, en Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 79–90. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1986>
- Fonseca, W., Rey-Benayas, J. M., & Alice, F. E. (2011). Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1400–1408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.036>
- Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*, 93, 1–14. http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia_RGS_final.pdf
- González-Iturbe, J. A., Olmsted, I., & Tun-Dzul, F. (2002). Tropical dry forest recovery after long term Henequen (sisal, *Agave fourcroydes* Lem.) plantation in northern Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 167(1–3), 67–82. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00689-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00689-2)
- Gutiérrez-Báez, C., Ortiz-Díaz, J. J., Flores-Guido, J. S., Zamora-Crescencio, P., Domínguez-Carrasco, M. R., & Villegas, P. (2011). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia de Nohalal-Sudzal Chico, Tekax, Yucatán, México. *Foresta Veracruzana*, 13, 7–14. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49719786002.pdf>
- Houghton, R. A., Byers, B., & Nassikas, A. A. (2015). A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO₂. *Nature Climate Change*, 5(12), 1022–1023. <https://doi.org/10.1038/nclimate2869>

Recibido:
7/enero/2022

Aceptado:
13/julio/2022

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tizimín, Yucatán*. www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/31/31096.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- López-Jiménez, L. N., Durán-García, R., & Dupuy-Rada, J. M. (2019). Recuperación de la estructura, diversidad y composición en una selva mediana subperennifolia en Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511587>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. El País. <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Picard, N., Saint, A. L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- Ramírez-Guardado, M. A. (2015). *Estimación del carbono retenido en la biomasa aérea en una selva tropical de Yucatán, México*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Meza-Rangel, J., Aguirre-Calderón, O., & Razo-Zarate, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4, 215–222. <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/127/59>
- Tadeo-Noble, A. E., Valdez-Hernández, J. I., Beltrán-Rodríguez, L., & García-Moya, E. (2019). Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(2), 129–140. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000200129>
- Zamora-Crescencio, P., García-Gil, G., Flores-Guido, J. S., & Ortiz, J. J. (2008). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*, 26, 39–66. <http://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/759/982>
- Zamora-Crescencio, P., Rico-Gray, V., Barrientos-Medina, R. C., Puc-Garrido, E. C., Villegas, P., Domínguez-Carrasco, M. R., & Gutiérrez-Báez, C. (2017). Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica*, 43, 67–86. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.3>

Anexo 1. Parámetros ecológicos de las especies del área de la aguada.

| Espece | Ab rel (%) | Dom rel (%) | Fr rel (%) | IVI (%) |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| <i>Bauhinia variegata</i> | 1.09 | 0.42 | 1.05 | 0.85 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 7.94 | 9.83 | 5.26 | 7.68 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 9.26 | 7.83 | 4.74 | 7.28 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.08 | 0.05 | 0.53 | 0.22 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 1.87 | 2.12 | 3.68 | 2.56 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.54 | 0.46 | 2.11 | 1.04 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.54 | 0.51 | 2.11 | 1.05 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.23 | 0.24 | 1.05 | 0.51 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 5.53 | 4.76 | 5.26 | 5.18 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 1.01 | 0.58 | 1.58 | 1.06 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 0.31 | 0.42 | 1.05 | 0.60 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 1.56 | 0.94 | 3.16 | 1.89 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.08 | 0.04 | 0.53 | 0.21 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.16 | 0.23 | 0.53 | 0.30 |
| <i>Esenbeckia pentaphylla</i> | 0.08 | 0.05 | 0.53 | 0.22 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.31 | 0.20 | 2.11 | 0.87 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 2.65 | 2.89 | 4.21 | 3.25 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 3.27 | 1.81 | 3.16 | 2.75 |
| <i>Hamelia patens</i> | 0.47 | 0.25 | 0.53 | 0.42 |
| <i>Hampea trilobata</i> | 0.16 | 0.26 | 1.05 | 0.49 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.23 | 0.13 | 1.58 | 0.65 |
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.62 | 0.53 | 1.58 | 0.91 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 0.86 | 0.75 | 3.68 | 1.76 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 2.80 | 2.53 | 3.16 | 2.83 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 3.74 | 3.22 | 3.16 | 3.37 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 7.24 | 13.30 | 4.74 | 8.42 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 0.23 | 0.11 | 0.53 | 0.29 |
| <i>Malmea depressa</i> | 0.23 | 0.21 | 1.05 | 0.50 |
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 0.47 | 0.40 | 2.11 | 0.99 |
| <i>Metopium browni</i> | 0.39 | 0.66 | 1.05 | 0.70 |
| <i>Nectandra coriacea</i> | 0.08 | 0.11 | 0.53 | 0.24 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 34.24 | 29.85 | 5.26 | 23.12 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 0.78 | 3.37 | 1.58 | 1.91 |
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 1.01 | 0.64 | 2.63 | 1.43 |
| <i>Vitex gaumeri</i> | 4.28 | 4.92 | 5.26 | 4.82 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.23 | 0.48 | 1.05 | 0.59 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 1.32 | 0.84 | 4.21 | 2.12 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 0.23 | 0.21 | 1.05 | 0.50 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 1.25 | 1.08 | 3.16 | 1.83 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.16 | 0.11 | 1.05 | 0.44 |
| <i>Senna racemosa</i> | 0.54 | 0.39 | 1.05 | 0.66 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.08 | 0.06 | 0.53 | 0.22 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.54 | 0.54 | 2.11 | 1.06 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.78 | 0.80 | 1.58 | 1.05 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 0.54 | 0.87 | 2.11 | 1.17 |

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

Anexo 2. Parámetros ecológicos de las especies del área de regeneración.

| Especie | Ab rel (%) | Dom rel (%) | Fr rel (%) | IVI (%) |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| <i>Albizia tomentosa</i> | 0.04 | 0.05 | 0.25 | 0.11 |
| <i>Astronium graveolens</i> | 0.09 | 0.16 | 0.25 | 0.17 |
| <i>Bauhinia variegata</i> | 0.46 | 0.35 | 0.99 | 0.60 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | 0.13 | 0.20 | 0.37 | 0.23 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 4.99 | 5.39 | 4.60 | 4.99 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 7.18 | 7.47 | 4.47 | 6.37 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.33 | 0.37 | 0.75 | 0.48 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 0.11 | 0.08 | 0.50 | 0.23 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.28 | 0.25 | 0.87 | 0.47 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | 0.02 | 0.19 | 0.12 | 0.11 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.61 | 0.54 | 1.49 | 0.88 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.13 | 0.09 | 0.75 | 0.32 |
| <i>Coccoloba acapulcensis</i> | 0.15 | 0.13 | 0.50 | 0.26 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 7.31 | 6.15 | 4.84 | 6.10 |
| <i>Colubrina arborescens</i> | 0.04 | 0.04 | 0.12 | 0.07 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0.20 | 0.16 | 0.87 | 0.41 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 0.13 | 0.33 | 0.50 | 0.32 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 0.07 | 0.02 | 0.37 | 0.15 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 3.86 | 2.78 | 4.47 | 3.70 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.20 | 0.19 | 0.99 | 0.46 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.17 | 0.14 | 0.87 | 0.39 |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0.02 | 0.01 | 0.12 | 0.05 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.52 | 0.62 | 1.74 | 0.96 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 2.47 | 2.06 | 4.47 | 3.00 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 8.27 | 7.19 | 4.72 | 6.73 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 2.30 | 2.40 | 1.99 | 2.23 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 4.02 | 10.82 | 4.35 | 6.39 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 6.62 | 5.78 | 3.98 | 5.46 |
| <i>Malmea deppesa</i> | 0.15 | 0.18 | 0.50 | 0.28 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 0.33 | 0.56 | 1.12 | 0.67 |
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 0.48 | 0.45 | 1.49 | 0.81 |
| <i>Metopium brownei</i> | 1.89 | 2.86 | 2.98 | 2.58 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 21.94 | 19.55 | 4.84 | 15.45 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 0.30 | 0.37 | 0.87 | 0.52 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 2.80 | 2.16 | 3.98 | 2.98 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 0.54 | 0.67 | 1.86 | 1.03 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 1.50 | 1.28 | 2.98 | 1.92 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.82 | 0.59 | 1.61 | 1.01 |
| <i>Sebastiania adenophora</i> | 0.02 | 0.02 | 0.12 | 0.05 |
| <i>Senna pallida</i> | 0.02 | 0.02 | 0.12 | 0.06 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.11 | 0.09 | 0.62 | 0.27 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.22 | 0.22 | 0.75 | 0.39 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.28 | 0.24 | 1.12 | 0.55 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 1.28 | 1.23 | 3.11 | 1.87 |
| <i>Talisia olivaeformis</i> | 0.11 | 0.08 | 0.25 | 0.15 |
| <i>Tecoma stans</i> | 0.17 | 0.15 | 0.87 | 0.40 |
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 2.67 | 2.39 | 4.10 | 3.05 |
| <i>Vitex gaumeri Greenmn</i> | 0.96 | 1.08 | 2.61 | 1.55 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.96 | 0.80 | 1.74 | 1.17 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 3.91 | 3.77 | 4.22 | 3.97 |
| <i>Gymnanthes lucida</i> | 0.02 | 0.03 | 0.12 | 0.06 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 6.66 | 6.18 | 4.35 | 5.73 |

| Especie | Ab rel (%) | Dom rel (%) | Fr rel (%) | IVI (%) |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| <i>Haematoxylum campechianum</i> | 0.04 | 0.07 | 0.12 | 0.08 |
| <i>Hampea trilobata</i> | 0.04 | 0.03 | 0.25 | 0.11 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.09 | 0.05 | 0.37 | 0.17 |
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.74 | 0.67 | 1.61 | 1.01 |
| <i>Krugiodendron ferreum</i> | 0.09 | 0.10 | 0.25 | 0.14 |
| <i>Leucaena shannonii</i> | 0.13 | 0.13 | 0.75 | 0.33 |

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

Anexo 3. Parámetros ecológicos de las especies del área de conservación.

| Especie | Ab rel (%) | Dom rel (%) | Fr rel (%) | IVI (%) |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| <i>Acacia gaumeri</i> | 0.02 | 0.02 | 0.17 | 0.07 |
| <i>Albizia tomentosa</i> | 0.05 | 0.03 | 0.34 | 0.14 |
| <i>Astronium graveolens</i> | 0.02 | 0.02 | 0.17 | 0.07 |
| <i>Bauhinia variegata</i> | 0.44 | 0.35 | 0.69 | 0.49 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | 0.37 | 0.79 | 0.69 | 0.62 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 7.70 | 7.81 | 3.97 | 6.49 |
| <i>Byrsonima bucidifolia</i> | 0.10 | 0.15 | 0.52 | 0.26 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 9.03 | 8.81 | 4.14 | 7.33 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.20 | 0.15 | 0.86 | 0.40 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 0.39 | 0.35 | 1.21 | 0.65 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.37 | 0.42 | 1.38 | 0.72 |
| <i>Cecropia peltata</i> | 0.02 | 0.09 | 0.17 | 0.10 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | 0.02 | 0.03 | 0.17 | 0.08 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.64 | 0.48 | 2.07 | 1.06 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.20 | 0.21 | 0.86 | 0.42 |
| <i>Coccoloba acapulcensis</i> | 0.39 | 0.42 | 1.38 | 0.73 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 6.74 | 5.48 | 4.31 | 5.51 |
| <i>Cochlospermum vitifolium</i> | 0.20 | 0.19 | 0.86 | 0.42 |
| <i>Colubrina arborescens</i> | 0.02 | 0.04 | 0.17 | 0.08 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0.15 | 0.15 | 0.52 | 0.27 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 0.07 | 0.06 | 0.52 | 0.22 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 0.30 | 0.42 | 0.52 | 0.41 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 3.52 | 2.94 | 3.79 | 3.42 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.44 | 0.24 | 1.03 | 0.57 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.05 | 0.03 | 0.34 | 0.14 |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0.02 | 0.01 | 0.17 | 0.07 |
| <i>Esenbeckia pentaphylla</i> | 0.17 | 0.11 | 0.86 | 0.38 |
| <i>Eugenia buxifolia</i> | 0.10 | 0.03 | 0.34 | 0.16 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.27 | 0.34 | 1.03 | 0.55 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 2.29 | 1.94 | 3.28 | 2.50 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 5.39 | 5.01 | 3.62 | 4.67 |
| <i>Haematoxylum campechianum</i> | 0.17 | 0.17 | 0.34 | 0.23 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.15 | 0.11 | 1.03 | 0.43 |
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.64 | 0.54 | 1.38 | 0.85 |
| <i>Krugiodendron ferreum</i> | 0.02 | 0.02 | 0.17 | 0.07 |
| <i>Leucaena shannonii</i> | 0.15 | 0.22 | 0.86 | 0.41 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 2.36 | 2.01 | 3.79 | 2.72 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 5.73 | 4.74 | 4.14 | 4.87 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 5.46 | 5.56 | 3.10 | 4.71 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 4.28 | 10.95 | 3.79 | 6.34 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 1.53 | 1.01 | 2.41 | 1.65 |

| Especie | Ab rel (%) | Dom rel (%) | Fr rel (%) | IVI (%) |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| <i>Malmea depressa</i> | 1.03 | 1.17 | 1.38 | 1.20 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 1.85 | 2.58 | 2.07 | 2.17 |
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 0.44 | 0.33 | 1.21 | 0.66 |
| <i>Metopium brownei</i> | 2.39 | 2.69 | 2.93 | 2.67 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 19.37 | 15.27 | 4.31 | 12.98 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 0.81 | 1.36 | 1.55 | 1.24 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 1.53 | 1.18 | 3.10 | 1.94 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 0.66 | 0.83 | 1.38 | 0.96 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 2.95 | 2.41 | 3.28 | 2.88 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.22 | 0.14 | 0.86 | 0.41 |
| <i>Sebastiania adenophora</i> | 0.12 | 0.13 | 0.52 | 0.26 |
| <i>Senna racemosa</i> | 0.02 | 0.03 | 0.17 | 0.08 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.12 | 0.08 | 0.69 | 0.30 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.42 | 0.40 | 1.21 | 0.67 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.69 | 0.59 | 1.90 | 1.06 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 1.23 | 1.39 | 2.93 | 1.85 |
| <i>Talisia olivaeformis</i> | 0.07 | 0.09 | 0.34 | 0.17 |
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 2.12 | 2.17 | 2.93 | 2.41 |
| <i>Vitex gaumeri</i> | 3.22 | 4.27 | 4.14 | 3.88 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.52 | 0.41 | 1.90 | 0.94 |

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

Anexo 4. Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de la aguada.

| Especie | Ton B ha ⁻¹ | Ton C ha ⁻¹ |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Piscidia piscipula</i> | 47.99 | 23.995 |
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 44.75 | 22.375 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 22.57 | 11.285 |
| <i>Vitex gaumeri</i> | 8.48 | 4.24 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 5.52 | 2.76 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 5.42 | 2.71 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 3.38 | 1.69 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 2.73 | 1.365 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 2.28 | 1.14 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 2.26 | 1.13 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 1.84 | 0.92 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 1.8 | 0.9 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 1.42 | 0.71 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 1.4 | 0.7 |
| <i>Hamelia patens</i> | 1.3 | 0.65 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 1.09 | 0.545 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 1.01 | 0.505 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 1.01 | 0.505 |
| <i>Metopium brownei</i> | 0.91 | 0.455 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 0.9 | 0.45 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 0.86 | 0.43 |
| <i>Bauhinia variegata</i> | 0.85 | 0.425 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.79 | 0.395 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.76 | 0.38 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 0.65 | 0.325 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.59 | 0.295 |
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 0.59 | 0.295 |

| Especie | Ton B ha⁻¹ | Ton C ha⁻¹ |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 0.52 | 0.26 |
| <i>Senna racemosa</i> | 0.46 | 0.23 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.44 | 0.22 |
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.39 | 0.195 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.31 | 0.155 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.18 | 0.09 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 0.16 | 0.08 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.14 | 0.07 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.12 | 0.06 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.12 | 0.06 |
| <i>Malmea depressa</i> | 0.09 | 0.045 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.09 | 0.045 |
| <i>Esenbeckia pentaphylla</i> | 0.08 | 0.04 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.07 | 0.035 |
| <i>Nectandra coriacea</i> | 0.07 | 0.035 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.05 | 0.025 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.03 | 0.015 |
| <i>Hampea trilobata</i> | 0.03 | 0.015 |

Anexo 5. Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de regeneración.

| Especie | Ton B ha⁻¹ | Ton C ha⁻¹ |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 34.87 | 17.435 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 22.75 | 11.375 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 9.2 | 4.6 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 5.21 | 2.605 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 5.09 | 2.545 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 3.74 | 1.87 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 3.38 | 1.69 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 3.32 | 1.66 |
| <i>Metopium brownei</i> | 3.3 | 1.65 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 2.61 | 1.305 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 2.41 | 1.205 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 2.28 | 1.14 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 1.83 | 0.915 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 1.76 | 0.88 |
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 1.71 | 0.855 |
| <i>Vitex gaumeri</i> | 1.39 | 0.695 |
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 1.35 | 0.675 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 1.28 | 0.64 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 1.09 | 0.545 |
| <i>Albizia tomentosa</i> | 1.06 | 0.53 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 0.98 | 0.49 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.83 | 0.415 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.77 | 0.385 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 0.67 | 0.335 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 0.65 | 0.325 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.57 | 0.285 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.52 | 0.26 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.39 | 0.195 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 0.35 | 0.175 |
| <i>Astronium graveolens</i> | 0.34 | 0.17 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.29 | 0.145 |

| Especie | Ton B ha ⁻¹ | Ton C ha ⁻¹ |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.28 | 0.14 |
| <i>Bauhinia variegata</i> | 0.25 | 0.125 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.2 | 0.1 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0.19 | 0.095 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 0.18 | 0.09 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.15 | 0.075 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | 0.15 | 0.075 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | 0.14 | 0.07 |
| <i>Talisia olivaeformis</i> | 0.13 | 0.065 |
| <i>Krugiodendron ferreum</i> | 0.13 | 0.065 |
| <i>Leucaena shannonii</i> | 0.12 | 0.06 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.11 | 0.055 |
| <i>Tecoma stans</i> | 0.1 | 0.05 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.09 | 0.045 |
| <i>Coccoloba acapulcensis</i> | 0.08 | 0.04 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.07 | 0.035 |
| <i>Malmea depressa</i> | 0.07 | 0.035 |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0.07 | 0.035 |
| <i>Colubrina arborescens</i> | 0.06 | 0.03 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.05 | 0.025 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 0.052 | 0.026 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.052 | 0.026 |
| <i>Sebastiania adenophora</i> | 0.025 | 0.0125 |
| <i>Haematoxylum campechianum</i> | 0.021 | 0.0105 |
| <i>Senna pallida</i> | 0.009 | 0.0045 |
| <i>Hampea trilobata</i> | 0.008 | 0.004 |
| <i>Gymnanthes lucida</i> | 0.003 | 0.0015 |

Anexo 6. Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de conservación.

| Especie | Ton B ha ⁻¹ | Ton C ha ⁻¹ |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Lysiloma latisiliquum</i> | 40.57 | 20.285 |
| <i>Piscidia piscipula</i> | 30.83 | 15.415 |
| <i>Caesalpinia gaumeri</i> | 24.69 | 12.345 |
| <i>Vitex gaumeri</i> | 10.03 | 5.015 |
| <i>Bursera simaruba</i> | 7.50 | 3.75 |
| <i>Coccoloba cozumelensis</i> | 5.82 | 2.91 |
| <i>Luehea speciosa</i> | 5.57 | 2.785 |
| <i>Metopium brownei</i> | 5.46 | 2.73 |
| <i>Lonchocarpus xuul</i> | 5.08 | 2.54 |
| <i>Gymnopodium floribundum</i> | 4.77 | 2.385 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 3.64 | 1.82 |
| <i>Lonchocarpus rugosus</i> | 3.60 | 1.8 |
| <i>Manilkara zapota</i> | 3.52 | 1.76 |
| <i>Psidium sartorianum</i> | 3.45 | 1.725 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | 2.71 | 1.355 |
| <i>Swartzia cubensis</i> | 2.63 | 1.315 |
| <i>Platymiscium yucatanum</i> | 2.58 | 1.29 |
| <i>Pithecellobium albicans</i> | 2.39 | 1.195 |
| <i>Guettarda combsii</i> | 2.14 | 1.07 |
| <i>Thouinia paucidentata</i> | 1.87 | 0.935 |
| <i>Diospyros cuneata</i> | 1.86 | 0.93 |
| <i>Pouteria unilocularis</i> | 1.76 | 0.88 |

| Especie | Ton B ha ⁻¹ | Ton C ha ⁻¹ |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Margaritaria nobilis</i> | 1.15 | 0.575 |
| <i>Machaonia lindeniana</i> | 0.81 | 0.405 |
| <i>Casimiroa tetrameria</i> | 0.67 | 0.335 |
| <i>Bauhinia variegata</i> | 0.59 | 0.295 |
| <i>Chloroleucon mangense</i> | 0.56 | 0.28 |
| <i>Cascabela gaumeri</i> | 0.51 | 0.255 |
| <i>Zuelania guidonia</i> | 0.50 | 0.25 |
| <i>Diphysa carthagenensis</i> | 0.50 | 0.25 |
| <i>Malmea depressa</i> | 0.47 | 0.235 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0.38 | 0.19 |
| <i>Leucaena shannonii</i> | 0.37 | 0.185 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | 0.33 | 0.165 |
| <i>Jatropha gaumeri</i> | 0.32 | 0.16 |
| <i>Coccoloba acapulcensis</i> | 0.31 | 0.155 |
| <i>Simarouba glauca</i> | 0.31 | 0.155 |
| <i>Caesalpinia vesicaria</i> | 0.29 | 0.145 |
| <i>Ficus cotinifolia</i> | 0.25 | 0.125 |
| <i>Cochlospermum vitifolium</i> | 0.20 | 0.1 |
| <i>Haematoxylum campechianum</i> | 0.20 | 0.1 |
| <i>Albizia tomentosa</i> | 0.16 | 0.08 |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0.16 | 0.08 |
| <i>Byrsonima bucidifolia</i> | 0.16 | 0.08 |
| <i>Talisia olivaeformis</i> | 0.14 | 0.07 |
| <i>Esenbeckia pentaphylla</i> | 0.12 | 0.06 |
| <i>Indigofera indica</i> | 0.11 | 0.055 |
| <i>Cordia dodecandra</i> | 0.10 | 0.05 |
| <i>Sideroxylon foetidissimum</i> | 0.08 | 0.04 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> | 0.08 | 0.04 |
| <i>Eugenia buxifoli</i> | 0.05 | 0.025 |
| <i>Colubrina arborescens</i> | 0.05 | 0.025 |
| <i>Sebastiania adenophora</i> | 0.04 | 0.02 |
| <i>Drypetes lateriflora</i> | 0.03 | 0.015 |
| <i>Astronium graveolens</i> | 0.03 | 0.015 |
| <i>Senna racemosa</i> | 0.02 | 0.01 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | 0.02 | 0.01 |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0.01 | 0.005 |
| <i>Krugiodendron ferreum</i> | 0.01 | 0.005 |
| <i>Acacia gaumeri</i> | 0.01 | 0.005 |
| <i>Cecropia peltata</i> | 0.01 | 0.005 |

COMPARACIÓN DE VALORES ESTRUCTURALES DE MANGLAR EN DIFERENTES CONDICIONES DE DEGRADACIÓN ECOLÓGICA

COMPARISON OF MANGROVE STRUCTURAL VALUES IN DIFFERENT CONDITIONS OF ECOLOGICAL DEGRADATION

Basáñez-Muñoz, A. de J.; A. Serrano; L. Cuervo-López; C. Naval-Ávila; A. Capistrán-Barradas y A.G. Jordán-Garza.

COMPARACIÓN DE VALORES ESTRUCTURALES DE MANGLAR EN DIFERENTES CONDICIONES DE DEGRADACIÓN ECOLÓGICA.

COMPARISON OF MANGROVE STRUCTURAL VALUES IN DIFFERENT CONDITIONS OF ECOLOGICAL DEGRADATION.



COMPARACIÓN DE VALORES ESTRUCTURALES DE MANGLAR EN DIFERENTES CONDICIONES DE DEGRADACIÓN ECOLÓGICA.

COMPARISON OF MANGROVE STRUCTURAL VALUES IN DIFFERENT CONDITIONS OF ECOLOGICAL DEGRADATION.

Basáñez-Muñoz, A. de J.;
A. Serrano;
L. Cuervo-López;
C. Naval-Ávila;
A. Capistrán-Barradas
y A.G. Jordán-Garza.

COMPARACIÓN DE
VALORES
ESTRUCTURALES DE
MANGLAR EN
DIFERENTES
CONDICIONES DE
DEGRADACIÓN
ECOLÓGICA.

COMPARISON OF
MANGROVE STRUCTURAL
VALUES IN DIFFERENT
CONDITIONS OF
ECOLOGICAL
DEGRADATION.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 51-69. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.4

A. de J. Basáñez-Muñoz / abasanez@uv.mx

A. Serrano

L. Cuervo-López

C. Naval-Ávila

A. Capistrán-Barradas

Cuerpo Académico Manejo de Ambientes Marinos y Costeros

A. G. Jordán-Garza

Cuerpo Académico Ecosistemas Costeros.

Universidad Veracruzana. Lomas del Estadio S/N,

Col. Zona Universitaria C.P. 91090, Xalapa, Veracruz

RESUMEN: Cambios de la hidrología en los manglares se traducen en gradientes bien definidos de degradación que principalmente inducen una disminución de su estructura. Un buen estimador de la estructura de un bosque es el Índice de Complejidad, que relaciona densidad, área basal, altura y el número de especies presentes en 0.1 ha, siendo éstos susceptibles a ser modificados por factores estresantes. Desde 1998, un manglar neotropical localizado dentro del sitio Ramsar No. 1602 quedó fragmentado por la construcción de tres estructuras sólidas en todo lo ancho del bosque modificando la hidrología. Esta acción con el tiempo ocasionó la degradación, reflejando tres escenarios de perturbación en el bosque, secciones aparentemente no degradadas, semidegradadas y sitios con mortandad completa. El presente trabajo, basado en dos indicadores ecológicos buscó encontrar cambios en el comportamiento de la estructura arbórea y la regeneración que evidenciaran el proceso de degradación. Se estableció un sitio de referencia y se realizaron cuatro transectos más abarcando el ancho del manglar y todos los escenarios de degradación. Se realizaron cuadrados de 10 x 10 m a cada 25 m, tomando los indicadores para procesar el Índice de Complejidad y un Estimador de Regeneración. El sitio de referencia presentó el mejor valor del estimador de regeneración y el segundo mejor en estructura arbórea con relación a los fragmentos del bosque. Al comparar por la condición de degradación, el sitio de referencia y el área que aparentemente no se encuentra degradada tuvieron valores cercanos, no así la condición semidegradada que presentó valores muy por debajo, principalmente atribuidos a su baja densidad y altura de sus individuos. En comparación con el sitio de referencia, las áreas aparentemente no degradadas de los fragmentos del bosque tienen buen desarrollo estructural y regeneración, por lo que es factible una rehabilitación para solventar el estrés causado y comenzar su recuperación, no así para el área de mortandad total, que requiere la intervención activa para comenzar un lento proceso que lleve a su integración a las otras áreas.

Palabras clave: Altura, Complejidad, Densidad, Índice, Tampamachoco, Tuxpan, México.

ABSTRACT: Changes in hydrology in mangroves translate into well-defined degradation gradients that mainly translate into a decrease in their structure. A good estimator of the structure of a forest is the Complexity Index, which relates density, basal area, height and the number of species present in 0.1 ha. A neotropical mangrove swamp located within Ramsar site No. 1602 was fragmented by the construction of three solid structures across the width of the forest. This eventually caused the degradation of the forest, with three scenarios, apparently undegraded sections, semi-degraded and complete mortality. The present work, based on two ecological index, seeks to find changes in the behavior of the tree structure and regeneration that show the degradation process. A reference site was established and four more transects were made covering the width of the mangrove and all degradation scenarios. Quadrants were made every 25 m, taking the indicators to process the Complexity Index and a Regeneration Index. The reference site presented the best regeneration value and the second best in tree structure in relation to the forest fragments. When comparing for the degradation condition, the reference site and the area that apparently is not degraded had close values, not the semi-degraded condition that presented values much lower, mainly attributed to its low density and height of its individuals. Compared to the reference site, the apparently non-degraded areas of the forest fragments have good structural development and regeneration, so a rehabilitation is feasible to solve the stress caused and begin its recovery, not so for the total mortality area, which requires active intervention to begin a slow process that leads to its integration into the other areas.

Key words: Complexity, Density, Height, Density, Index, Mexico, Tampamachoco, Tuxpan.

INTRODUCCIÓN

Los aspectos relacionados con las causas de la degradación de los bosques de manglar deben ser considerados como primera base de información para su manejo (Lugo *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020). El estudio de largo plazo de la dinámica poblacional, los diferentes gradientes ambientales y la implementación de estrategias reproductivas de las especies, ayudan a comprender la vulnerabilidad en la salud de estos ecosistemas (Bakhtiyari *et al.*, 2019; Noguera, 2016). El concepto de degradación, casi siempre se relaciona con la disminución de la cobertura vegetal medida a través del análisis de información satelital (Keim *et al.*, 2013; Kovacs *et al.*, 2009; Lewis *et al.*, 2016), son pocos los trabajos que enfocan el estudio de la degradación a cambios estructurales, funcionales y de los servicios de los ecosistemas (Herrera-Silveira *et al.*, 2020; Lewis *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2020) y aún cuando los avances en la tecnología de imágenes satelitales proporcionan información sobre nuevas variables, siempre se recomienda la verificación en campo (Lewis *et al.*, 2016; Proisy *et al.*, 2018; Razali *et al.*, 2019).

Lewis *et al.* (2016), con base en los estudios de Pool *et al.* (1977) y Cintron *et al.* (1978) mencionan que la estructura del bosque de mangle se correlaciona con el estrés del mismo. El índice de complejidad de Holdridge (1967) ajustado para manglares por Lugo & Cintrón (1975) y Pool *et al.* (1977) es un buen indicador de la estructura de un bosque (George *et al.*, 2019; Loría-Naranjo *et al.*, 2015; Zamprogno *et al.*, 2016). Blanco *et al.* (2001) lo aplicaron para el estudio de bosques perturbados, sugiriendo algunos ajustes en su implementación, por ejemplo, obtener el Índice por cohortes con relación al diámetro de los árboles.

En un ambiente degradado, no solo es importante indicar cómo se encuentra la estructura arbórea, también debe incluirse el comportamiento de su regeneración. La mayoría de los índices aplicados a la regeneración natural de un bosque contemplan la densidad

(Alfaro-Sibaja *et al.*, 2015; Tsitsoni, 1997; Volpato, 1994) o clases de altura (McWilliams *et al.*, 2015; Shirer & Zimmerman, 2010). Para el caso de los bosques de mangle, no se tienen registrados en la revisión de reportes de trabajos de investigación índices que indiquen el grado de estrés de la regeneración natural de sitios perturbados.

Valores del Índice de Complejidad en sitios contrastantes, por ejemplo, un sitio de referencia y un sitio con evidente degradación se comparan, Lewis *et al.* (2016) establecen que se puede definir si un bosque está bajo estrés o saludable. Si este mismo principio se aplica a valores que sean un buen indicador de la regeneración natural, también se puede determinar la salud o estrés de un bosque.

En el área de estudio se presenta una degradación del bosque, que integra sitios aparentemente sin daño hasta aquellos en que existe la pérdida total de árboles. La mortandad es atribuida a una modificación hidrológica causada por la interrupción del flujo laminar interno al interior del bosque debido a la construcción, en 1989, de tres terraplenes sólidos que soportan torres de transmisión de un complejo termoeléctrico, que parten desde la orilla de la laguna hacia el interior (Vovides *et al.*, 2011). Como consecuencia, un bosque que hasta 1986 era un manglar continuo quedó fraccionado en cuatro secciones, una al sur, sin estrés alguno y tres altamente inundables en temporada de lluvias y con extrema sequedad del suelo en temporada seca, dos fragmentos pequeños a los costados del terraplén central y un fragmento mayor al norte. En el presente estudio, se utilizó el Índice de Complejidad y un Estimador de regeneración, para encontrar diferencias estructurales y de regeneración entre un sitio de referencia y los fragmentos degradados y así comprender la degradación del bosque.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en la llanura costera del Golfo de México, al norte del estado de Veracruz, aproximadamente a 10 km al oeste de la ciudad y puerto de Tuxpan. El área forma parte del sitio Ramsar 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” y se encuentra dentro de la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos”, en colindancia con la laguna de Tampamachoco y el Golfo de México. Se ubica en una latitud de 21°00’51.52” Norte y longitud 97°20’31.251 Oeste, como punto central. El sitio presenta cuatro secciones fragmentadas (1, 2, 3, 4 y 4N) con diferentes grados de degradación de la orilla de la laguna de Tampamachoco al interior del bosque, hasta la colindancia con el Complejo Termoeléctrico (secciones 2, 3 y 4) (Fig. 1).

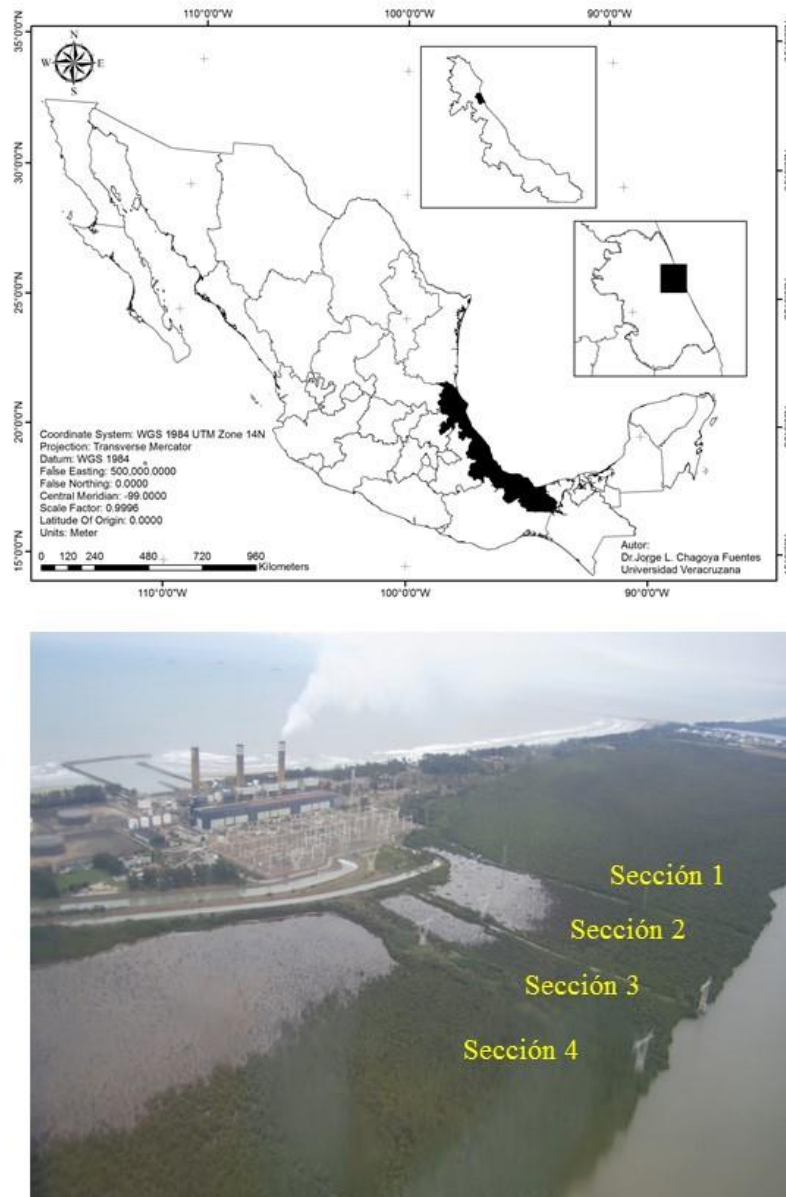


Fig. 1. Macrolocalización y localización del área de estudio mostrando la condición sin estrés (Sección 1) y de degradación (Secciones 2, 3 y 4). Fotografía de 2011, cortesía de F. Javier Martos

En el área de estudio, a partir de 2012 se comenzó con la rehabilitación hidrológica del sitio con el desbloqueo del flujo laminar mediante la conformación de vados que atravesaron los terraplenes. En 2019 se abrieron canales de la laguna de Tampamachoco hacia el sitio completamente degradado, así como la restauración mediante la adecuación de montículos con sustrato del mismo sitio que aseguraron el arraigo de propágulos. En 2017, se llevó a cabo el presente trabajo, 28 años después de la modificación hidrológica, cinco años posteriores a la rehabilitación hidrológica y dos años antes de la restauración.

En la sección 1, el bosque no presenta signos de estrés de los árboles en los 850 m de extensión del bosque a partir del cuerpo de agua. Esta sección fue considerada como el sitio de referencia (condición sin estrés). De la orilla de la laguna de Tampamachoco hacia el interior del manglar, en los fragmentos de manglar de las secciones 2, 3 y 4 se presenta un gradiente de degradación visible que comienza con una zona de condición aparentemente no degradada en la orilla del cuerpo de agua (0 m) hasta los 200 m, seguida de 100 m con una combinación de árboles vivos, muertos y con signos de estrés (sin follaje, con solo ramas bajas y pocas hojas, condición semidegradada), para posteriormente, a partir de los 300 m y hasta el final del ancho del bosque (500 m) se contempla un paisaje de mortandad total. En la sección 4, 750 m al norte de terraplén, se observa otro gradiente de degradación compuesto por una condición aparentemente no degradada (hasta los 200 m del cuerpo de agua), seguida de 400 m de una condición semidegradada, para posteriormente una zona de 300 m hasta el final del bosque, en la cual los árboles no presentan signos de estrés (aparentemente no degradada).

En cada sección del bosque (1, 2, 3, 4 y 4N), se aplicó un muestreo lineal de regeneración (Bosire *et al.*, 2006; Kairo *et al.*, 2002; Mchenga, 2015) al trazar cinco transectos perpendiculares a la laguna de Tampamachoco que abarcaron todo el ancho del bosque y todos los gradientes de degradación encontrados (Fig. 2). De forma sistemática, en los cinco transectos a cada 25 m se establecieron cuadros temporales de 10 x 10 m para medir los árboles ≥ 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) y dentro de estos cuadros, otros menores de 5 x 5 m para las plántulas y juveniles (hasta 3 m de altura pero < 2.5 cm de diámetro normal). En total, se muestrearon 101 cuadros de 101 m² y 101 de 25 m² (35 en el transecto 1, 12 en los transectos 2 y 3, 13 en el transecto 4 y 29 en el transecto 4N). El largo de los transectos varió de 850 m en el transecto 1 a 275 m en los transectos 2 y 3, el transecto 3 fue de 300 m y 750 m en el transecto 4N. En cada cuadro se anotaba el número de individuos por especie, altura total de árboles, juveniles y plántulas y DAP (solo en árboles, con base en el DAP se estimó el área basal). En la condición semidegradada, la altura fue medida hasta la copa (altura total), tanto en árboles vivos como aquellos que aún cuando ya no se tenía follaje, se presentaban hojas en las ramas inferiores.

Área de afectación de Manglar CT "Adolfo López Mateos"

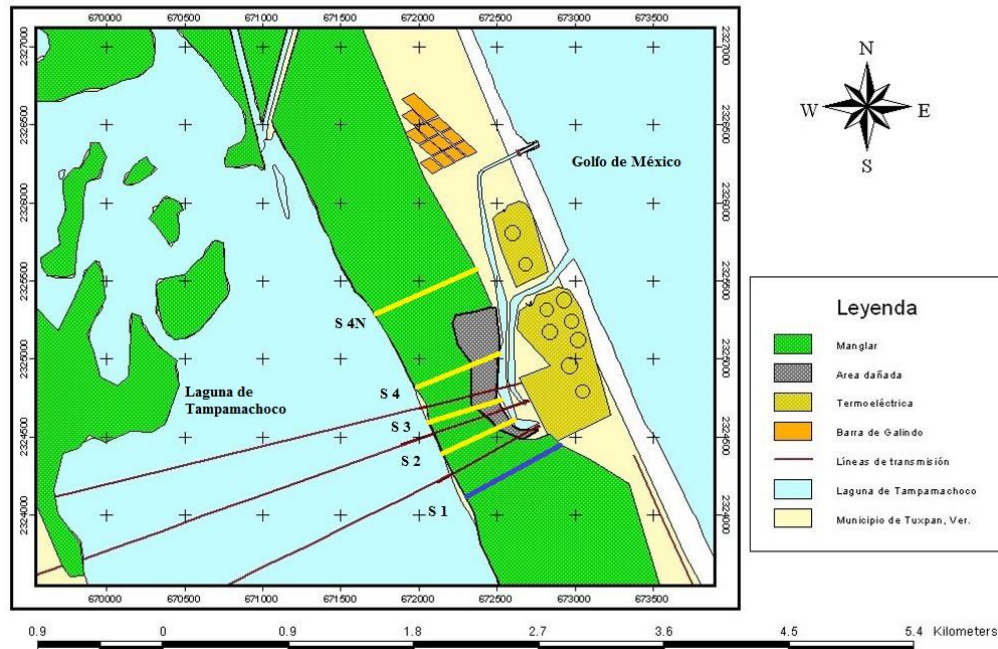


Fig. 2. Ubicación de los transectos 1, 2, 3, 4 y 4N perpendiculares a la laguna de Tampamachoco. En color gris se muestra el área degradada.

Con esta información se calculó el Índice de Complejidad por cada uno de los cuadros para tener una representación lineal del cambio de los valores por transecto y de los cambios de condición de degradación reportados, a su vez, se obtuvo el índice de Complejidad por condición de degradación. Los datos son referidos en 1000 m² o 0.1 ha.

Para los árboles adultos se utilizó la fórmula propuesta por Holdridge (1967) (en el presente estudio, se utilizó la media de altura, por lo que sus valores no son comparables con estudios que utilizan el promedio de los tres árboles más altos).

$IC = (s) (d) (b) (h) 10^{-3}$, donde:

IC, es el Índice de Complejidad de Holdridge ajustado para manglares por Lugo & Cintrón (1975) y Pool *et al.* (1977) que incluye individuos ≥ 2.5 cm de DAP

s, es el número de especies,

d, es densidad (0.1 ha),

b, es el área basal total (0.1 ha)

h, es el promedio de altura (m)

En las plántulas y juveniles, se tomó de referencia la altura de <50 cm para la primera categoría y ≥ 50 cm para juveniles. Para el presente estudio, si bien la densidad (Matteucci & Colma, 1982) o la proporción de individuos de cada categoría (plántulas y juveniles) (Amakanga *et al.*, 2021), estiman la capacidad de regeneración, se propone el

uso de un estimador de regeneración (ER) que integra la densidad, altura promedio de plántulas, juveniles y el número de especies presentes en cada cuadro, con el fin de adecuarse a los cálculos establecidos por el Índice de Complejidad de Holdridge para los árboles adultos y poder contar, a su vez, con una representación lineal del cambio de valores en cada condición de degradación.

$ER = (s) (d) (h) 10^{-3}$, donde:

ER, es un estimador de regeneración (plántulas y juveniles)

s, es el número especies

d, es densidad (0.1 ha)

h, es el promedio de altura (m)

Se aplicó la prueba de normalidad de *Lilliefors* a los valores de densidad, altura, área basal e Índice de Complejidad y la prueba de Kruskal-Wallis (prueba post hoc, Mann-Whitney; $\alpha = 0.05$) para conocer la existencia de diferencia significativas entre los tipos de condición del bosque encontrados (sin estrés, aparentemente no degradada y semidegradada) y por las distancias (cada 25 m) del cuerpo de agua (0 m) hasta los 275 m (a partir de esta medida en los transectos 2, 3 y 4 se tiene mortalidad total de los individuos). Todos los cálculos se efectuaron con el paquete estadístico Past 4.0.

RESULTADOS

Las especies encontradas en los diferentes estadios fueron *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Se contaron 11,320 plántulas y juveniles y 2,181 árboles. El 81% de plántulas o juveniles pertenecían a la especie *R. mangle* y el 54% de adultos fueron de *A. germinans*. En la condición semidegradada, del total de individuos (13,501), solo se presentó el 2% de las plántulas y juveniles y el 12% de los árboles.

En la tabla 1, se puede observar las características estructurales de las tres condiciones que se presentaron en el área de estudio y las secciones correspondientes. En la condición sin estrés (sitio de referencia) se tuvo el mayor promedio de altura, pero no así en su densidad, DAP y Área basal. La densidad de la sección 4 en la condición aparentemente no degradada presentó un valor que destaca sobre los encontrados en las condiciones que no mostraron estrés en sus individuos, pero su valor de DAP fue el más alto de estas condiciones. Es en la condición semidegradada donde se encontraron valores contrastantes, como la densidad, la altura y el número de especies comparada con las otras condiciones. El DAP de las secciones 4 y 4N en esta condición fue el más alto de los sitios muestreados, pero está en discordancia con la altura de los individuos.

Tabla 1. Estructura arbórea promedio (DAP \geq 2.5 cm) en el sitio de estudio por condición y sección.

El número de especies es el total encontrado.

| Estructura arbórea (DAP \geq 2.5 cm) | | | | | | |
|--|---------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Condición | Sección | Densidad (individuos/0.1 ha) | DAP (cm) | Área basal (m ²) | Altura (m) | Número de especies |
| Sin estrés | 1 | 246 \pm 116.98 | 7.39 \pm 2.84 | 1.1716 \pm 0.5200 | 4.45 \pm 1.09 | 3 |
| | 2 | 254 \pm 104.89 | 7.58 \pm 1.60 | 1.6420 \pm 0.1073 | 4.37 \pm 0.86 | 3 |
| Aparentemente no degradada | 3 | 359 \pm 123.33 | 6.69 \pm 1.31 | 1.6700 \pm 0.0975 | 4.05 \pm 0.57 | 3 |
| | 4 | 179 \pm 70.97 | 8.58 \pm 1.96 | 1.3018 \pm 0.0297 | 4.07 \pm 0.46 | 3 |
| | 4N | 256 \pm 219.07 | 8.40 \pm 5.11 | 1.9183 \pm 0.2083 | 3.93 \pm 0.53 | 3 |
| Semidegradada | 2 | 86 \pm 23.09 | 4.01 \pm 0.28 | 0.1533 \pm 0.0107 | 2.02 \pm 0.25 | 1 |
| | 3 | 133 \pm 64.29 | 6.06 \pm 1.26 | 0.5219 \pm 0.0397 | 2.18 \pm 0.38 | 1 |
| | 4 | 103 \pm 51.88 | 12.06 \pm 0.87 | 1.1891 \pm 0.0482 | 3.12 \pm 0.48 | 1 |
| | 4N | 95 \pm 28.25 | 11.54 \pm 2.03 | 1.2191 \pm 0.0597 | 3.05 \pm 0.41 | 1 |

La densidad que se presentó en la condición sin estrés fue la segunda más alta del área de estudio, por el promedio de altura, se concentró en la presencia de plántulas de las tres especies. Con relación a la condición aparentemente no degradada, se tuvieron valores diferenciados de densidad, el valor más alto fue en la sección 4, su promedio de altura estuvo en el límite entre plántula y juvenil y se reportaron las tres especies presentes. El menor valor de densidad de esta condición se observó en la sección 2 y fue notoria la presencia de juveniles. No se tuvieron observaciones de plántulas ni juveniles en las secciones 2 y 3 de la condición semidegradada y en las secciones 4 y 4N, los valores de densidad fueron muy bajos comparados con las condiciones sin estrés y aparentemente no degradada. Con base en la altura promedio, se presentó la categoría de plántula de dos especies (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de plántulas y juveniles reportados de densidad (valor máximo y mínimo) y altura en el sitio de estudio por condición y sección. El número de especies es el total encontrado

| Condición | Sección | Densidad (individuos/0.1 ha) | Valor máximo | Valor mínimo | Altura (m) | Número de especies |
|-------------------------------|---------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Sin estrés | 1 | 6,517 \pm 5,205.70 | 20,680 | 520 | 0.46 \pm 0.12 | 3 |
| | 2 | 2,160 \pm 1,545.83 | 5,040 | 120 | 0.73 \pm 0.33 | 3 |
| Aparentemente no degradada | 3 | 4,022 \pm 5,000.56 | 14,720 | 40 | 0.55 \pm 0.25 | 2 |
| | 4 | 7,208 \pm 7,015.63 | 17760 | 360 | 0.51 \pm 0.13 | 3 |
| | 4N | 6,020 \pm 6,940.80 | 22,120 | 200 | 0.48 \pm 0.11 | 2 |
| Semidegradada | 2 | - | - | - | - | - |
| | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 107 \pm 61.10 | 160 | 40 | 0.35 \pm 0.02 | 2 |
| | 4N | 421 \pm 410.95 | 1,640 | 40 | 0.28 \pm 0.07 | 2 |

Cuando se hizo un análisis, basado en el índice de Complejidad, de la estructura forestal (\geq 2.5 cm DAP), se apreció diferencia significativa por tipo de condición del bosque (H

= 41.79; $p < 0.0001$), cuando se aplicó la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney se observó que la condición sin estrés y aparentemente no degradada, fueron diferentes a la semidegradada (Fig. 3) (Tabla 3). Las diferencias se relacionaron con la densidad ($H = 32.1$; $p < 0.0001$) y altura ($F = 31.45$; $p < 0.0001$), con relación al área basal, la diferencia se presentó entre la condición aparentemente no degradada con la semidegradada ($H = 6.94$; $p < 0.0310$).

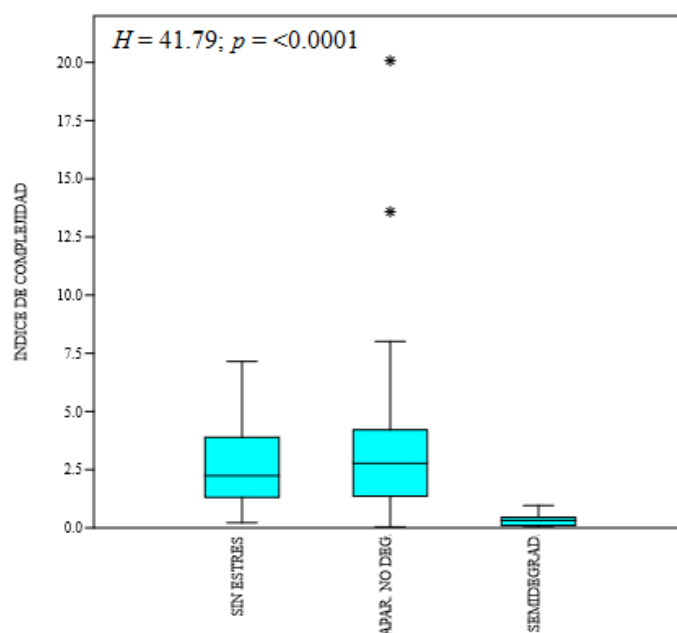


Fig. 3. Índice de Complejidad para individuos adultos por tipo de condición muestreada con relación a la degradación del bosque (sin estrés, aparentemente no degradada y semidegradada).

Tabla 3. Índice de Complejidad y sus indicadores de densidad, área basal, altura y número de especies por condición para individuos adultos.

| Estructura arbórea | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Densidad (árboles/0.1 ha) | Área basal (m ² /0.1 ha) | Promedio de altura (m) | Número de especies | Índice de Complejidad |
| Condición | | | | | |
| Sin estrés | 246 | 1.1716 | 4.45 | 3 | 3.84 |
| Aparentemente no degradada | 261 | 1.5114 | 4.09 | 3 | 4.84 |
| Semidegradada | 100 | 1.0028 | 2.83 | 1 | 0.28 |

Cuando se comparó el Índice de complejidad por distancia (desde la orilla de la laguna, hasta los 275 m), incluida la condición sin estrés, la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ($H = 32.89$; $p = 0.0005$). De acuerdo con la prueba de comparación de Mann-Whitney se presentaron diferencias a los 200, 250 y 275 m con las distancias anteriores (0 a 175 m) (Fig. 4a). Al aplicar las mismas pruebas, sin contemplar del cálculo estadístico la condición sin estrés (que no presentó un área semidegradada), las diferencias a partir de los 225 m se hicieron más notorias ($H = 35.26$; $p = 0.0006$) (Fig. 4b).

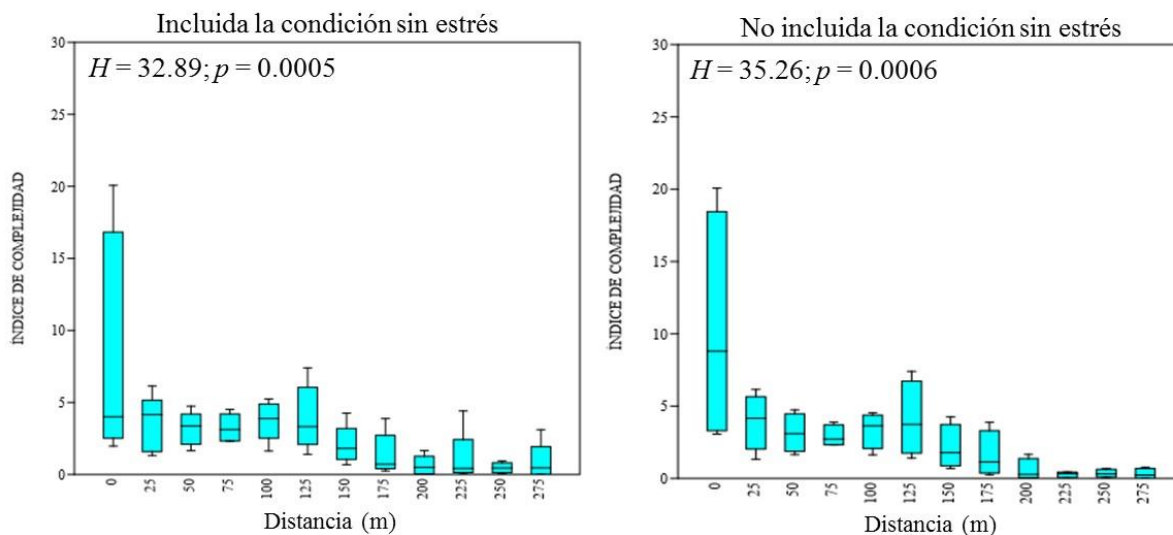


Fig. 4. Índice de Complejidad para individuos adultos por distancia desde la orilla de la laguna (0 m) hasta los 275 m. a: izquierda, se incluye la condición sin estrés, b: derecha, se excluye la condición sin estrés.

La prueba de Kruskal- Wallis aplicada a plántulas y juveniles estableció diferencias significativas por condición ($H = 37.17$; $p = 0.0001$) y al aplicar la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney se observó que la condición sin estrés y aparentemente no degradada no presentaron diferencias, sin embargo, la semidegradada se diferenció de las otras dos condiciones, en densidad ($H = 33.42$; $p = 0.0001$) y altura ($H = 32.96$; $p = 0.0001$) (Fig. 5) (Tabla 4).

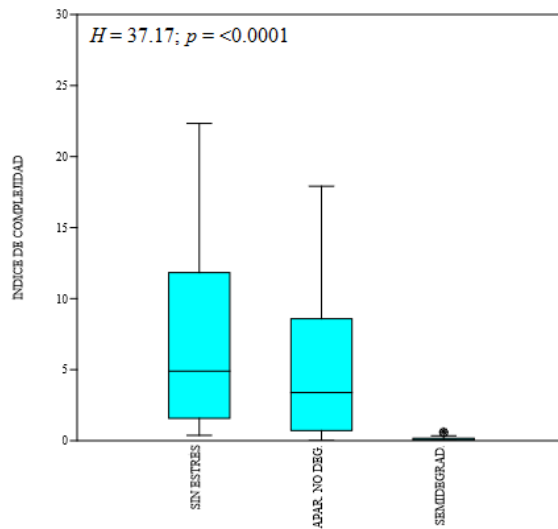


Fig. 5. Estimador de regeneración para plántulas y juveniles por tipo de condición muestreada con relación a la degradación del bosque (sin estrés, aparentemente no degradada y semidegradada).

Tabla 4. Estimador de regeneración y sus indicadores de densidad, altura y número de especies por condición para plántulas y juveniles.

| Sección | Regeneración natural (plántulas y juveniles) | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| | Densidad (individuos/0.1 ha) | Promedio de altura (m) | Número de especies | Estimador de regeneración |
| Condición | | | | |
| Sin estrés | 6517 | 0.46 | 3 | 8.98 |
| Aparentemente no degradada | 4995 | 0.56 | 3 | 8.39 |
| Semidegradada | 369 | 0.30 | 2 | 0.22 |

La regeneración natural (plántulas y juveniles) se dejó de observar a los 200 m en los transectos 2 y 3. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis entre estas distancias (0 a 200 m) y al incluir la condición sin estrés, se observó diferencia significativa ($H = 15.64$; $p = 0.0479$) en este análisis (Figura 6a), al aplicar la prueba post hoc de Mann-Whitney, la diferencia solo fue significativa entre los 100 m con los 175 y 200 m, y 200 m con 75 y 100 m. El análisis solo con las condiciones de aparentemente no degradada y semidegradada, se amplió la diferencia significativa ($H = 21.43$; $p = 0.0060$) y fue más evidente la diferencia de los valores del Estimador de Regeneración de la distancia de 175 m con los 25 a los 100 m, y de los 200 m con los 25 a los 125 m, que reflejó una evidente área de 50 m con baja densidad de plántulas y juveniles en la condición aparentemente no degradada (Fig. 6 b)).

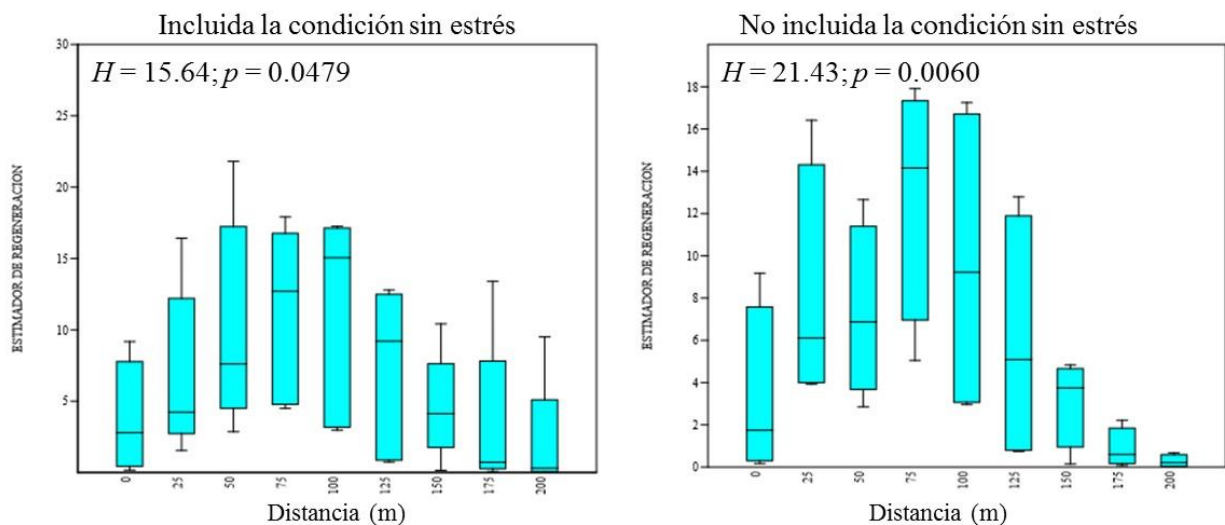


Fig. 6. Estimador de regeneración para plántulas y juveniles por distancia desde la orilla de la laguna (0 m) hasta los 275 m. a: izquierda, se incluye la condición sin estrés, b: derecha, se excluye la condición sin estrés.

DISCUSIÓN

En el área de estudio se encontraron tres de las cuatro especies presentes en el país, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* (la cuarta especie, *Conocarpus erectus* también está presente, pero fuera de los sitios de muestreo, obs. pers.). La presencia de tres especies de mangle en el área de estudio implicó una adecuada composición de especies y a su vez, un buen indicador del Índice de complejidad.

De acuerdo con Cintrón & Schaeffer-Novelli (1983), que consideran individuos < 10 cm DAP como árboles jóvenes, todas las condiciones encontradas en el presente estudio, se relacionan con un bosque joven. Solo *A. germinans* en la sección 4 presentó un promedio superior a los 10 cm de DAP (11.51 cm), pero su baja altura de 3.76 m (la media en el área de estudio es de 5.8 m (Basañez, *et al.*, 2020) indica un reclutamiento reciente (Blanco *et al.*, 2001). En la sección 1, *L. racemosa* se muestreó al final del bosque, en colindancia con remanentes de selva, y por sus valores de altura (9.34 m) y DAP (16.97 cm) altos se puede considerar uno de los cohortes más antiguos y es posible asegurar que contribuyó a un mayor valor al Índice de Complejidad

La especie *R. mangle* no estuvo presente en la condición semidegradada, aun cuando en la condición sin estrés, a la misma distancia de la laguna (225 a 275 m) si se presentó. *L. racemosa* solo se presentó en el inicio del bosque y al final del mismo en la condición sin estrés. *A. germinans*, fue la única con individuos en la condición semidegradada, la cual, como se indicó, está compuesta por árboles vivos, muertos y sin follaje, pero con ramas bajas con hojas. Esta última categoría fue la más representativa, razón por la cual se tuvo una baja altura (2.89 m) con relación a las otras condiciones, aunque un DAP

relacionado con árboles adultos (> 10 m, Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1983)). Este promedio de altura, fue el menor de todas las condiciones muestreadas es indicador de perturbación, por lo que se decidió usar el Índice de Complejidad sobre otros. Blanco et al. (2001), recomiendan el análisis de la altura como una variable importante para la evaluación de perturbaciones. Además, árboles con alturas bajas están relacionados con alta salinidad (Cintrón *et al.*, 1978; Soto & Jiménez, 1982), que de acuerdo con Vovides *et al.* (2011) fue un factor que contribuyó en la degradación del sitio.

Para George *et al.* (2019) la estructura del manglar está muy correlacionada con el estrés, la condición semidegradada presentó los valores más bajos de densidad (árboles/0.1 ha), área basal ($m^2/0.1$ ha), promedio de altura (m) y número de especies de todo el análisis y por lo mismo el menor Índice de Complejidad (IC) (0.28). Si se considera lo establecido por Duke (2001), Estrada *et al.* (2013) y Zamprogno *et al.* (2016) quienes mencionan que la madurez y la densidad se correlacionan negativamente y el DAP y la madurez positivamente, solo la sección 3 cumplió con estas dos aseveraciones. Es de llamar la atención que la sección 3 quedó aislada por el terraplén central y el que se ubica al norte, de hecho, fue la sección que más alto IC presentó (3.43). Al hacer un análisis más fino de esta sección, se tiene posiblemente la cohorte más antigua de *A. germinans* en los primeros 25 m de la orilla de la laguna, con un promedio de DAP de 15.09 ± 6.53 cm y una altura promedio de 5.63 ± 1.00 m, que junto con una estructura promedio de *R. mangle* le confirió a este cuadro, el más alto IC (14.68) de todos los cuadros muestreados. Feller *et al.* (2010) y Zamprogno *et al.* (2016) indican que los bosques con menor influencia o estrés presentan mejor desarrollo estructural. Los cuadros en distancias de 200, 175 y 150 en las secciones 2, 3 y 4 y en la sección 4N sumadas las de 625, 650 y 675 m, es decir aquellos que se van alejando de la condición semidegradada (225 a 275 m y 225 a 600 m) fueron incrementando su IC en comparación con ésta.

Las secciones 1 y 2, y por otra parte las 4 y 4N, exhibieron poca diferencia entre sus IC, lo que Bosire *et al.* (2014) señalan como una baja variabilidad entre sitios de muestreo. La misma situación se observó entre el IC de la condición sin estrés (3.84) y la aparentemente no degradada (4.84).

En la condición semidegradada la densidad de árboles (100 árboles/0.1 ha), implica una baja proporción de árboles parentales, aspecto que puede comprometer la producción de propágulos y limitar la regeneración del área (Bosire *et al.*, 2014). Si bien en esta condición aún se presenta un área basal ($m^2/0.1$ ha) similar a la condición sin estrés, esto corresponde a árboles que han perdido el follaje de copa y solo presentan ramas bajas con hojas, lo que se muestra por su altura (2.02 a 3.12 m). Por esta característica de los árboles se puede asumir que existe un menor esfuerzo reproductivo, al invertir su energía en la adaptación a la condición estresante (Grime, 1977).

Para las condiciones sin estrés y aparentemente no degradada, al presentar árboles altos, área basal y densidad intermedia con relación a las secciones, indicó un bosque adulto, es decir, en el área de estudio no se tuvieron bosques jóvenes, que evidencien, en general, nuevas cohortes.

En México se han realizado varios estudios de estructura del manglar que utilizan como indicador el Índice de Complejidad, pero no se han enfocado en la identificación lineal de valores a lo largo del transecto y no se ha utilizado para comparar sitios de referencia y degradados. Se tienen los trabajos de Jiménez & González (1996) en Juluápan, Colima (IC = 0.06), Pool *et al.* (1977) en cinco localidades en Tecapan, Sinaloa (IC = 0.9 a 41.3), Corella *et al.* (2001) en una localidad de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (IC = 31.8), Lara-Domínguez *et al.* (2005) en cuatro manglares de la

costa caribeña del noreste de la Península de Yucatán (IC = 0.01 a 10.5), Velázquez-Pérez *et al.* (2019) en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas (IC = 40.1). Para el sitio de estudio (laguna de Tampamachoco, Veracruz) el IC fue reportado por López-Portillo *et al.* (2012) en 20.3, considerándolo como intermedio en el Golfo de México y Mar Caribe.

En las mismas distancias con respecto a la laguna, (200 a 500 m) de las condiciones sin estrés (sección 1) y aparentemente no degradada (secciones 2, 3, 4 y 4N), se reportan las tres especies, en la condición semidegradada solo existe *A. germinans*. Los trabajos de restauración que se realicen en la condición semidegradada deberán contener la aportación de *R. mangle* y *L. racemosa*, para generar una tendencia natural en valores de índice de complejidad próximos a las otras condiciones. Si esta recomendación es considerada, la tendencia natural se traduciría en complejidad en el bosque recuperado (George *et al.*, 2019).

En cuanto al número de individuos de plántulas y juveniles muestreados, la condición sin estrés, las áreas aparentemente no degradadas y la condición semidegradada de la sección 4N, tuvieron una cantidad suficiente para asegurar una adecuada repoblación natural del área, no así la condición semidegradada de las secciones 2, 3 y 4; el valor mínimo recomendado es de 2,500 plántulas por hectárea (Food and Agriculture Organization [FAO, 1994]) en Bosire *et al.*, (2014). A su vez, el potencial de regeneración descrito por Gan (1995 en George *et al.*, 2019), que considera que el número total de plántulas y juveniles, para considerarse adecuado, debe ser superior al 50% de los árboles maduros, se cumple en las mismas condiciones.

Una mayor proporción de juveniles sobre plántulas, implica una alta tasa de crecimiento de plántulas (George *et al.*, 2019) y por lo tanto una mayor sobrevivencia, misma que impulsa el crecimiento de la población. Cuando se analizaron los valores por condición del bosque, mostró una proporción desigual para la condición semidegradada, las dos especies presentes, *R. mangle* y *A. germinans*, tuvieron un promedio de altura menor al 50 cm, las plántulas de *A. germinans* apenas sobrepasaron los 30 cm, lo que podría afectar su sobrevivencia en condiciones de presencia de algún factor estresante y por lo tanto un bajo o incipiente crecimiento poblacional.

El Estimador de Regeneración fue aplicado a los individuos en categorías de plántulas y juveniles como referencia para ubicar cambios de valores por condición de estrés. Aquí fue evidente que el mejor valor de regeneración se presenta en la Sección 1. Esta situación estuvo dada principalmente por la densidad. Lo que se observó fue que por su altura media de 0.46 cm, se observó una presencia mayoritariamente a nivel de plántula, que si bien puede asegurar una adecuada regeneración natural, el no tener una proporción más alta de juveniles, podría interpretarse como una baja sobrevivencia de las plántulas (Bosire *et al.*, 2014). Pero si se toma en cuenta la observación hecha por la FAO (1994) de un buen potencial de regeneración con 2,500 plántulas por hectárea, todas las secciones de la condición sin estrés y aparentemente no degradada sobrepasaron esta cifra, y en la condición semidegradada, solo la sección 4N, por lo que es necesario manejar con cautela el valor proporcionado por esta institución. La presencia de las tres especies en su categoría de ≥ 2.5 cm DAP fue en todas las secciones y solo la ausencia de *L. racemosa* en la condición semidegradada, y a nivel de regeneración, solo hay presencia en dos de las tres secciones, se atribuye a que la cantidad de árboles parentales (Bosire *et al.*, 2014) de *L. racemosa* muestreados son muy pocos o como lo comentan da Souza *et al.* (2014) y Zamprogno *et al.* (2016), esta especie es un buen indicador de estrés en el sistema.

Muy probablemente la baja densidad y altura promedio de los individuos de plántulas y juveniles en la condición semidegradada sea producto de procesos de mortandad-establecimiento de propágulos-crecimiento a nivel de plántula-mortandad, dado el estrés que se evidenció en los árboles del sitio. A este respecto, George *et al.* (2019) establecen que los potenciales de regeneración dependen de la densidad de árboles maduros (sanos) y esta ausencia condiciona los valores reportados.

Los valores del Estimador de Regeneración (ER) de la condición sin estrés (8.98) y la aparentemente no degradada (8.39), tienen poca diferencia por lo que la variabilidad de sus indicadores son relativamente reducidos. El valor de ER = 0.22) En la condición semidegradada fue muy distinto.

CONCLUSIONES

La degradación del manglar estudiado se comprobó con las diferencias entre los valores del Índice de Complejidad (IC) y el Estimador de Regeneración (ER) utilizados. Los valores de IC y ER de la condición semidegradada estuvieron muy por debajo del sitio de referencia (sección 1) con una condición sin estrés. Es muy importante observar que los valores de IC y ER entre las condiciones sin estrés y aparentemente no degradada estuvieron muy próximos, lo que indica que son ambientes en donde los indicadores de estos índices, son muy similares.

Con relación a las secciones, la 1 (sin estrés), ésta fue segundo mejor valor por número de individuos adultos y el primero en plántulas y juveniles, por lo que se considera que fue un buen sitio de referencia. La sección 4N, de la condición semidegradada, que fue el más bajo valor de densidad (94.66 ind/0.01 ha) pero presentó una densidad de plántulas y juveniles mayor de 2,5000 ind/ha con 4,213. En general, en las secciones 2, 3, 4 y 4N (que tienen diferentes escenarios de degradación) apoyados en una buena estructura arbórea y alta regeneración, de la condición aparentemente no degradada, si el factor estresante es solventado, aún pueden presentar un adecuado desarrollo, solo que éste, como lo establecen Lewis *et al.* (2016), tardaría un aproximado de 10 años en observar su recuperación.

Lo que se observó por el análisis realizado a los indicadores estructurales, tanto a nivel arbóreo como de regeneración es que, si bien la causa de la perturbación y posterior degradación del bosque fue el mismo, la fragmentación del bosque, la escala y la magnitud de los cambios reportados son sumamente diferentes entre las secciones fragmentadas, es decir, los escenarios de degradación responden a las diferentes disponibilidades de los recursos, los reguladores e hidroperíodo, por lo que las medidas de solución a aplicar en una restauración, deben ser diferenciadas.

LITERATURA CITADA

- Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R., Morales-Cerdas, V., & Ramírez-Arce, D. (2015). Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(2), 325–332.
- Amakanga Erasto, D., Okeyo, B., & Dharani, N. (2021). Assessment of Structure and Natural Regeneration Capacity of *Avicennia Marina* and *Bruguiera Gymnorhiza* Species of Mangroves in Mida Creek Kilifi County, Kenya. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 11(02),

- 262–294. <https://doi.org/10.26502/ijpaes.202106>
- Bakhtiyari, M., Lee, S. Y., & Warnken, J. (2019). Seeing the forest as well as the trees: An expert opinion approach to identifying holistic condition indicators for mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 222, 183–194. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2019.03.003>
- Basañez, A.J., Jordan, G & Serrano, A. (2020). Regeneration and structure of a disturbed mangrove forest in Ramsar Site No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan”, Mexicoo Title. In N. Molina (Ed.), *Mangroves of Latin America* (1st ed., p. 211). Universidad Espíritu Santo.
- Blanco, J. F., Bejarano, A. C., Lasso, J., & Cantera, J. R. (2001). A new look at computation of the complexity index in mangroves: do disturbed forests have clues to analyze canopy height patchiness? *Wetlands Ecology and Management*, 9(2). <https://doi.org/10.1023/A:1011115220126>
- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J. G., Wartel, S., Kazungu, J., & Koedam, N. (2006). Success rates of recruited tree species and their contribution to the structural development of reforested mangrove stands. *Marine Ecology Progress Series*, 325, 85–91. <https://doi.org/10.3354/meps325085>
- Bosire, J. O., Kaino, J. J., Olagoke, A. O., Mwihiaki, L. M., Ogendi, G. M., Kairo, J. G., Berger, U., & Macharia, D. (2014). Mangroves in peril: unprecedented degradation rates of peri-urban mangroves in Kenya. *Biogeosciences*, 11(10). <https://doi.org/10.5194/bg-11-2623-2014>
- Cintron, G., Lugo, A. E., Pool, D. J., & Morris, G. (1978a). Mangroves of Arid Environments in Puerto Rico and Adjacent Islands. *Biotropica*, 10(2), 110. <https://doi.org/10.2307/2388013>
- Cintron, G., Lugo, A. E., Pool, D. J., & Morris, G. (1978b). Mangroves of Arid Environments in Puerto Rico and Adjacent Islands. *Biotropica*, 10(2). <https://doi.org/10.2307/2388013>
- Cintrón, G., & Schaeffer-Novelli, Y. (1983). *Introducción a la ecología del manglar*. ROSTLAC-UNESCO.
- Corella, F., Valdez, J. ., Cetina, V. ., González, F. ., Trinidad, A., & Aguirre, J. . (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal En México*, 26(90), 73–102.
- da Souza, I., Bonomo, M. M., Morozesk, M., Rocha, L. D., Duarte, I. D., Furlan, L. M., Arrivabene, H. P., Monferrán, M. V., Matsumoto, S. T., Milanez, C. R. D., Wunderlin, D. A., & Fernandes, M. N. (2014). Adaptive plasticity of *Laguncularia racemosa* in response to different environmental conditions: integrating chemical and biological data by chemometrics. *Ecotoxicology*, 23(3). <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1191-0>
- Duke, N. C. (2001). Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 9(3). <https://doi.org/10.1023/A:1011121109886>
- Estrada, G. C. D., Soares, M. L. G., Chaves, F. de O., & Cavalcanti, V. F. (2013). Analysis of the structural variability of mangrove forests through the physiographic types approach. *Aquatic Botany*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.06.003>
- FAO. (1994). *Mangrove forest management guidelines* (Forestry Department (ed.)). FAO.
- Feller, I. C., Lovelock, C. E., Berger, U., McKee, K. L., Joye, S. B., & Ball, M. C. (2010). Biocomplexity in Mangrove Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163809>
- Gan, B. K. (1995). *A working plan for the Matang Mangrove Forest Reserve*No Title.
- George, G., Krishnan, P., Mini, K. G., Salim, S. S., Ragavan, P., Tenjing, S. Y., Muruganandam, R., Dubey, S. K., Gopalakrishnan, A., Purvaja, R., & Ramesh, R. (2019). Structure and regeneration status of mangrove patches along the

- estuarine and coastal stretches of Kerala, India. *Journal of Forestry Research*, 30(2). <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0600-2>
- Grime, J. P. (1977). Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *The American Naturalist*, 111(982). <https://doi.org/10.1086/283244>
- Herrera-Silveira, J. A., Pech-Cardenas, M. A., Morales-Ojeda, S. M., Cinco-Castro, S., Camacho-Rico, A., Caamal Sosa, J. P., Mendoza-Martinez, J. E., Pech-Poot, E. Y., Montero, J., & Teutli-Hernandez, C. (2020). Blue carbon of Mexico, carbon stocks and fluxes: a systematic review. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.8790>
- Holdridge, L. . (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Jiménez, M. del C., & González, F. (1996). Análisis de la estructura del manglar de la laguna de Juluápan, Col., México. *Ciencia Pesquera*, 12, 76–84.
- Kairo, J. G., Dahdouh-Guebas, F., Gwada, P. O., Ochieng, C., & Koedam, N. (2002). Regeneration status of mangrove forests in Mida Creek, Kenya: A compromised or secured future? *Ambio*, 31(7–8), 562–568. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.7.562>
- Keim, R. F., Zoller, J. A., Braud, D. H., & Edwards, B. L. (2013). Classification of Forested Wetland Degradation Using Ordination of Multitemporal Reflectance. *Wetlands*, 33(6). <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0466-1>
- Kovacs, J. M., King, J. M. L., Flores de Santiago, F., & Flores-Verdugo, F. (2009). Evaluating the condition of a mangrove forest of the Mexican Pacific based on an estimated leaf area index mapping approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157(1–4). <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0523-z>
- Lara-Domínguez, A. L., Day, J. W., Zapata, G. V., Twilley, R. R., Guillén, H. A., & Yáñez-Arancibia, A. (2005). Structure of a unique inland mangrove forest assemblage in fossil lagoons on the Caribbean Coast of Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 13(2). <https://doi.org/10.1007/s11273-004-5197-x>
- Lewis, R. R., Milbrandt, E. C., Brown, B., Krauss, K. W., Rovai, A. S., Beever, J. W., & Flynn, L. L. (2016). Stress in mangrove forests: Early detection and preemptive rehabilitation are essential for future successful worldwide mangrove forest management. *Marine Pollution Bulletin*, 109(2). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.006>
- López-Portillo, J. ., Lara, A. ., Martínez, M. ., Hernández, M., Rodríguez, M., Ureña, C., Galán, R., Vásquez, V., & Sáinz, E. (2012). *Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional*.
- Loría-Naranjo, M., Samper-Villarreal, J., & Cortés, J. (2015). Structural complexity and species composition of Potrero Grande and Santa Elena mangrove forests in Santa Rosa National Park, North Pacific of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20030>
- Lugo, A.E., & Cintrón, G. (1975). The mangrove forests of Puerto Rico and their management. In G. Walsh, S. Snedaker, & H. Teas (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves* (Vol. 2, pp. 825–846). Institute of Food and Agricultural Sciences.
- Lugo, Ariel E., Medina, E., & McGinley, K. (2014). Issues and Challenges of Mangrove conservation in the Anthropocene. *Madera y Bosques*, 20. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.200146>
- Matteucci, S.D. & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Mchenga, I. (2015). Natural Regeneration of Mangroves in a Degraded and Non-Degraded Tropical Forest of Zanzibar Island Natural Regeneration of Mangroves in a Degraded and Non-Degraded Tropical Forest of Zanzibar Island. *Journal of Global Biosciences*, 3(1), 334–344.

Recibido:
5/agosto/2021

Aceptado:
16/mayo/2022

- McWilliams, W. H., Westfall, J. A., Brose, P. H., Dey, D. C., Hatfield, M., Johnson, K., Laustsen, K. M., Lehman, S. L., Morin, R. S., Nelson, M. D., Ristau, T. E., Royo, A. A., Stout, S. L., Willard, T., & Woodall, C. W. (2015). *A regeneration Indicator for Forest Inventory and Analysis: History, sampling, estimation, analytics, and potential use in the Midwest and Northeast United States*.
- Noguera, A. (2016). Metodologías para evaluar vulnerabilidad del bosque frente al cambio climático. In *Adaptación al cambio climático incorporando metodologías de información con enfoque de género y seguridad alimentaria*. Fundación Ayuda en Acción. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra y Fundación para la Investigación del Clima.
- Pool, D. J., Snedaker, S. C., & Lugo, A. E. (1977). Structure of Mangrove Forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. *Biotropica*, 9(3). <https://doi.org/10.2307/2387881>
- Proisy, C., Viennois, G., Sidik, F., Andayani, A., Enright, J. A., Guitet, S., Gusmawati, N., Lemonnier, H., Muthusankar, G., Olagoke, A., Prosperi, J., Rahmania, R., Ricout, A., Soulard, B., & Suhardjono. (2018). Monitoring mangrove forests after aquaculture abandonment using time series of very high spatial resolution satellite images: A case study from the Perancak estuary, Bali, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.056>
- Razali, S. M., Nuruddin, A. A., & Lion, M. (2019). Mangrove Vegetation Health Assessment Based on Remote Sensing Indices for Tanjung Piai, Malay Peninsular. *Journal of Landscape Ecology*, 12(2). <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0008>
- Shirer, R., & Zimmerman, C. (2010). *Forest regeneration in New York State*.
- Soto, R., & Jiménez, J., (1982). Análisis fisionómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 30, 161–168.
- Tsitsoni, T. (1997). Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *Forest Ecology and Management*, 92(1–3). [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03909-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03909-6)
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Bermy, E. I., & De Jesús-Navarrete, A. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Volpato, M. M. . (1994). *Regeneração natural em uma floresta secundária no domínio de Mata Atlântica: uma análise fitossociológica*. Universidade Federal de Viçosa.
- Vovides, A. G., López-Portillo, J., & Bashan, Y. (2011). N₂-fixation along a gradient of long-term disturbance in tropical mangroves bordering the gulf of Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, 47(5). <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0562-4>
- Wang, W., Fu, H., Lee, S. Y., Fan, H., & Wang, M. (2020). Can Strict Protection Stop the Decline of Mangrove Ecosystems in China? From Rapid Destruction to Rampant Degradation. *Forests*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/f11010055>
- Zamprogno, G. C., Tognella, M. M. P., Quaresma, V. da S., Costa, M. B. da, Pascoalini, S. S., & Couto, G. F. do. (2016). The structural heterogeneity of an urbanised mangrove forest area in southeastern Brazil: Influence of environmental factors and anthropogenic stressors. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(2). <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016111706402>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

EVALUACIÓN DE UNA RESTAURACIÓN MEDIANTE DRON EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

EVALUATION OF A RESTORATION THROUGH DRONE IN THE TAMAULIPECO THORNSCRUB

Gutiérrez-Barrientos, M.; J.D. Marín-Solís; E. Alanís-Rodríguez y E. Buendía-Rodríguez.
EVALUACIÓN DE UNA RESTAURACIÓN MEDIANTE DRON EN EL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO.
EVALUATION OF A RESTORATION THROUGH DRONE IN THE TAMAULIPECO
THORNSCRUB.



EVALUACIÓN DE UNA RESTAURACIÓN MEDIANTE DRON EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO.

EVALUATION OF A RESTORATION THROUGH DRONE IN THE TAMAULIPECO THORNSCRUB.

Gutiérrez-Barrientos, M.;
J.D. Marín-Solís;
E. Alanís-Rodríguez
y E. Buendía-Rodríguez.

EVALUACIÓN DE UNA
RESTAURACIÓN
MEDIANTE DRON EN EL
MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO.

EVALUATION OF A
RESTORATION THROUGH
DRONE IN THE
TAMAULIPECO
THORNSCRUB.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 71-85. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.5

M. Gutiérrez-Barrientos

J.D. Marín-Solís

*Geoprospect S.A. de C.V. Carretera a la Concha S/N,
Colonia San Felipe, Linares, Nuevo León, México.*

E. Alanís-Rodríguez

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera
Linares-Cd. Victoria km 145. Apartado Postal 41. CP 67700, Linares, N. L. México.*

E. Buendía-Rodríguez / buendia.enrique@inifap.gob.mx

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) -
Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Carretera Los Reyes-Texcoco,
Km 13.5. Coatlinchán CP 56250, Estado de México, México.*

RESUMEN: La evaluación de los proyectos de restauración forestal por su importancia suele efectuarse a largo plazo con evaluaciones intermedias, por lo que se requiere nuevas metodologías que requiera disminuir los tiempos de evaluación en campo mediante drones. El objetivo de este trabajo fue probar la utilidad de un sistema transportado por drones para el monitoreo de una plantación forestal. Se realizó la evaluación en campo de sobrevivencia y estado de vigor de 18,520 plantas, registrando la ubicación, especie, sobrevivencia (V = vivo, M = muerto) y vigor de la planta (M = Malo, R = Regular y B = Bueno). El vuelo se realizó con un dron marca Wingtra, equipado una cámara multiespectral Micasense® Altum® de seis sensores de nueva generación (azul, verde, rojo, borde rojo, infrarrojo cercano y térmico) con esta información se calculó el NDVI y se realizó la extracción de los valores según un búfer de 30 cm (punto central, promedio, mediana y mayoría del búfer) de la coordenada de ubicación de la planta. Se determinó que los valores promedio del NDVI para plantas muertas fue de 0.266 ± 0.053 y las plantas vivas de 0.482 ± 0.105 , donde se obtuvo un 57.72% de exactitud global. Para el vigor, se obtuvo una exactitud global de 43.79% con el valor central del NDVI, el promedio del vigor malo fue de 0.226 ± 0.054 , el vigor regular 0.365 ± 0.009 y, por último, el vigor bueno 0.506 ± 0.01 . Se concluye que, el sensor multiespectral transportado por dron tiene potencial de ser usado para evaluar plantaciones forestales de especies mixtas del matorral espinoso tamaulipeco.

Palabras clave: Dron, NDVI, sobrevivencia, vigor.

ABSTRACT: The evaluation of forest restoration projects due to their importance is usually carried out in the long term with intermediate evaluations, which is why new methodologies are required that require reducing evaluation times in the field using drones. The objective of this work was to test the usefulness of a system carried by drones for the monitoring of a forest plantation. The field evaluation of survival and vigor status of 18,520 plants was carried out, recording the location, species, survival (V = alive, M = dead) and vigor of the plant (M = Bad, R = Regular and B = Good). It was determined that the average NDVI values for dead plants were 0.266 ± 0.053 and live plants were 0.482 ± 0.105 , where a global accuracy of 57.72% was obtained. For vigor, a global accuracy of 43.79% was obtained with the central value of the NDVI, the average for bad vigor was 0.226 ± 0.054 , for regular vigor 0.365 ± 0.009 and,

finally, for good vigor 0.506 ± 0.01 . It was concluded that the multispectral sensor carried by drone has the potential to be used to evaluate forest plantations of mixed species of the Tamaulipas thorny scrub.

Key word: Drone, NDVI, survival, vigor.

INTRODUCCIÓN

La conservación, gestión y restauración de los recursos forestales son objetivos del desarrollo socioeconómico sustentable (Katila *et al.*, 2019). La evaluación de los proyectos de restauración forestal suele efectuarse a largo plazo con evaluaciones intermedias (Barbati *et al.*, 2007). Las evaluaciones intermedias sirven para evaluar el éxito o fracaso así emprender acciones correctivas de gestión (Pequeño-Ledezma *et al.*, 2016). Generalmente, la evaluación de los proyectos de restauración forestal se realiza *in situ*, midiendo directamente variables dasométricas y determinando la vigorosidad de los árboles o arbustos plantados (Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V.M., Collantes-Chavéz-Costa, A., Buendía-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Sánchez-Castillo, L., 2021; Alanís Rodríguez *et al.*, 2016).

Sin embargo, el seguimiento de la condición de los árboles y arbustos mediante inventarios *in situ* a grandes escalas demanda largos periodos de tiempo y altos costos económicos (van Leeuwen & Nieuwenhuis, 2010). Para disminuir los tiempos de evaluación en campo se requiere de nuevas metodologías como el uso de la teledetección, una de esas técnicas es la evaluación mediante vehículos aéreos no tripulados (dron, también conocidos como drones) (Doi, 2020). El uso de sensores remotos transportados por vehículos aéreos no tripulados en estudios forestales, ecológicos y de restauración ecológica está aumentando en los últimos años (Anderson & Gaston, 2013; Cao, W.; Wu, J.; Shi, Y.; Chen, 2022; Gallardo-Salazar, J. L., Pompa-García, M., Aguirre-Salado, C. A., López-Serrano, P. M., & Meléndez-Soto, 2020; Goodbody *et al.*, 2017).

Estos drones son una alternativa para evaluar el estado fitosanitario y supervivencia de las plantas a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), calculado a partir de imágenes multiespectrales de alta resolución (Almeida *et al.*, 2019). El NDVI se utiliza con frecuencia para monitorear sequías, predecir la producción agrícola, ayudar a predecir zonas de incendios y áreas de desertización, así como el vigor de la vegetación de las cuales es posible extraer información valiosa acerca de la fenología de la vegetación (Reed B. *et al.*, 2009). Asimismo el NDVI es el índice preferido para el seguimiento global de la vegetación, ya que ayuda a compensar cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie sobre la cual se asientan las plantas, exposiciones de laderas y otros factores externos (Wang *et al.*, 2004).

Los drones presentan un enorme potencial para el monitoreo de comunidades forestales y puede ser una herramienta crucial para la toma de decisiones en los proyectos restauración forestal (Almeida *et al.*, 2019; Doi, 2020). Aunque actualmente se ha incrementado el uso de drones, es necesario la generación o adaptación de esta tecnología en diversas comunidades vegetales, por lo que, en esta investigación se exploró el potencial de un sistema transportado por dron para evaluar una plantación forestal de especies mixtas en el matorral espinoso tamaulipeco. El objetivo fue evaluar el uso de un sistema dron para cuantificar las variables de sobrevivencia y vigor de los árboles y arbustos los cuales se analizaron con las evaluaciones realizadas en el campo para el monitoreo espacial de una plantación forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se localiza en el sur de la Central Eléctrica Pesquería, ubicada en municipio de Pesquería,

Nuevo León, México (Fig. 1). En esta zona se encuentra el área de restauración conformada por 11 lotes y un total de 18,520 plantas del matorral espinoso tamaulipeco (MET). El clima es templado semicálido húmedo con temperatura promedio de 21.1 °C y precipitación máxima de 550 mm de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por (García, 2004). El tipo de suelo es vertisol y castañozem (Alanís Rodríguez *et al.*, 2016).

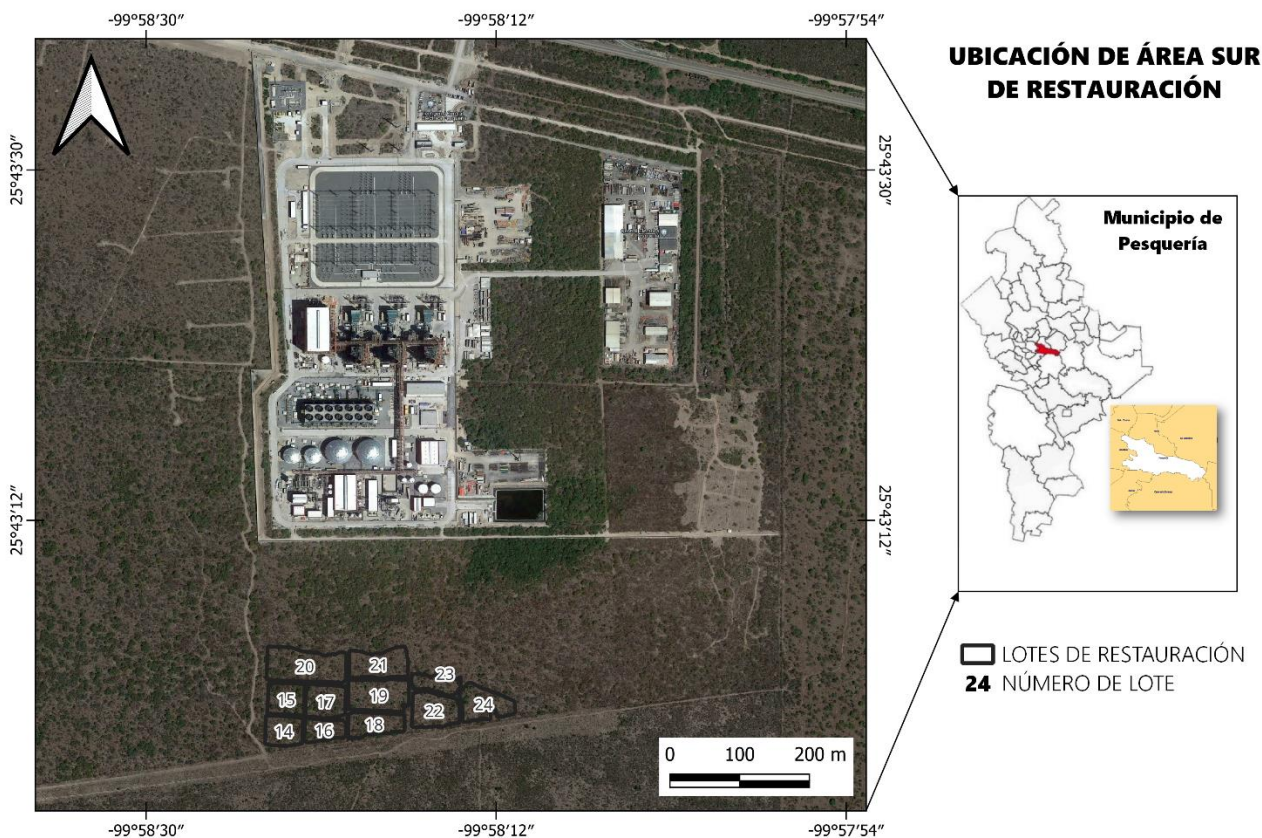


Fig. 1. Localización del área de estudio.

Datos de campo

La evaluación en campo se realizó con un censo de los individuos plantados en la reforestación evaluando supervivencia y vigor, para lo cual se registró: Ubicación (clave de identificación, sitio de plantación, sección, línea y coordenadas UTM (x, y) tomadas con GPS Topcon® GR-5 de alta precisión), además para cada planta, se determinó la sobrevivencia (V = viva, M = muerta), donde muerta se consideró a las plantas con el tallo principal y secundario muerta, totalmente desprovisto de hojas y viva (V) con algún indicio de ello. Asimismo, para evaluar el vigor (M = malo, R = regular y B = bueno), se tomó en cuenta que: para el vigor malo (M), plantas con estrés hídrico, tallos con pocos indicios de vida con hojas remanentes de color amarillo, café y/o blanco, fácilmente caedizas por manipulación; vigor regular (R), plantas bajo estrés hídrico ligero, tallos con baja densidad foliar, hojas en un solo estado de desarrollo (sin rebrotes) algunas caedizas y de color menos intenso que en su estado pleno; vigor bueno (B), plantas en condición hídrica adecuada, tallos sanos con mayor densidad de follaje, hojas en desarrollo y bien desarrolladas, algunas hojas presentan color intenso, algunas de plantas pueden presentar rebrotes e inflorescencias.

Información multispectral

Para la obtención de las imágenes se utilizó un dron marca Wingtra® que se caracteriza por su despegue y aterrizaje vertical, está considerado como de ala fija y propulsión eléctrica con una envergadura del ala de 125 cm, con un peso de 3.7 kg, que incorpora a bordo tecnología avanzada que permite estabilizar y volar mediante GPS (Fig. 2). El vuelo se realizó en diciembre del 2020 en dirección E-W a una altura de 75 m a partir del nivel del suelo y se voló a una velocidad de 10 m s^{-1} , las imágenes resultado del vuelo tienen una resolución espacial del pixel de 3.25 cm^2 .



Fig. 2. Dron Wingtra® con cámara Altum®.

La cámara multispectral fue una MicaSense® Altum® que tiene un peso de 406.5 g con un tamaño de 8.2 cm x 6.7 cm x 6.45 cm y esta provista de 6 sensores: azul (475 nm), verde (560 nm), rojo (668 nm), límite del rojo (717 nm), infrarrojo cercano (842 nm) y térmico (8-14 nm). El procesamiento de las imágenes multispectrales fue realizado con el software PIX4D® para generar el ortomosaico de la zona de estudio, de cada una de las bandas (Castillo et al., 2018; Samy Kharuf-Gutierrez, Luis Hernández-Santana, Rubén Orozco-Morales & Díaz, 2018).

Se utilizó el NDVI, el cual es un indicador de la salud de la vegetación y funciona comparando matemáticamente la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada. (Congalton & Green, 2019). Se calculó con la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{\text{infrarrojo cercano} - \text{roja}}{\text{infrarrojo cercano} + \text{roja}}$$

Una vez que se generó la banda con valores de -1 a 1 nivel digital correspondiente al NDVI, se realizó la extracción de valores espectrales para evaluar la supervivencia y el vigor, para lo cual se utilizó un archivo con las coordenadas UTM de la ubicación de cada planta, donde se probaron cuatro tipos de valores: Uno de ellos fueron los valores puntuales del pixel central; para los siguientes tres se ocupó un búfer circular de 30 cm y se obtuvo información estadísticas básicas de media, mediana y mayoría, respectivamente, para el establecimiento de los rangos de vigor previamente definidos (malo, regular, bueno), estos procedimientos se realizaron en el software QGIS® versión 3.18.1.

Análisis estadístico

Para la evaluación de las plantas utilizadas para la restauración de 18,520 plantas, del total de los registros se segmentaron en tres grupos en forma aleatoria: uno sirvió para realizar los análisis para determinar los rangos espectral del NDVI donde se extrajo los datos de sobrevivencia (viva o muerta) y vigor (malo, regular, bueno) (75%, 13,890 plantas) y otros dos

grupos que se utilizaron para la evaluación de la sobrevivencia (10%, 1,852 plantas) y otro 10% diferente para evaluar vigor (1,852 plantas) (Fig. 3).

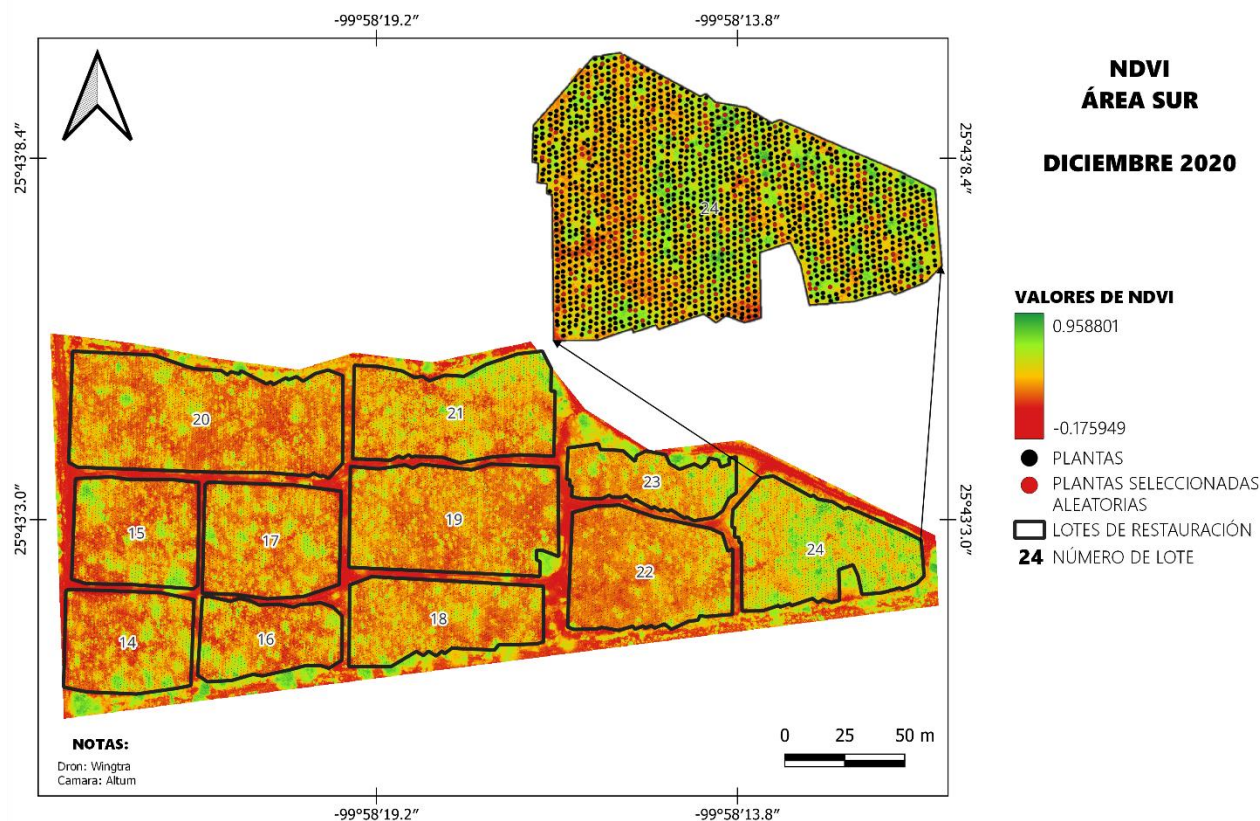


Fig. 3. Mapa del NDVI para el área de estudio con las plantas de la reforestación.

Con el primer grupo de datos (75%), se realizaron pruebas para evaluar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, para verificar que se cumplieran los supuestos de los residuales ambas con un grado de significancia ($\alpha < 0.05$), con ayuda del software SPSS® ver 19.0. Ya que se comprobó el cumplimiento de los supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor (una con sobrevivencia y otra con vigor) para los valores puntuales de NDVI, valores promedio de búfer, valores de mediana del búfer y valores de mayoría del búfer, se utilizó la prueba de Tukey para determinar si existían diferencias significativas ($\alpha < 0.05$), esto con la finalidad de asignar los rangos digitales tanto de sobrevivencia y de vigor (malo, regular y bueno) (Zar, 2010).

Además, con los dos grupos de datos se realizó la verificación de campo mediante la clasificación de supervivencia (10%) y del vigor (10%, sin los individuos considerados muertos), con esta información se generó una matriz de confusión para cada uno de los grupos de datos analizados, donde se visualiza la exactitud del usuario que representa los valores clasificados de manera correcta y la exactitud del producto que representa los valores verificados en campo (Clase real), así como, los errores de omisión que representan los individuos que pertenecieron a una categoría no fueron incluidas en ella y los errores de comisión que representan las plantas incluidas en una categoría, cuando realmente no pertenecen a ella. Además, se calculó exactitud global la cual representa los individuos que fueron clasificados de manera correcta (diagonal principal) y el índice Kappa (k) que determina el ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación y mide la diferencia entre clasificación

contra la realidad observada y reduce la que se esperaría simplemente por el azar (Chuvieco, 1996; Congalton & Green, 2019).

RESULTADOS

Estadísticas básicas de la plantación

La restauración se realizó con 22 especies de la nativa región, de las cuales el 80% lo componen seis especies: *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose (29.23%), *Leucophyllum frutescens* (Berland.) I. M. Johnst. (15.79%), *Parkinsonia aculeata* L. (11.22%), *Acacia farnesiana* (L.) Willd. (10.84%), *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg. (6.93%) y *Acacia rigidula* Benth. (5.27%). Del total de los individuos plantados el 23.93% no sobrevivieron (muertas), mientras que el 76.07% sobrevivieron; 31.88% con vigor bueno, 33.89% con vigor regular y un 10.3% con vigor malo.

En el comportamiento de sobrevivencia y vigor por especie presenta diferencia en los porcentajes, la especie que mayor porcentaje de mortandad fue *Zanthoxylum fagara* (49.49%) y también fue la que presentó menor porcentaje de vigor bueno. Mientras que la que menor porcentaje de muertas fue *Leucophyllum frutescens* (16.04%), y es la que mayor porcentaje de vigor bueno presentó (55.75%). La mayoría la mortandad por especie se encuentra en un rango de 20 a 30%, en tanto que, el vigor malo se ubica desde 4 hasta 16%. El vigor regular varía de 21 a 46%, y muy similar el vigor bueno con un rango de 21 hasta 56% (Fig.4).

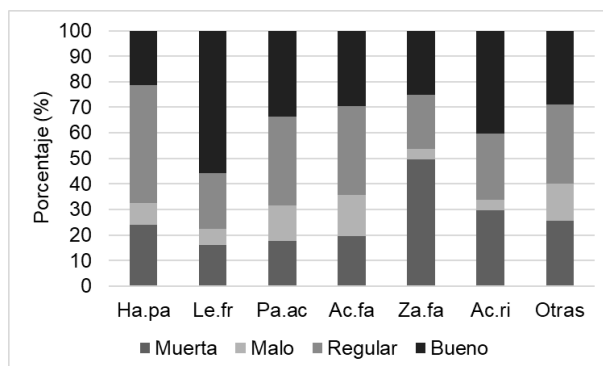


Fig. 4. Valores de sobrevivencia y vigor obtenidos en campo. Donde Ha.pa: *Havardia pallens*, Le.fr: *Leucophyllum frutescens*, Pa.ac: *Parkinsonia aculeate*, Ac.fa: *Acacia farnesiana*, Za.fa: *Zanthoxylum fagara*, y Ac.ri: *Acacia rigidula*.

Asignación de rangos digitales

Una vez que se definieron los rangos y se realizó la asignación de los valores digitales de vigor por cada clase digital, se encontró que existe una diferencia significativa entre los dos grupos (viva y muerta) (Fig. 5).

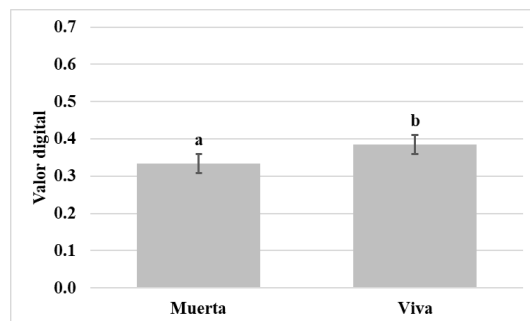


Fig. 5. Evaluación de la sobrevivencia, promedio y error estándar de valores digitales del NDVI. Letras (a y b) indican niveles diferentes de significancia para $\alpha < 0.05$.

En tanto que, para la asignación de las clases en los cuatro tipos de datos para determinar el vigor se encontró que existen diferencias significativas para todos los casos con un $\alpha < 0.05$; con valores de F de 392.451, 412.106, 404.417 y 281.899, para los valores de puntuales del NDVI (Fig. 6a), valores promedio del búfer (Fig. 6b), valores de mediana del búfer (Fig. 6c) y valores de mayoría del búfer (Fig. 6d), respectivamente.

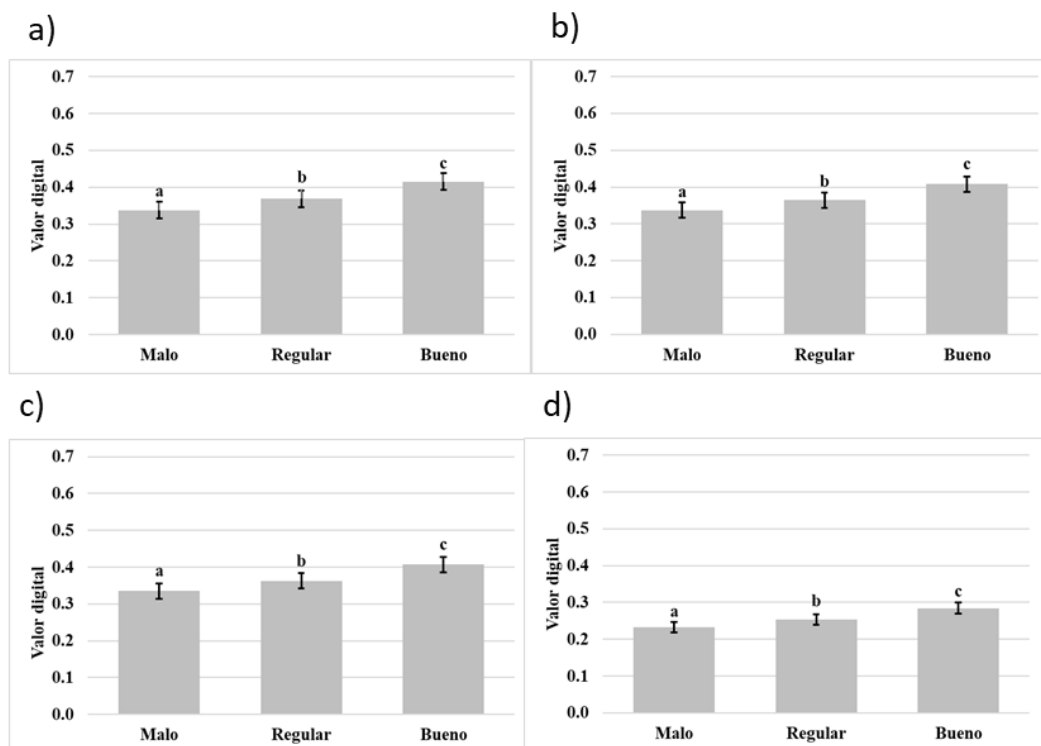


Fig 6. Evaluación de vigor: a) valores del punto central del NDVI, b) valores promedio del búfer, c) valores mediana del búfer d) valores de mayoría del búfer. Letras (a, b y c) indican niveles diferentes de significancia para $\alpha < 0.05$.

Evaluación de la clasificación de sobrevivencia

Al realizar la evaluación de sobrevivencia de las plantas con la información del 10% utilizado para la evaluación de la sobrevivencia se encontró que el 17.0% fue clasificada como muerta, mientras que, el 40.8% se clasificó como vivas. El rango digital de NDVI que corresponde a las plantas muertas van desde 0.026 hasta 0.35, mientras que, para las plantas vivas fueron valores

digitales del NDVI mayores del 0.35 hasta 0.0914. Los valores promedios para las plantas muertas fueron de 0.266 ± 0.053 (promedio \pm desviación estándar), mientras que, para las plantas vivas el promedio fue de 0.482 ± 0.105 (Fig. 7).

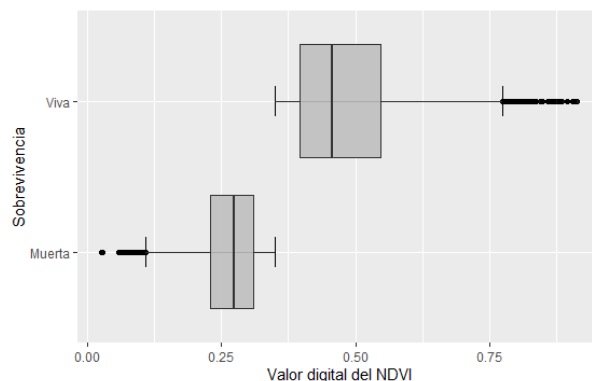


Figura 7. Gráfica de valores promedio, desviación estándar y cuartiles de la sobrevivencia. Los puntos negros representan datos atípicos.

En la matriz de confusión se puede observar que la exactitud del usuario (clasificación con el método propuesto) para las plantas muertas fue de 33.87%, un 31.01% menor a lo registrado en campo, mientras que para las plantas clasificadas como viva la exactitud del usuario fue del 81.62%, que fue mayor a lo registrado en campo (55.20%) (Tabla 1). Por lo que, la exactitud global al separar las plantas vivas de las muertas mediante el análisis del NDVI fue de 57.72% y un valor kappa de 0.155.

Tabla 1. Matriz de confusión para evaluar la sobrevivencia.

| | <i>Muerta</i> | <i>Viva</i> | <i>Total</i> | <i>Exactitud del producto</i> | <i>Errores de omisión</i> |
|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|
| Muerta | 314 | 170 | 484 | 64.88 | 35.12 |
| Viva | 613 | 755 | 1368 | 55.20 | 44.80 |
| Total | 927 | 925 | 1852 | | |
| Exactitud del usuario | 33.87 | 81.62 | | | |
| Error de comisión | 66.13 | 18.38 | | | |
| | | | | Exactitud Global | 57.72 |
| | | | | Kappa | 0.155 |

Evaluación de la clasificación del vigor

Para la clasificación del vigor, la información quedó clasificada con el 22.8% con vigor malo, mientras que, para el vigor regular fue del 3.2% y, por último, el 17.7% fue clasificado como vigor bueno. Los rangos de valores digitales puntual del NDVI para las plantas con vigor malo fue 0.226 ± 0.054 , para el vigor regular fue de 0.365 ± 0.009 , y el vigor bueno fue de 0.506 ± 0.01 (Fig. 8a).

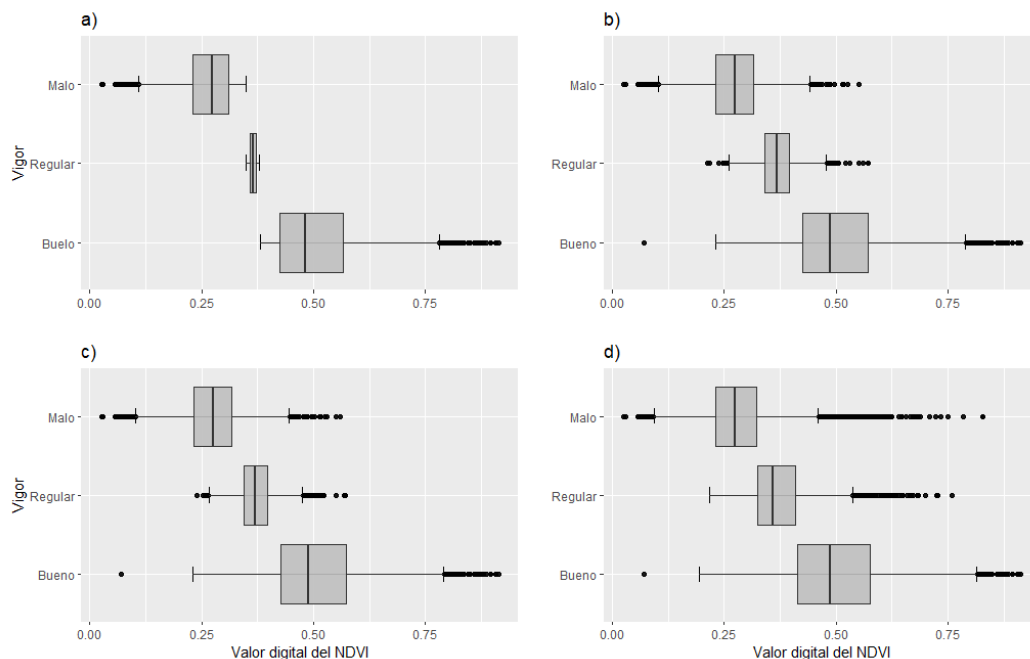


Fig. 8. Gráfica de valores promedio, desviación estándar y cuartiles de vigor: a) valores del NDVI, b) valores promedio del bufer, c) valores de mediana del bufer, y d) valores de mayoría del buffer. Los puntos negros representan datos atípicos.

Como resultado de la matriz de confusión producto de la clasificación del vigor mediante el análisis de los valores promedio del búfer (Tabla 2), la exactitud del usuario solo fue del 47.63, 38.46 y 42.65%, para vigor malo, regular y bueno, respectivamente. El porcentaje de exactitud del usuario (clasificación) fue menor para vigor malo y regular fue menor al clasificado en campo (16.17 y 15.2, respectivamente), mientras que para el vigor regular la fue mayor en un 28.81% del total, que representa un error de omisión del 90.53%. La exactitud global fue de 43.79% y el valor kappa de 0.155.

Tabla 2. Matriz de confusión para evaluar vigor con valores del NDVI.

| | Malo | Regular | Bueno | Total | Exactitud del producto | Errores de omisión |
|------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------------------------|--------------------|
| Malo | 423 | 50 | 190 | 663 | 63.80 | 36.20 |
| Regular | 311 | 60 | 251 | 622 | 9.65 | 90.35 |
| Bueno | 193 | 46 | 328 | 567 | 57.85 | 42.15 |
| Total | 927 | 156 | 769 | 1852 | | |
| Exactitud del usuario | 47.63 | 38.46 | 42.65 | | | |
| Error de comisión | 54.37 | 61.54 | 57.35 | | | |
| | | | | | Exactitud Global | 43.79 |
| | | | | | Kappa | 0.155 |

Para clasificación de vigor mediante del promedio del búfer del NDVI, se puede observar que el 22.8% fue clasificada como malo, mientras que solo el 3.4% se clasificó como vigor regular y el 17.6% como vigor bueno. Los rangos digitales de los valores promedios del NDVI para el vigor malo fue 0.272 ± 0.061 , para el vigor regular fue de 0.369 ± 0.043 , y el vigor bueno fue de 0.504 ± 0.106 (Fig. 8b), estos valores fueron muy similares a los encontrados con solo un pixel. En matriz de confusión (Tabla 3), se puede observar que la exactitud de la clasificación (usuario) fue menor para el vigor malo 17.83% y 14.89% para vigor bueno, al contrario que para el vigor regular fue mayor en un 27.82%, representando el mayor error de omisión (89.87% de los individuos mal clasificados). La exactitud global fue de 43.79% y un valor kappa de 0.155.

Tabla 3. Matriz de confusión para evaluar vigor con valores promedio del búfer.

| | Malo | Regular | Bueno | Total | Exactitud del producto | Errores de omisión |
|------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------------------|--------------------|
| Malo | 422 | 41 | 200 | 663 | 63.65 | 36.35 |
| Regular | 320 | 63 | 239 | 622 | 10.13 | 89.87 |
| Bueno | 179 | 62 | 326 | 567 | 57.50 | 42.50 |
| Total | 921 | 166 | 765 | 1852 | | |
| Exactitud del usuario | 45.82 | 37.95 | 42.61 | | | |
| Error de comisión | 54.18 | 62.05 | 57.39 | | | |
| | | | | | Exactitud Global | 43.79 |
| | | | | | Kappa | 0.155 |

Con la información clasificada de los valores de mediana del búfer del NDVI se encontró que el 23.1% fue clasificada como vigor malo, mientras que el 3.0% se clasificó como vigor regular y el vigor bueno con una 17.5%. En cuanto al rango digital para el vigor malo fue 0.275 ± 0.062 , para el vigor regular fue de 0.372 ± 0.042 , y el vigor bueno fue de 0.507 ± 0.105 (Figura 8c). Con esta información se extrajo de la matriz de confusión (Tabla 4), el comportamiento de la clasificación fue muy similar a la clasificación puntual del NDVI, la exactitud de las clases de vigor malo y bueno fue menor a la clasificación obtenida en campo en un 19.26 y 14.13% del total, de modo contrario, las plantas clasificadas como vigor regular fue mayor al obtenido en campo (exactitud del usuario) en un 28.33%, teniendo un error de omisión del 91%. La exactitud global fue de 43.63% y un valor kappa de 0.152.

Tabla 4. Matriz de confusión para evaluar vigor con valores mediana del búfer.

| | Malo | Regular | Bueno | Total | Exactitud del producto | Errores de omisión |
|------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------------------|--------------------|
| Malo | 428 | 41 | 194 | 663 | 64.56 | 35.44 |
| Regular | 327 | 56 | 239 | 622 | 9.00 | 91.00 |
| Bueno | 190 | 53 | 324 | 567 | 57.14 | 42.86 |
| Total | 945 | 150 | 757 | 1852 | | |
| Exactitud del usuario | 45.30 | 37.33 | 42.80 | | | |
| Error de comisión | 54.70 | 62.67 | 57.20 | | | |
| | | | | | Exactitud Global | 43.63 |
| | | | | | Kappa | 0.152 |

Por último, en la matriz de confusión (Tabla 5) donde se evalúa la clasificación del vigor de las plantas mediante el análisis de mayoría del búfer, se observó que el 21.5% fue clasificada como malo, mientras que el 4.2% se clasificó como vigor regular y el 15.2% fue clasificada con vigor bueno. Los valores digitales de la mayoría del búfer, para el vigor malo fue 0.282 ± 0.077 , para el vigor regular fue de 0.373 ± 0.070 , y el vigor bueno fue de 0.502 ± 0.112 (Fig. 8d). La exactitud del usuario fue del 43.5, 39.58 y 34.36%, para el vigor malo, bueno y regular, respectivamente, del mismo modo que los análisis anteriores la clasificación del vigor malo fue subestimada en un 16.53%, y en menor medida el vigor bueno con un 9.98%, de modo contrario, el vigor regular fue sobreestimado en un 21.82%, lo que se refleja en la exactitud global de 40.87% y un valor kappa de 0.110.

Tabla 5. Matriz de confusión para evaluar vigor con valores de mayoría del búfer.

| | Malo | Regular | Bueno | Total | Exactitud del producto | Errores de omisión |
|------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------------------|--------------------|
| Malo | 398 | 71 | 194 | 663 | 60.03 | 39.97 |
| Regular | 309 | 78 | 235 | 622 | 12.54 | 87.46 |
| Bueno | 208 | 78 | 281 | 567 | 49.56 | 50.44 |
| Total | 915 | 227 | 710 | 1852 | | |
| Exactitud del usuario | 43.50 | 34.36 | 39.58 | | | |
| Error de comisión | 56.50 | 65.64 | 60.42 | | | |
| | | | | | Exactitud Global | 40.87 |
| | | | | | Kappa | 0.110 |

DISCUSIÓN

Las especies utilizadas como son: *Zanthoxylum fagara* y *Acacia rigidula* presenta un alto estrés hídrico en los meses de diciembre-enero lo que dan la impresión de que se encuentra muertas, y tanto en campo como en la clasificación por medios espectrales es muy difícil diferenciar las muertas del vigor malo, lo que con lleva una baja precisión en la etapa de asignación de clase.

Existen varios datos atípicos (outlier) que se deben a las diversas condiciones del terreno, como son: las plantas están cubiertas por otras plantas más altas, existen áreas sin cubierta vegetal, y existen otras plantas que no fueron plantadas (regeneraron de manera natural), estas condiciones alteran los valores del NDVI, por lo tanto, contribuyen los errores de comisión, ubicando condiciones de vigor en campo mal clasificadas, que repercuten desde un 14.13% hasta un 28.33 % en la exactitud del producto de la clasificación.

La clasificación que menor exactitud obtuvo fue la realizada con la mayoría del búfer apenas alcanzó un 40.87%, que en comparación con el resto de los valores analizados resultó más bajo, fueron en promedio menores a 0.3%, además, los valores atípicos ninguno sobrepasa valores de 0.8, esto ocasiona que en promedio el 15% del vigor esté mal clasificada.

En general, la clasificación que mejor resultado obtuvo fue la generada a partir de pixel central del NDVI (43.79%), lo que sugiere que no es necesario hacer búfer para obtener información de la zona cercana donde se encuentra la planta debido a la ubicación de esta fue realizada con una GPS de buena precisión.

Las plantas clasificadas como vigor malo la precisión fue mayor al 21.5%, que es mejor a la clasificación sola de la sobrevivencia (viva o muerta, 17.0%). Cuando se clasificó el vigor

regular la precisión fue menor a 4.2%, lo que puede indicar que es una clase que tiene gran variabilidad posiblemente por la etapa fisiológica en la que se encuentran las diferentes especies que se evaluaron. La clase de vigor bueno apenas alcanzó el 17.5% en los diferentes tratamientos.

El vigor malo tuvo como promedio del valor digital de 0.226, 0.272, 0.275 y 0.282 en los diferentes tratamientos, los cuales se ubican dentro del rango espectral definido para las plantas muertas, esto se debe a las características fisiológicas de las plantas y a las características con las que se diferenciaron en campo esa condición, donde el menor indicio de que la planta estaba viva se consideraba como vigor malo, esta circunstancia hace difícil la diferenciación espectral del nivel digital del NDVI.

Los valores de kappa fueron similares en todas las clasificaciones con un 0.155 para valores puntuales del NDVI, y los valores promedios del búfer, 0.152 para los valores de mediana del búfer y el más bajo fue el de mayoría del búfer con un 0.110, lo que indica que la precisión es muy baja, aproximadamente un 30% de la exactitud es asumido por simplemente al azar.

Los rangos digitales del NDVI reportados para las plantas muertas en este estudio (0.266 ± 0.053) son similares a los encontrados por (Plaza Duarte, 2020), donde realizaron la evaluación de vigorosidad en plantaciones de teca (*Tectona grandis*), con valores menores a 0.2 indicaban árboles muertas o de poco vigor, ligeramente menor al promedio de este estudio (0.266). Para el vigor medio el rango fue de 0.2 a 0.3 y mayores a 0.3 con vigor alto, estos valores son menores a los encontrados en este estudio donde los valores aproximados de vigor regular fueron de 0.36, de la misma forma los valores de vigor bueno fueron mayor a 0.50. Otro estudio similar fue el realizado por (Estrada Zúñiga & Vásquez, 2021), en el cual identificaron *Parastrephia lepidophyllis* una especie arbustiva del Perú por medio NDVI, ubicada en el rango de 0.20 a 0.45, este rango fue muy similar a los obtenidos en este estudio. Un estudio en la India evaluaron diferentes cuatro tipos de bosque determinando rangos espectrales de NDVI clasificándolo con coeficiente de correlación de 0.638, un 10% más alto que el porcentaje obtenido en este estudio, dejando plasmado que la utilización de este tipo de índices (NDVI) para evaluar vegetación tiene correlaciones bajas (Prasad, V.K., Anuradha, E. & Badarinath, 2005).

Debido a que los estudios con sensores multiespectral montados en drones son de reciente incorporación para evaluar ecosistemas áridos y semiáridos es necesario hacer las comparaciones con estudios realizados con imágenes de satélite, por ejemplo, el realizado por (Hernández Ramos *et al.*, 2020) donde generaron modelos con la inclusión del NDVI para estimar peso verde y cobertura en *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. con coeficientes de correlación de 0.163 y 0.220, respectivamente, haciendo evidente que la clasificación de las especies de zonas áridas y semiáridas es difícil clasificar por medios espectrales.

En un estudio realizado por (Chemura *et al.*, 2017) monitorearon la sanidad en plantaciones de café utilizando NDVI con imágenes de satélite del sensor LandSat 8 OLI, encontraron una exactitud global de 68.1 %, valor superior a este estudio.

Algunos autores sugieren que la incorporación de otras bandas como el infrarrojo cercano o la banda del rojo aumenta la precisión para la detección de plantas vivas después de un incendio, alcanzando valores de coeficiente de correlación de 0.46 a 0.79 (White *et al.*, 2018).

Los resultados encontrados en este trabajo pueden ser pauta para nuevos estudios que puedan sentar las bases para evaluar el estado de vigorosidad de las plantaciones/reforestaciones en ecosistemas áridos y/o semiáridos del territorio nacional.

CONCLUSIONES

Los sensores transportados por dron tienen potencial de ser usado para evaluar plantaciones forestales de especies mixtas en el matorral espinoso tamaulipeco. Esta evaluación mediante dron permite evaluaciones que puede ser utilizada para emprender acciones correctivas en las plantas basadas en la detección temprana de problemas. La metodología utilizada en este estudio permitió discriminar las plantas muertas y vivas con una exactitud global de 57.72% y se determinó con un 43.79% de precisión global el vigor de las plantas (malo, regular y bueno).

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V.M., Collantes-Chavéz-Costa, A., Buendía-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Sánchez-Castillo, L., A.-R. A. G. (2021). Structure, composition and carbon Stocks of woody plant community in assisted and unassisted ecological succession in a Tamaulipan thornscrub, Mexico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 94(6), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40693-021-00102-6>
- Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., Rechy Palmeros, L., Alcalá Rojas, A. G., Marín Solís, J. D., & Pequeño Ledezma, M. Á. (2016). Composición, diversidad y sobrevivencia de un área restaurada en el Complejo Siderúrgico de Ternium, Pesquería, México. In E. Ceccon & C. Martínez-Garza (Eds.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (Primera ed, pp. 255–274). Universidad Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.crim.unam.mx/web/sites/default/files/Experiencias_mexicanas.pdf
- Almeida, D. R. A., Broadbent, E. N., Zambrano, A. M. A., Wilkinson, B. E., Ferreira, M. E., Chazdon, R., Meli, P., Gorgens, E. B., Silva, C. A., Stark, S. C., Valbuena, R., Papa, D. A., & Brancalion, P. H. S. (2019). Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 79(March), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.014>
- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146. <https://doi.org/10.1890/120150>
- Barbati, A., Corona, P., & Marchetti, M. (2007). A forest typology for monitoring sustainable forest management: The case of European Forest Types. *Plant Biosystems*, 141(1), 93–103. <https://doi.org/10.1080/11263500601153842>
- Cao, W.; Wu, J.; Shi, Y.; Chen, D. (2022). Restoration of Individual Tree Missing Point Cloud Based on Local Features of Point Cloud. *Remote Sensing*, 14(1346), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14061346>
- Castillo, D. D., Jara, C. A., Ricaurde, C. B., Vaca, B. E., & Quevedo, L. A. (2018). Photosynthetic activity and canopy height model determined by uav rgb and ir close-range remote-sensing in the high andean polylepis relict forest, Ecuador. *Bulletin of the Transylvania University of Braşov*, 11(60), 1–16. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58631769/Photosynthetic-with-cover-page-v2.pdf>
- Chemura, A., Mutanga, O., & Dube, T. (2017). Integrating age in the detection and mapping of incongruous patches in coffee (*Coffea arabica*) plantations using multi-temporal Landsat 8 NDVI anomalies. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 57, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.12.007>
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Tercera ed). RIAL.
- Congalton, R., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Third Edition*. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Doi, R. (2020). Assessing the reforestation effects of plantation plots in the Thai savanna based on 45 cm resolution true-color images and machine learning. *Environmental Research Letters*, 16(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcfe3>
- Estrada Zúñiga, A. C., & Vásquez, J. Ñ. (2021). Detection and identification of high Andean

Recibido:
23/septiembre/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- plant communities, Wetlands and Tolar de Puna Seca by means of RGB and NDVI orthophotos in “Unmanned Aerial Systems” drones. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 291–301. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.032>
- Gallardo-Salazar, J. L., Pompa-García, M., Aguirre-Salado, C. A., López-Serrano, P. M., & Meléndez-Soto, A. (2020). Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Gallardo-Salazar, J. L., Pompa-García, M., Aguirre-Salado, C. A., López-Serrano, P. M., & Meléndez-Soto, A. (2020). Drones: Tecnología Con Futuro Promisorio En La Gestión Forestal. Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 27–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.794>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (Quinta Ed.). Instituto de Geografía - UNAM. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Marshall, P. L., Tompalski, P., & Crawford, P. (2017). Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. *Forestry Chronicle*, 93(1), 71–81. <https://doi.org/10.5558/tfc2017-012>
- Hernández Ramos, A., Cano Pineda, A., Buendía Rodríguez, E., Tamarit Urias, J. C., & Hernández Ramos, J. (2020). Mapeo del peso verde y cobertura arbística de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. con datos espectrales del satélite Sentinel-2. In I. Orona Castillo, A. Amador Machado, J. Puentes Gutiérrez, M. Fortis Hernández, P. Preciado Rangel, & F. J. Ruiz Ortega (Eds.), *Memoria de la XXXII Semana Internacional de Agronomía* (1ra ed., pp. 1254–1260). Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia.
- Katila, P., Colfer, C. J. P., de Jong, W., Galloway, G., Pacheco, P., & Winkel, G. (2019). Sustainable development goals: Their impacts on forests and people. *Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People*, 1–617. <https://doi.org/10.1017/9781108765015>
- Pequeño-Ledezma, M., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O., González-Tagle, M. A., & Molina Guerra, V. M. (2016). Criterios a considerar para desarrollar proyectos de restauración ecológica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(2), 94–105. <http://reibci.org/publicados/2016/jun/1600108.pdf>
- Plaza Duarte, H. (2020). *Niveles de vigorosidad de plantaciones de teca, (Tectona grandis), mediante índices de vegetación* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6288>
- Prasad, V.K., Anuradha, E. & Badarinath, K. V. S. (2005). Climatic controls of vegetation vigor in four contrasting forest types of India—evaluation from National Oceanic and Atmospheric Administration’s Advanced Very High Resolution Radiometer datasets (1990–2000). *Int J Biometeorol*, 50, 6–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00484-005-0268-0>
- Reed B., C., Schwartz M., D., & Xiao, X. (2009). Remote sensing phenology: Status and the way forward. In A. Noormets (Ed.), *Phenology of ecosystem processes* (pp. 231–246). Springer. https://doi.org/10.1007/9781-4419-0026-5_10
- Samy Kharuf-Gutierrez, Luis Hernández-Santana, Rubén Orozco-Morales, O. de la C. A., & Díaz, I. D. M. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Revista de Ingeniería Electronica, Automática y Comunicaciones*, 39(2), 79–91. <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v39n2/eac07218.pdf>
- van Leeuwen, M., & Nieuwenhuis, M. (2010). Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 749–770. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0381-4>
- Wang, Q., Tenhunen, J., Dinh, N. Q., Reichstein, M., Vesala, T., & Keronen, P. (2004). Similarities in ground- and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. *Remote Sensing of Environment*, 93(1–2), 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.006>
- White, R. A., Bomber, M., Hupy, J. P., & Shortridge, A. (2018). UAS-GEOBIA approach to sapling identification in jack pine barrens after fire. *Drones*, 2(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/drones2040040>
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Prentice Hall.

EFECTO DE LA COBERTURA Y CONDICIONES EDÁFICAS EN LA PRESENCIA DE *Amoreuxia wrightii* A. Gray, EN EL NORESTE DE MÉXICO

EFFECT OF COVERAGE AND EDAPHIC CONDITIONS ON THE PRESENCE OF *Amoreuxia wrightii* A. Gray, IN NORTHEASTERN MEXICO

Patiño Flores, A.M.; E. Alanís Rodríguez; V.M. Molina Guerra; M.I. Yáñez Díaz, A. Mora Olivo; E. Jurado y H. González Rodríguez.

EFECTO DE LA COBERTURA Y CONDICIONES EDÁFICAS EN LA PRESENCIA DE *Amoreuxia wrightii* A. Gray, EN EL NORESTE DE MÉXICO.

EFFECT OF COVERAGE AND EDAPHIC CONDITIONS ON THE PRESENCE OF *Amoreuxia wrightii* A. Gray, IN NORTHEASTERN MEXICO.



**EFFECTO DE LA COBERTURA Y CONDICIONES EDÁFICAS EN LA PRESENCIA DE
Amoreuxia wrightii A. Gray, EN EL NORESTE DE MÉXICO.**

**EFFECT OF COVERAGE AND EDAPHIC CONDITIONS ON THE PRESENCE OF
Amoreuxia wrightii A. Gray, IN NORTHEASTERN MEXICO.**

Patiño Flores, A.M.;
E. Alanís Rodríguez;
V.M. Molina Guerra;
M.I. Yáñez Díaz,
A. Mora Olivo; E. Jurado
y H. González Rodríguez.

EFFECTO DE LA
COBERTURA Y
CONDICIONES EDÁFICAS
EN LA PRESENCIA DE
Amoreuxia wrightii A. Gray,
EN EL NORESTE DE
MÉXICO.

EFFECT OF COVERAGE
AND EDAPHIC
CONDITIONS ON THE
PRESENCE OF *Amoreuxia*
wrightii A. Gray, IN
NORTHEASTERN MEXICO.

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 87-99 Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.6

A.M. Patiño Flores

E. Alanís Rodríguez / eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41,
CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

V.M. Molina Guerra

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41,
CP 67700, Linares, Nuevo León, México.
RENAC Asesorías Ambientales, S.A. de C.V., Calle Perlitas 127,
Fraccionamiento las Glorias, CP 67710, Linares, Nuevo León, México.

M.I. Yáñez Díaz

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41,
CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

A. Mora Olivo

Instituto de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma de Tamaulipas,
División del Golfo 356, Col., Libertad, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

E. Jurado

Humberto González Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41,
CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

RESUMEN: *Amoreuxia wrightii* es una especie herbácea de uso medicinal, que ha sido catalogada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como en peligro de extinción. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la cobertura de copa, así como las condiciones edáficas donde se desarrolla *Amoreuxia wrightii*. Para ello se evaluaron dos áreas, una con disturbio y otra sin disturbio aparente, con ocho sitios de 10 m x 10 m en cada área. Se determinó el índice de valor de importancia de las especies vegetales presentes, su diversidad, así como la densidad de individuos, área basal, volumen maderable y el área de copa; por otro lado se evaluaron las características físicas y químicas del suelo mediante un análisis de correspondencia canónica. Los resultados indican similitud para los sitios de disturbio y no disturbio en las variables de densidad, área basal y volumen maderable; y diferencias estadísticamente significativas para las variables área de copa, siendo mayor en el área sin disturbio. Para el área con disturbio, la diversidad fue baja mientras que para el área sin disturbio fue media. La diversidad de Shannon fue mayor en el área sin disturbio. El análisis de correspondencia canónica arrojó que *Amoreuxia wrightii* se asocia con especies arbustivas como *Croton cortesianus*, *Vachellia farnesiana* y *Vachellia rigidula* además de preferir suelos arcillosos con valores altos de densidad aparente. *Amoreuxia wrightii* se encuentra solo en áreas con disturbio donde la cobertura es mínima.

Palabras clave: análisis de correspondencia canónica, cobertura, densidad aparente, disturbio, peligro de extinción, suelo arcilloso.

ABSTRACT: *Amoreuxia wrightii* is a herbaceous species for medicinal use, which has been cataloged in NOM-059-SEMARNAT-2010 as in danger of extinction. The objective of this study was to determine the effect of crown cover, as well as edaphic conditions where *Amoreuxia wrightii* develops. For this, two areas were evaluated, one with disturbance and the other without apparent disturbance, with eight sites of 10 m x 10 m in each area. The importance value index of the plant species present, their diversity, as well as the density of individuals, basal area, timber volume and crown area were determined; On the other hand, the physical and chemical characteristics of the soil were evaluated through a canonical correspondence analysis. The results indicate similarity for the disturbed and non-disturbed sites in the variables of density, basal area and timber volume; and statistically significant differences for the canopy area variables, being higher in the area without disturbance. For the disturbed area, diversity was low while for the undisturbed area it was medium. Shannon diversity was greatest in the undisturbed area. The canonical correspondence analysis showed that *Amoreuxia wrightii* is associated with shrubby species such as *Croton cortesianus*, *Vachellia farnesiana* and *Vachellia rigidula*, in addition to preferring clay soils with high bulk density values. *Amoreuxia wrightii* is found only in disturbed areas where cover is minimal.

Key words: canonical correspondence analysis, cover, bulk density, disturbance, danger of extinction, clay soil.

INTRODUCCIÓN

El género *Amoreuxia* A. Gray está representado por cuatro especies a nivel mundial, las cuales se encuentran distribuidas desde el suroeste de Estados Unidos de América Centroamérica y el Caribe hasta el norte de Suramérica (Günther, 1986). Estas especies, también conocidas como saya (*Amoreuxia gonzalezii* Sprague & L. Riley, *A. palmatifida* Moc. & Sessé ex DC. y *A. wrightii* A. Gray) se les han dado diferentes usos como alimento (Palmer E, 1878) y de uso medicinal para contrarrestar las picaduras de araña viuda negra, contra la diabetes y estreñimiento (Castro-Montoya et al., 2012; Van-Devender, 2013). Además, que es de fácil consumo para la fauna, ya que no presenta espinas ni algún tipo de defensa química (Cedano-Maldonado, 2004). *Amoreuxia wrightii* se distribuye desde el sur de Texas, México, Cuba, Venezuela llegando a Perú (Günther, 1986). En Nuevo León (Noreste de México), tiene presencia a lo largo de la Planicie Costera del Golfo limitando con la Sierra Madre Oriental, teniendo registros en los municipios de Bustamante, Lampazos de Naranjo, Anáhuac (Velazco, 2009) y Pesquería (Soto-Mata B et al., 2018).

A. wrightii es una planta herbácea que se desarrolla en una amplia variedad de condiciones, tolerando bien los sitios perturbados (Calderón de Rzedowski, 1994). Aunque se ha documentado principalmente en zonas semiáridas, también puede crecer en planicies con zonas pantanosas y en suelos que son arcillosos, limosos o yesosos (Correll y Johnston 1970; Sousa-Pereira et al. 2013).

La especie ha estado expuesta a presiones antropogénicas como la deforestación y el cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería, además se ha documentado su potencial como uso medicinal para contrarrestar picaduras de la araña viuda negra, como tratamiento para la diabetes y contra el estreñimiento (Castro et al. 2012; Van-Devender, 2013); otro punto importante que aqueja a *A. wrightii* es la herbívora, ya que no presenta espinas o sustancias químicas como defensa ante otras especies de animales que la consumen fácilmente (Castro et al. 2012; Van-Devender 2013). Es por ello que *A. wrightii* se encuentra amenazada en todo el rango de distribución y particularmente en México está catalogada como en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Hasta ahora, se han estudiado algunos aspectos ecológicos de *A. wrightii* como su papel como especie pionera y la estrecha relación con otras herbáceas heliófitas (Soto-Mata et al., 2018). Sin embargo, es importante profundizar en el conocimiento de las especies vegetales leñosas con la que se asocia y el efecto de diferentes condiciones ambientales sobre la estructura de la vegetación. Por lo tanto, el objetivo en este estudio fue evaluar las poblaciones de *A. wrightii* mediante la estimación de la cobertura de copa, así como de condiciones edáficas y ver el efecto que estas variables tienen sobre la especie en el noreste de México. La hipótesis es que *A. wrightii* se establece en comunidades vegetales con escasa cobertura de copa y condiciones edáficas adversas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Linares, Nuevo León, en el ejido Lampazos con coordenadas 24°55'29'' N y 99°32'18'' O. Se registra un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media de 16 a 24°C y precipitación que varía de los 500 a 1100 mm (INEGI, 2009). El suelo es de tipo vertisol (INEGI, 2009). La vegetación corresponde a matorral espinoso tamaulipeco, la cual es densa y dominan los árboles y arbustos de hojas pequeñas y caducifolias.

Trabajo de campo

En el verano del año 2020, se establecieron 16 sitios de muestreo en dos ambientes diferenciados por la estructura de la vegetación: ocho sitios de asociaciones vegetales sin muestra de perturbación aparente y ocho en una localidad perturbada la cual presenta escasa cobertura vegetal. La asociación sin perturbación presenta árboles y arbustos maduros con una cobertura de copa de 11,582.55 m² ha⁻¹. El área perturbada tiene un historial de uso de agostadero, donde la vegetación nativa fue eliminada con maquinaria en 1977 y se utilizó para la agricultura de temporal durante 34 años; en el 2013 fue abandonada. En el momento de la evaluación tenía una cobertura de copa de 3,687.33 m² ha⁻¹. Los sitios de muestreo fueron cuadrados de 10 m x 10 m, y se consideraron para su evaluación todos los individuos leñosos; se les determinó la altura total (m), diámetro basal (cm) y diámetro de copa (m). La identificación de las especies fue realizada por personal capacitado de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL mediante la guía y libro de plantas características del matorral espinoso tamaulipeco de (Molina-Guerra *et al.*, 2019).

Para el análisis de suelo se tomaron cuatro muestras al azar en cada sitio de 10 m x 10 m, para formar una muestra compuesta de aproximadamente 1.0 kg de suelo cada una, a dos profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm. Las muestras (n = 32 muestras compuestas) se llevaron al laboratorio de suelos y nutrición de bosques de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, para ser secadas a la sombra, cribadas con malla 0.2 mm y se prepararon para su análisis. Las propiedades químicas del suelo determinadas fueron: materia orgánica (MO, %) la cual se determinó por el método Walkey/Black modificado (Woerner, 1989). Para ello, se realizó una digestión húmeda de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) y oxidación del carbono con dicromato de potasio 0.07M (K₂Cr₂O₇), agregando a 0.5 g de suelo, 25 ml de K₂Cr₂O₇ y 25 ml H₂SO₄ y realizando una titulación del exceso de dicromato de potasio con sulfato ferroso 0.2 M (FeSO₄·7H₂O); con este procedimiento se obtuvo el contenido de materia orgánica y del carbono orgánico del suelo (CO, %) bajo el supuesto de que la MO contiene 58% de carbono (Castellanos y Uvalle, 2000). Para la reacción del suelo (pH) se utilizó el método AS-23 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) en una relación 1:2 de suelo: CaCl₂. La conductividad eléctrica (CE) fue por determinación rápida en suspensión suelo - agua 1:5 (Woerner, 1989). Para la conductividad eléctrica y para el pH se utilizó un pH/conductivímetro marca Corning, modelo 542. Mientras que las propiedades físicas fueron: la textura del suelo, la cual se realizó por el procedimiento de Bouyoucos por el método AS-09 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) donde a 60 g de suelo, se le eliminó la materia orgánica

con peróxido de hidrogeno y se le agregaron soluciones dispersadoras de metasilicato de sodio y oxalato de sodio saturado y a través del hidrómetro de Bouyoucos se cuantificó la sedimentación de las partículas obteniéndose el porcentaje de arenas, limos y arcillas. Para densidad aparente (DA , $g\ cm^{-3}$), se utilizó el método del cilindro en muestras no alteradas (Woerner, 1989). La porosidad total (PO , %) se determinó a partir de los valores de DA asumiendo una densidad de partícula de $2.65\ g\ cm^{-3}$ (Lu *et al.*, 2014; McPhee *et al.*, 2015).

Análisis estadístico

De cada especie se le determinaron parámetros ecológicos como abundancia en función del número de individuos, dominancia con base en el área basal y la frecuencia con la presencia en cada sitio de muestreo. Con estos resultados, se calculó el índice de valor de importancia (IVI), el cual toma valores porcentuales de 0 a 100 (Mueller-Dombois, 1974). Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \right) \times 100$$

Donde: AR_i = abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, A_i = abundancia absoluta de la especie i (N/ha).

La dominancia relativa (DR_i) se determinó mediante la ecuación:

$$DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \right) \times 100$$

Donde: DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, D_i = es la dominancia absoluta de la especie i absoluta ($m^2\ ha^{-1}$).

Para la frecuencia relativa (FR_i) se empleó la ecuación:

$$FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \right) \times 100$$

Donde: F_i = frecuencia absoluta, FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total. . El índice de vaor de importancia (IVI) se define como (Moreno, 2001; Whittaker, 1972).

$$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$$

Donde: AR_i = abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total.

Para determinar si las variables de densidad, área de copa, área basal y volumen cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se realizaron pruebas de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene (AB, 1974). Cuando los datos cumplieron con los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas se analizaron mediante la prueba de t-Student (para las variables área basal y volumen), y en caso de no cumplir mediante la prueba U de Mann-Whitney (para densidad y área de copa) (Ott, 1993).

Para determinar la diversidad se utilizaron los índices de Margalef (D_{Mg}) y de Shannon-Winer (H') (Baev y Penev, 1995; Magurran, 1988). Las fórmulas fueron las siguientes:

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

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

$$p_i = n_i/N$$

Donde: S = número de especies presentes, N = número total de individuos, n_i = número de individuos de la especie i , p_i es la abundancia relativa de la i -ésima especie.

Además, se estimó la diversidad verdadera del orden 1 (1D) mediante el exponencial del índice de Shannon (Jost, 2006):

$${}^1D = \exp(H') = \exp\left[\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)\right]$$

Donde: p_i es abundancia relativa de la i -ésima especie y S es el número de especies. Para evaluar si hay diferencias significativas en la diversidad entre los sitios muestreados se realizó la prueba de t de Hutcheson, 1970.

Para evaluar la relación entre las características físicas y químicas del suelo y la distribución de la vegetación asociada a *A. wrightii*, se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) mediante el programa CANOCO 4.5 (Ter-Braak, 2002).

RESULTADOS

Se registraron 12 familias, 18 géneros y 19 especies, de las cuales, 10 especies se encuentran en el área perturbada y 16 en el área de matorral denso, compartiendo siete especies en ambas áreas (Tabla 1). Las familias con mayor número de especies son Fabaceae (5), Cactaceae (3) y Euphorbiaceae (2) mientras que el resto solo registró una especie.

Tabla 1. Listado de especies registradas exclusivamente en las áreas evaluadas, así como las especies compartidas.

| Especies por área evaluada | | |
|---|--|--|
| Exclusivas del área perturbada | Exclusivas del área sin perturbación | Compartidas |
| <i>Amoreuxia wrightii</i> A. Gray | <i>Bernardia myricifolia</i> (Scheele) S. Watson | <i>Cordia boissieri</i> A.DC. |
| <i>Prosopis glandulosa</i> Torr. | <i>Celtis pallida</i> Torr. | <i>Croton cortesianus</i> Kunth |
| <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn. | <i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M. Kunth | <i>Forestiera angustifolia</i> Torr. |
| | <i>Diospyros texana</i> Scheele | <i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose |
| | <i>Echinocactus texensis</i> Hopffer | <i>Mimosa monancistra</i> Benth. |
| | <i>Guaiaacum angustifolium</i> Engelm. | <i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck |
| | <i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc. | <i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger |
| | <i>Yucca filifera</i> Chabaud | |
| | <i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg. | |

Vachellia farnesiana fue la especie que registró el mayor valor de IVI (Anexo 1) en el área perturbada y en conjunto con *Vachellia rigidula*, *A. wrightii* y *Croton cortesianus* aportan el 69.35% del IVI para esta área; mientras que *Havardia pallens* registra el menor valor (0.97%). En la zona sin perturbación fue *H. pallens* la que representó mejor el área que junto con *Cordia boissierii* y *V. rigidula* suman el 60.41% del IVI mientras que *Celtis pallida* fue la especie que aporta el menor IVI en el área (0.76%). Cabe señalar que *A. wrightii* únicamente se presentó en el área perturbada.

El área con disturbio registró un área de copa de 3,687.33 m² ha⁻¹ (37% de cobertura), 2.92 m² ha⁻¹ de área basal, 4.90 m³ ha⁻¹ de volumen maderable y una densidad de 2,275 individuos ha⁻¹, mientras que el área sin perturbación fue de 11,582.55 m² ha⁻¹, (115% de cobertura, mostrando una sobreposición de copa), 6.28 m² ha⁻¹, 10.49 m³ ha⁻¹ y 3,187 individuos ha⁻¹, respectivamente. Al realizarse la comparación entre ambas áreas no se encontraron diferencias significativas en las variables de área basal ($p=0.094$), volumen maderable ($p=0.216$) y densidad ($p=0.13$). Solo la variable de área de copa presentó diferencias significativas ($p<0.001$), siendo mayor en el área sin perturbación.

Los valores de diversidad obtenidos mostraron una diversidad baja para el área perturbada tanto el índice de Shannon como el de Margalef (1.76 y 1.73 respectivamente), mientras que para el área sin perturbación la diversidad fue media (2.08 y 2.71 respectivamente para dichos índices). La diversidad verdadera de Shannon presentó valores de 5.84 y 8.03, respectivamente para cada una de las áreas. La riqueza específica ($S=10$ área perturbada y $S=16$ área sin perturbación) no presentó diferencias significativas ($p=0.155$) al igual que la diversidad de Margalef ($p=0.699$), mientras que la diversidad de Shannon mediante la prueba de t de Hutcheson ($p\leq 0.05$), si presentó diferencias significativas ($t=3.79$; $g.l.=406$; $p=0.002$).

Los análisis de suelos muestran para el área perturbada promedios de pH de 7.74 medianamente alcalino, una CE de 163.27 $\mu\text{S cm}^{-1}$ muy escasa, y una DA de 1.13 g cm⁻³ muy baja, PO 55.75%, MO a 2.53% y 1.47% de CO considerado como mediano y la textura fue franco arcillo limosa – franco arcillosa. Para el área sin perturbación, los resultados fueron de la siguiente manera; el pH fue de 7.76 medianamente alcalino, CE de 166.9 $\mu\text{S cm}^{-1}$ muy escasa, DA de 1.11 g cm⁻³ muy baja, PO 56.53%, MO 2.45% y 1.44% CO, y la textura del suelo es considerada franco arcillo limosa, arcillosa y franco arcillosa. Los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas en las variables del suelo ($p < 0.001$).

El análisis de correspondencia canónica registró una inercia total de 2.30, lo que indica que es estadísticamente heterogénea y se puede realizar el análisis para observar la preferencia de las especies analizadas con las condiciones de suelo. Los primeros tres ejes marcan 0.64, 0.31 y 0.29 de la varianza total mientras que las correlaciones fueron altas; de 0.96, 0.98 y 0.90 lo que indica la estrecha relación entre las especies y las variables ambientales.

Aunque en campo la presencia de la especie *A. wrightii* se registró en los sitios del 1 al 8, de acuerdo con la Figura 1, fue en los sitios 3, 4 y 5 donde presentó mayor densidad (0.14, 0.05 y 0.06 individuos/m² de *A. Wrightii* respectivamente; cabe mencionar que los sitios 1 al 8 pertenecen al área perturbada, mientras que los sitios del 9 al 16 son del área sin perturbación. *A. wrightii* se encontró bajo la sombra de *C. cortesianus*, además de *V. farnesia* y *V. rigidula*, siendo estas las especies con mayor área de copa, área basal y volumen maderable en el sitio de estudio. Las variables ambientales más importantes para el establecimiento de *A. wrightii* fueron DA y suelos arcillosos, mientras que el resto no mostraron influencia en la presencia de la especie. Las especies que la acompañan fueron *C. cortesianus*, además de *V. farnesiana* y *V. rigidula*, siendo estas las especies con mayor área de copa, área basal y volumen maderable en el sitio de estudio (Anexo 1).

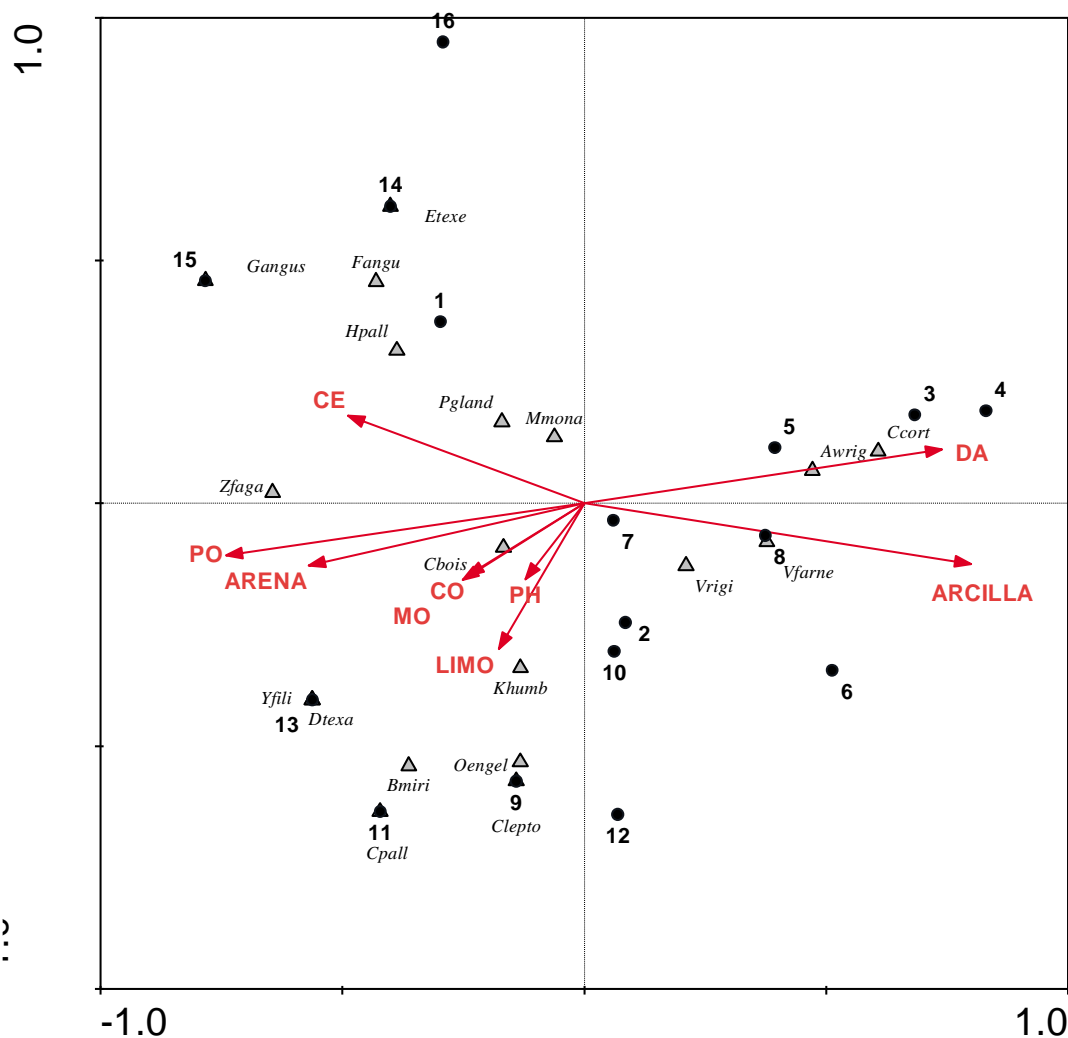


Fig. 1. Diagrama de la ordenación entre variables ambientales, sitios y especies de acuerdo con la ordenación canónica de comunidades.

DISCUSIÓN

La mayoría de las especies que se encuentran en zonas áridas y semiáridas, han desarrollado ciertas características que les permiten tener mayor adaptabilidad y supervivencia a las condiciones extremas que se registran en estas zonas. Algunas estrategias que le han permitido a *A. wrightii* sobrevivir en estas condiciones son que el xilopodio presenta yemas, las cuales aseguran su propagación vegetativa; además de que sus hojas son isofaciales, anfiestomáticas, con estomas ligeramente hundidos, característicos de especies con distribución en zonas con altas temperaturas y radiación solar, así como baja precipitación (Chávez *et al.*, 2016).

La luz en estos ambientes juega un papel de gran importancia para el desarrollo de las especies (Sánchez e Islebe, 2007). Existen taxones que requieren de espacios abiertos donde la iluminación sea alta para poder desarrollar todo su ciclo de vida. En el presente estudio, *A. wrightii* se presentó exclusivamente en el área perturbada, la cual presentó un 37% de cobertura, con lo cual, se coloca como una especie heliófita o pionera, al desarrollarse en claros

donde la intensidad lumínica es elevada. Celaya-Michel *et al.*, 2017 en su estudio de germinación y desarrollo de *A. palmatifida* obtuvieron mayor desarrollo en plantas sembradas en suelo agrícola a cielo abierto en comparación con el tratamiento en vivero bajo malla sombra; con ello y las evaluaciones realizadas en este estudio se demuestra la importancia del factor luz para el establecimiento de una mayor densidad de individuos de las especies de *Amoreuxia*.

Con estos resultados se confirma lo ya reportado por otros autores, los cuales mencionan que las áreas abiertas donde se haya presentado algún tipo de disturbio son las preferidas por *A. wrightii* para su establecimiento (Calderón de Rzedowski 1994; Soto-Mata *et al.*, 2018).

Según (Finegan, 1993) las especies vegetales usan dos grandes estrategias de comportamiento frente a la luz: heliofitas y esciófitas. Las plantas que pertenecen a la primera estrategia poseen una alta tasa fotosintética y son intolerantes a la sombra. En este sentido, se tiene que las especies del género *Amoreuxia* que se distribuyen en México son heliófitas, ya que se han registrado en espacios con escasa cobertura de copa (Chávez *et al.*, 2016; Soto *et al.*, 2018) (Chávez *et al.*, 2016; Soto-Mata *et al.*, 2018) y en las investigaciones de germinación y crecimiento las establecen a cielo abierto, sin uso de malla sombra (Celaya-Michel *et al.*, 2017) En el estudio de Soto-Mata *et al.*, (2018) *A. wrightii* se asocia principalmente con especies pioneras como herbáceas y pastos mientras que, en la presente investigación, las especies asociadas fueron arbustivas como *C. cortesianus*, *V. farnesiana* y *V. rigidula* las cuales son consideradas como elementos importantes en asociaciones de vegetación secundaria (Correll, 1970; Estrada *et al.*, 2004).

Las condiciones edáficas del sitio perturbado son similares a las documentadas por (Cutler, 1977) y Soto-Mata *et al.*, (2018) quienes mencionan que los suelos ligeramente alcalinos, con poca materia orgánica y arcillosos, son los preferidos por *A. wrightii*. A pesar de tratarse de un área con disturbio, el suelo no se ha visto afectado por la compactación al presentar una DA muy baja indicando que el suelo cuenta con las condiciones para un buen desarrollo de raíces. *A. wrightii* cuenta con yemas en el xilopodio además que puede almacenar agua en sus raíces tuberosas para poder sobrevivir durante la sequía (Figueroa, 2007).

CONCLUSIONES

La primera hipótesis se acepta, ya que *A. wrightii* se establece en comunidades vegetales con escasa cobertura de copa, ya que se registró en el área con disturbio con un 37% de cobertura, asociándose con especies arbustivas características de vegetación secundaria. La comunidad vegetal evaluada sin perturbación presenta una sobreposición de copa, donde la vegetación es más densa y no se detectó el registro de *A. wrightii*. La segunda hipótesis se rechaza, ya que las condiciones de suelo en ambas áreas fueron estadísticamente similares, por lo que la presencia de *A. wrightii* se encuentra asociada a la cantidad de luz que recibe el área y no al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor.

LITERATURA CITADA

AB, B. MB. and F. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69, 364–367.

- Baev, P.V. y Penev, L. D.. (1995). *BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis* (5.1; p. 57). Pensoft, Sofia-Moscow.
- Calderón de Rzedowski G. (1994). *Cochlospermaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 2*, 1–5.
- Castellanos JZ, Uvalle JX, A. A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas* (2a edición). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Castro-Montoya JA, Zayas-Barreras RA, Sainz-Aguilar P, Romero-Lozoya M, Bojórquez-Camacho FR, B.-C. O. (2012). El consumo de la zaya (*Amoreuxia* spp) una tradición cultural de la región del Évora en el estado de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, 898-907. <https://doi.org/10.23913/ricea.v1i2.11>
- Cedano-Maldonado M, V.-I. L. (2004). Usos y nombres comunes de las especies de Cochlospermaceae en México. *Etnobiología*, 4, 73-88.
- Celaya-Michel, H., Ochoa-Meza, A., López-Elías, J., & Barrera-Silva, M. Á. (2017). Germinación y Crecimiento En Vivero Y En Campo De Zaya (*Amoreuxia palmatifida* DC.), Una Especie Nativa Amenazada En México. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(24), 66. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p66>
- Chávez J, Lapp M, Torrecilla P, Wingfield R, G. L. (2016). Aspectos biológicos y poblacionales con relación al estado de amenaza local de *Amoreuxia wrightii* A. Gray (Bixaceae), especie de distribución restringida en Venezuela. *Ernstia*, 26(1), 39-73.
- Correll, D. S. y M. C. J. (1970). *Manual of the vascular plants of Texas*. (Texas Research Foundation, Renner, Ed.).
- Cutler DF. (1977). *Applied plant anatomy*. Longman.
- de Sousa-Pereira DM, De Sousa-Pereira M, E.-B. AM. (2013). Effect of light and temperature on seed germination of *Cochlospermum vitifolium* (Will.) Sprengel. *Floresta e Ambiente*, 20(3), 391–397.
- Estrada; E, Yen, C, Delgado A, Villarreal, J. A. (2004). Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales Del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 75(1).
- Figueroa Y, G. G. (2007). Lista comentada de las plantas vasculares del Enclave Seco Interandino de la Tatacoa (Huila, Colombia). *Caldasia*, 29(2), 263–281.
- Finegan, B. (1993). Bases Ecológicas de la Silvicultura. In: VI Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. *CATIE, Turrialba, C.R.*, 229.
- Günther KF. (1986). *Amoreuxia wrightii* A. Gray (Cochlospermaceae) neufür Cuba. *Feddes Repert*, 97(1), 73–78.
- Hutcheson, K. (1970). Test for Comparing Diversities Based on the Shannon Formula. *Journal of Theoretical Biology*, 29, 151–154.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Jost, L. (2006). *Entropy and diversity*. 2.
- Lu SG, Malik Z, Chen DP, W. C. (2014). Porosity and pore size distribution of Ultisols and correlations to soil iron oxides. *Catena*, 123, 79–87.
- Magurran AE. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press.
- McPhee JE, Aird PL, Hardie MA, C. SR. (2015). The effect of controlled traffic on soil physical properties and tillage requirements for vegetable production. *Soil and Tillage Research*, 149, 33–45.
- Moreno, CE. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. (M.-M. y T. SEA., Ed.; Vol. 1).
- Mueller-Dombois D, E. H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley.
- Ott, L. (1993). *An introduction to statistical methods and data analysis* (2nd ed.). Duxbury Press.
- Palmer E. (1878). Plants used by the Indians of the United States. *The American Naturalist*, 12, 593–606 y 646–655.
- Sánchez, S. O., Islebe, G. A. y V.-H. M. (2007). Flora y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17–26.

Recibido:
21/enero/2022

Aceptado:
13/julio/2022

- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2002). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. In *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre de 2002 (segunda).
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- Soto-Mata B, Alanís-Rodríguez E, Jurado E, Pando-Moreno M, Molina-Guerra V, Alcalá-Rojas A, M.-C. JJ. (2018). Caracterización del hábitat de *Amoreuxia wrightii* (Bixaceae), una especie en peligro de extinción en el noreste de México. *Acta Botanica Mexicana*, 122, 21–31.
- Ter-Braak W, Š. P. (2002). *CANOCO. Reference manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination* (4.5). Microcomputer Power, Ithaca.
- Van-Devender TR, R.-G. AL. (2013). Search of *Amoreuxia* and *Echinocactus* in Sonora. *The Arizona Native Plant Society*, 36, 1–3.
- Velazco CG. (2009). *Flora del estado de Nuevo León, México: Diversidad y Análisis Espacio-Temporal*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Molina-Guerra VM, Mora-Olivo, A, Alanís-Rodríguez, E, Soto-Mata, BE, Patiño-Flores AM. (2019). *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México* (Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Ed.).
- Whittaker R. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21, 213–251.
- Woerner M. (1989). *Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas*. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Anexo 1. Área de copa, área basal, volumen, abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) de las especies evaluadas del área perturbada y el área sin disturbio.

| Especie | Abundancia | | Dominancia | | Frecuencia | | IVI | | |
|--|--|---|-------------------------------------|-----------------|--|-----------------|-----------|------------|-----------------|
| | Área de copa (m ² ha ⁻¹) | Volumen (m ³ ha ⁻¹) | Absoluta (ind ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (m ² ha ⁻¹) | Relativa (%) | | Absoluta | Relativa (%) |
| Área perturbada | | | | | | | | | |
| <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn. | 1455.74 | 3.968 | 87.5 | 3.85 | 1.77 | 60.49 | 5 | 11.63 | 25.32 |
| <i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger | 1124.34 | 0.300 | 475 | 20.88 | 0.34 | 11.46 | 8 | 18.60 | 16.98 |
| <i>Amoreuxia wrightii</i> A. Gray | 12.83 | 0.001 | 512.5 | 22.53 | 0.01 | 0.39 | 8 | 18.60 | 13.84 |
| <i>Croton cortesianus</i> Kunth | 91.52 | 0.013 | 700 | 30.77 | 0.05 | 1.88 | 3 | 6.98 | 13.21 |
| <i>Cordia boissieri</i> A.DC. <i>Mimosa monancistra</i> Benth. | 431.39 | 0.165 | 150 | 6.59 | 0.18 | 6.15 | 7 | 16.28 | 9.67 |
| <i>Opuntia engelmannii</i> Salm- Dyck | 349.22 | 0.034 | 237.5 | 10.44 | 0.05 | 1.64 | 7 | 16.28 | 9.45 |
| <i>Prosopis glandulosa</i> Torr. | 11.88 | 0.216 | 12.5 | 0.55 | 0.39 | 13.43 | 1 | 2.33 | 5.43 |
| <i>Forestiera angustifolia</i> Torr. | 145.19 | 0.185 | 75 | 3.30 | 0.12 | 3.99 | 2 | 4.65 | 3.98 |
| <i>Havardia pallens</i> Britton & Rose | 58.93 | 0.020 | 12.5 | 0.55 | 0.02 | 0.54 | 1 | 2.33 | 1.14 |
| | 6.28 | 0.0005 | 12.5 | 0.55 | 0.00 | 0.03 | 1 | 2.33 | 0.97 |
| Sumatoria | 3687.33 | 4.90 | 2275 | 100 | 2.92 | 100 | 43 | 100 | 100 |
| Área sin perturbación | | | | | | | | | |
| <i>Havardia pallens</i> Britton & Rose | 4788.90 | 6.108 | 875 | 27.45 | 2.42 | 38.63 | 8 | 14.55 | 26.88 |
| <i>Cordia boissieri</i> A.DC. <i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger | 3064.09 | 3.163 | 562.5 | 17.65 | 2.27 | 36.14 | 8 | 14.55 | 22.78 |
| <i>Bernardia myricifolia</i> (Scheele) S.Watson | 1327.21 | 0.510 | 462.5 | 14.51 | 0.31 | 5.00 | 7 | 12.73 | 10.75 |
| <i>Forestiera angustifolia</i> Torr. | 362.58 | 0.074 | 487.5 | 15.29 | 0.11 | 1.74 | 5 | 9.09 | 8.71 |
| <i>Karwinskia humboldtiana</i> S.Watson | 1484.85 | 0.373 | 212.5 | 6.67 | 0.26 | 4.07 | 6 | 10.91 | 7.21 |
| | 79.77 | 0.023 | 125 | 3.92 | 0.04 | 0.58 | 5 | 9.09 | 4.53 |

| Especie | Abundancia | | | | Dominancia | | Frecuencia | | IVI |
|--|--|---|-------------------------------------|-----------------|--|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Área de copa (m ² ha ⁻¹) | Volumen (m ³ ha ⁻¹) | Absoluta (ind ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta (m ² ha ⁻¹) | Relativa (%) | Absoluta | Relativa (%) | |
| <i>Echinocactus texensis</i> Jacobi | 0.59 | 0.028 | 12.5 | 0.39 | 0.57 | 9.01 | 1 | 1.82 | 3.74 |
| <i>Zanthoxylum fagara</i> Sarg. | 181.16 | 0.026 | 150 | 4.71 | 0.04 | 0.70 | 3 | 5.45 | 3.62 |
| <i>Mimosa monancistra</i> Benth. | 173.62 | 0.029 | 125 | 3.92 | 0.04 | 0.70 | 3 | 5.45 | 3.36 |
| <i>Opuntia engelmannii</i> Salm- Dyck | 44.52 | 0.115 | 37.5 | 1.18 | 0.15 | 2.35 | 3 | 5.45 | 2.99 |
| <i>Croton cortesianus</i> Kunth | 54.12 | 0.012 | 62.5 | 1.96 | 0.02 | 0.31 | 1 | 1.82 | 1.36 |
| <i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.F.Knuth | 6.49 | 0.001 | 25 | 0.78 | 0.00 | 0.03 | 1 | 1.82 | 0.88 |
| <i>Yucca filifera</i> Hort. ex Engelm. | 2.45 | 0.004 | 12.5 | 0.39 | 0.02 | 0.39 | 1 | 1.82 | 0.87 |
| <i>Diospyros texana</i> Scheele | 7.09 | 0.010 | 12.5 | 0.39 | 0.01 | 0.14 | 1 | 1.82 | 0.78 |
| <i>Guaiaacum angustifolium</i> Engelm. | 3.53 | 0.008 | 12.5 | 0.39 | 0.01 | 0.14 | 1 | 1.82 | 0.78 |
| <i>Celtis pallida</i> Torr. | 1.57 | 0.003 | 12.5 | 0.39 | 0.00 | 0.06 | 1 | 1.82 | 0.76 |
| Sumatoria | 11582.55 | 10.49 | 3187.5 | 100 | 6.28 | 100 | 55 | 100 | 100 |

**COMPONENTES DEL
RENDIMIENTO DE *Crotalaria
longirostrata* Hook. & Arn. EN
GUERRERO, MÉXICO**

**YIELD COMPONENTS OF *Crotalaria
longirostrata* Hook. & Arn. IN
GUERRERO, MEXICO**

Salinas Morales, J.L.; C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo; M. Vázquez Sánchez, C. López Palacios, y D. Padilla Chacón.

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. EN GUERRERO, MÉXICO.

YIELD COMPONENTS OF *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. IN GUERRERO, MEXICO.



**COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.
EN GUERRERO, MÉXICO.**

YIELD COMPONENTS OF *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. IN GUERRERO, MEXICO.

Salinas Morales, J.L.;
C.B. Peña-Valdivia,
C. Trejo;
M. Vázquez Sánchez,
C. López Palacios,
y D. Padilla Chacón.

COMPONENTES DEL
RENDIMIENTO DE
Crotalaria longirostrata Hook.
& Arn. EN GUERRERO,
MÉXICO.

YIELD COMPONENTS OF
Crotalaria longirostrata Hook.
& Arn. IN GUERRERO,
MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 53: 101-121. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.53.7

J.L. Salinas Morales
C.B. Peña-Valdivia / cecilia@colpos.mx
C. Trejo
M. Vázquez Sánchez

*Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados
Texcoco, Estado de México, México.*

C. López Palacios
*Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Rioverde, SLP, México.*

D. Padilla Chacón
*Programa de Posgrado en Botánica, CONACyT-Colegio de Postgraduados,
Texcoco, Estado de México, México.*

RESUMEN: Las plantas jóvenes de *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. son alimento para humanos y animales y se usan en herbolaria desde época prehispánica en México y Centroamérica, donde crecen silvestres, como arvenses o cultivadas incipientemente. La evidencia indica que para el cultivo comercial se necesita semilla de las poblaciones silvestres. El objetivo de este estudio fue evaluar los componentes del rendimiento de plantas silvestres de *C. longirostrata* y su relación con el sitio de recolecta. Plantas en etapa reproductiva se recolectaron en las localidades Las Vigas, Ometepec y Llano Grande de los Hilarios Igualapa, Guerrero, México. Las variables evaluadas fueron número de: ramas, racimos, frutos y semillas por planta, frutos por racimo y por rama, semillas por racimo, por rama y por fruto, y el rendimiento de semilla por planta. El diámetro, la longitud y biomasa de los frutos y semillas de una localidad también se determinaron. Muestras del suelo de los sitios de recolecta se analizaron. Con excepción del número de semillas por fruto (8 a 10), los componentes del rendimiento variaron significativamente ($P \leq 0.05$) entre localidades. El número de ramas (11 a 19), racimos (31 a 101) y frutos (332 a 1284) por planta, de frutos por rama (31 a 62), y número de semillas por rama (287 a 553) y por planta (3054 a 10707), así como el rendimiento de semilla (32 a 110 g por planta) fue mayor en la localidad Las Vigas. Esta localidad presenta clima cálido subhúmedo, lluvias y canícula en verano, incluye manejo agrícola y ganadero y el suelo es franco arenoso, con capacidad de campo y punto de marchitez permanente menores, pero con capacidad de intercambio catiónico, y contenido de P y K intercambiable mayores respecto a los otros sitios. En general, las plantas de Llano Grande de los Hilarios Igualapa presentaron los componentes del rendimiento y el rendimiento de semilla menor; esta localidad se diferenció por la ausencia de actividad antrópica, su clima es semicálido-húmedo, con lluvias en verano y suelo franco limoso, con más N, menos P extraíble, contenido mayor de Ca intercambiable y conductividad eléctrica mayor que en las otras localidades. En su ambiente silvestre, una planta puede producir miles de semillas independientemente de la localidad en la que crezca.

Palabras clave: chipilín, frutos, racimos, ramas, semillas, tallo, valvas.

ABSTRACT: Young plants of *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. are food for humans and animals and have been used in herbalism since pre-Hispanic times in Mexico and Central America, where they grow wild, as weeds or incipiently cultivated. Evidence indicates that seeds from wild populations is needed for commercial cultivation. The objective of this study was to evaluate the yield components of wild plants of *C. longirostrata* and their relationship with the collection site. Plants in reproductive stage were collected in Las Vigas, Ometepe and Llano Grande de los Hilarios Igualapa, Guerrero, Mexico. The variables evaluated were number of: branches, clusters, fruits and seeds per plant, fruits per cluster and per branch, seeds per cluster, per branch and per fruit, and seed yield per plant. The diameter, length and biomass of the fruits and seeds of a locality were also determined. Soil samples from the collection sites were analyzed. With the exception of the number of seeds per fruit (8 to 10), the yield components varied significantly ($P \leq 0.05$) between locations. The number of branches (11 to 19), clusters (31 to 101) and fruits (332 to 1284) per plant, of fruits per branch (31 to 62), and number of seeds per branch (287 to 553) and per plant (3054 to 10707), as well as the seed yield (32 to 110 g per plant) were higher in Las Vigas locality. This locality has a warm sub-humid climate, rains and heat waves in summer, includes agricultural and livestock management and sandy loam soil, with lower field capacity and permanent wilting point, but with cation exchange capacity, and exchangeable P and K content higher than the other sites. In general, the plants of Llano Grande de los Hilarios Igualapa presented the lower components of yield and seed yield; this locality was differentiated by the absence of anthropic activity, its climate is semi-warm-humid, with rains in summer and loamy soil, with more N, less extractable P, higher content of exchangeable Ca and higher electrical conductivity than in the other localities. In its wild environment, plants produce thousands of seeds regardless of the location where it grows.

Key words: “chipilín”, clusters, branches, fruits, seeds, stem, valves.

INTRODUCCIÓN

El género *Crotalaria* incluye entre 600 y 700 especies, 79 de ellas son nativas de América; 21 de México, y nueve de ellas son endémicas (Soto-Estada, 2004). Entre las especies con uso antrópico están *C. incana* L., *C. juncea* L., *C. longirostrata* Hook. & Arn. y *C. pumila* Ort. como fuente de materia orgánica y N en la agricultura (Jiménez *et al.*, 2005; Basurto-Peña, 2011; Linares & Bye, 2015; Camarillo-Castillo & Mangan, 2020). *Crotalaria juncea* se utiliza para elaborar cuerdas, cordeles, redes para pesca y papel (Tripathi *et al.*, 2012) y *C. retusa* L., *C. prostrata* Roxb. y *C. medicaginea* Lam. se utilizan en herbolaria por sus efectos antimicrobianos, antiparasitarios y antioxidantes (Devendra *et al.*, 2012).

Crotalaria longirostrata (chipilín) se distribuye en Centroamérica y México, en los estados de Chiapas, Chihuahua, Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tabasco y Veracruz (Soto-Estada, 2004). El hábitat en el que crece la especie es bosque de pino-encino, en áreas abiertas, áreas con maleza y en zonas con cultivos diversos, como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.), en altitudes entre nivel del mar y 2 300 m (Tapia, 2000; McClung de Tapia *et al.*, 2014). En esas regiones, desde época prehispánica, los brotes tiernos, las hojas y los tallos jóvenes de chipilín se utilizan en la preparación de alimentos y bebidas; asimismo, se utilizan en herbolaria y como forraje (Bye, 1981; Morton, 1994; Centurión *et al.*, 2003; Chávez *et al.*, 2009; Basurto-Peña, 2011; Laguna, 2016). Las hojas son fuente de carotenoides, vitamina C, hierro, calcio y proteínas; además, se ha documentado la presencia de compuestos fenólicos, como flavonoides, saponinas, cumarinas, taninos, antraquinonas, antronas y alcaloides (Arias *et al.*, 2003; Bibi *et al.*, 2015; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2017). Además, existen estudios que demuestran mayor diversidad de usos; un caso es el de los extractos de sus tallos, ramas y raíces que inhiben el desarrollo del micelio y la esporulación de fitopatógenos y fitoparásitos como *Fusarium* sp., *Aspergillus flavus* Link (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2017; Miranda-Granados *et al.*, 2018; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2020) y nematodos (Villar & Zavaleta-Mejía, 1990). Todas las estructuras de la planta se

han evaluado en nuevas aplicación en herbolaria (Fischler & Wortmann, 1999; Arias *et al.*, 2003; Basurto-Peña, 2011), como abono verde (Desaeger & Rao, 2000), forraje (Arias *et al.*, 2003), alimento para el cultivo y multiplicación de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) (Guerra-Centeno *et al.*, 2016) y caracoles de agua dulce (*Pomacea flagellata* Say) que son alimento, rico en proteína para humanos (Martínez, 2016). Los usos tradicionales de chipilín, los actuales y los documentados como potenciales indican que su demanda tendrá soporte con su cultivo comercial. Lo que también asegura la disponibilidad de plantas para los consumidores regionales y externos y en diferentes épocas del año (Camarillo-Castillo & Mangan, 2020). Un obstáculo para el cultivo de las especies de *Crotalaria* es la falta de semilla comercial (Vinicius de Araujo *et al.*, 2018). Aunque las semillas para el cultivo pueden obtenerse de poblaciones silvestres, la producción comercial se asegurará con el cultivo de las plantas. Como en el caso de *C. brevidens* y *C. ochroleuca* (Mwakha *et al.*, 2020), para conocer el potencial agronómico y la viabilidad comercial de *C. longirostrata* es necesario conocer y mejorar el rendimiento de las estructuras de interés y promover la producción de semillas de calidad. Esto puede lograrse mediante la domesticación, el cultivo, selección intensiva y el mejoramiento. Sin embargo, los programas de mejoramiento son exitosos cuando cuentan con variabilidad genética del germoplasma, ya que es la base para la selección (Peña-Valdivia *et al.*, 2012; Mwakha *et al.*, 2020). En el caso de *C. longirostrata* la información disponible sobre sus atributos genéticos y agronómicos es mínima.

La producción y el rendimiento de semilla son resultado de las interacciones entre el genotipo (Mwakha *et al.*, 2020) y el ambiente, que incluye factores como la radiación solar, la temperatura, la disponibilidad de humedad y de nutrientes en el suelo (Rouached & Rhee, 2017). Al respecto, las plantas asimilan macronutrientes, como N, K, P, Ca, Mg, S, y micronutrientes, como Fe, Mn, Cu y Zn, del suelo a través de sus raíces, con lo que garantizar las funciones celulares (White & Brown, 2010). Las alteraciones en la disponibilidad de nutrientes minerales afectan el crecimiento; es el caso de la deficiencia de P, que disminuye el crecimiento de la raíz de *Arabidopsis*; en contraste, la de Fe o S lo promueve, aunque los tres, junto con el N, son indispensables para la fotosíntesis y la respiración (Rouached & Rhee, 2017). La deficiencia combinada de P y N disminuye la productividad de las plantas silvestres en su ambiente natural y los cultivos (White & Brown, 2010). Esto es porque, el P estimula el desarrollo de los tejidos meristemáticos, el crecimiento de la planta, la conductibilidad hidráulica de las raíces, y sus efectos significativos, junto con el del N, en la altura de la planta, el número de hojas, el número de ramas, el número de frutos y el peso de 1000 semillas de *C. brevidens* y *C. ochroleuca* permitió demostrar que el nivel óptimo difiere entre las especies (Mwakha *et al.*, 2020). La producción de semilla se relaciona con el crecimiento de la planta completa; por lo que, para describir el rendimiento de las semillas se necesita evaluar el resto de la planta (Hall, 1980). Los componentes del rendimiento en las plantas involucran caracteres cuantitativos, como número y biomasa de sus órganos individuales, *e.g.*, número o biomasa de ramas, hojas, racimos, frutos y semillas, entre otros (Patrick & Colyvas, 2014). Por ejemplo, el desarrollo de las ramas laterales aumenta el sitio para el desarrollo de frutos; esto se ha demostrado mediante eliminación de la dominancia apical e inducción del desarrollo del número de ramas y el rendimiento de diversos cultivos (Tripathi *et al.*, 2013).

La comparación de los componentes del rendimiento permite el uso y rescate de la diversidad de especies silvestres con valor antrópico, como *C. longirostrata*, que se han incorporado y conservado en la agricultura tradicional y que están estrechamente relacionados con factores socio-culturales (Peña-Valdivia *et al.*, 2012; Solís Bonilla *et al.*, 2017; Castiñeiras *et al.*, 2000; Rojas-García *et al.*, 2021). La información de la fenología, morfología y rendimiento de las especies silvestres permite contrastar el desarrollo de las plantas *in situ* y *ex situ*, diseñar programas de conservación, propagación y cultivo de especies silvestres o semi-domesticadas (Peña-Valdivia *et al.*, 2012). Sin embargo, no se cuenta con esa información de las poblaciones silvestres de *C. longirostrata*. El rendimiento de semilla y de ciertas estructuras de la planta se ha documentado con fines agrícolas en especies como *C. juncea*, *C. brevidens* y *C. ochroleuca* (Jacobi *et al.*, 2005; Tripathi *et al.*, 2013; Meagher *et al.*, 2019; Rojas-García *et al.*, 2021).

Tripathi *et al.* (2013) evaluaron el efecto del espaciamiento, de 30 x 10 cm a 45 x 20 cm, entre las plantas, y la eliminación de la dominancia apical (por corte del ápice) en los componentes del rendimiento de *C. juncea*; los autores observaron el incremento de ramas primarias y secundarias por planta (de 7 y de 13 a 17), del número de frutos por planta (en promedio de 47 a 74) y su biomasa (15.5 a 25 g), del número de semillas por fruto (7 a 9) y su rendimiento por planta (9.6 a 15 g) con la separación de las plantas. Los mismos autores observaron que, con excepción del número de semillas por fruto (7.5 a 8), esos componentes del rendimiento incrementaron mediante corte del ápice del tallo. La calidad agronómica de 13 recolectas de *C. brevidens* y 16 de *C. ochroleuca* se evaluó en Kenia mediante el cultivo en campo; la variabilidad en anchura de los frutos (1.85 a 1.04 cm y 2.20 a 1.25 cm) y el peso de 1000 semillas (5.44 a 7.70 g y 5.68 a 7.84 g) fue significativa dentro y entre especies. En contraste las diferencias en la longitud de los frutos (en promedio 5.3 cm), el número de estos por planta (14 en promedio) y el número de semillas (83 en promedio) no fueron significativas dentro o entre especies (Mwakha *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio fue determinar el rendimiento de semilla y otros componentes del rendimiento, como fueron número de: ramas, racimos, frutos y semillas por planta, frutos por racimo y por rama, semillas por racimo, por rama y por fruto de plantas silvestres de *C. longirostrata* y su relación con el sitio de recolecta. La hipótesis es que, los componentes del rendimiento de plantas silvestres de *C. longirostrata* dependen del ambiente del sitio de recolecta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades de recolecta e identificación del material vegetal

Plantas de *C. longirostrata* (Fig. 1) con frutos maduros (color castaño-amarillento, que al agitarse emitían sonido similar de un sonajero cascabel) se cosecharon aleatoriamente, en enero de 2019, de rodales silvestres en las localidades Las Vigas, Ometepec y Llano Grande de los Hilarios Igualapa en Guerrero, México (Tabla 1). Los rodales tenían en promedio 43 ± 3.27 plantas y ocupaban un área aproximada de 100 m²; las plantas tenían altura promedio de 176 ± 0.052 cm y diámetro en la base del tallo de 9.060 ± 0.44 mm. Las plantas fueron identificadas *in situ* por comerciantes-recolectores de *C. longirostrata* de cada localidad. La identidad taxonómica se confirmó en ejemplares recolectados *ex profeso*, herborizados y registrados en el Herbario-Hortorio CHAPA, del Colegio de Postgraduados (accesión Núm. 155775). Los ejemplares de *C. longirostrata* Hook. & Arn. consultados corresponden a las colectas Núm.: Es-604 de Campeche, 12, 26, 33, 40, 64, 81, 3661, 2768 y 5428 de Chiapas, 14, 3728, 4001 y 4464 de Jalisco, 69, 268 y 2294 de Michoacán, 121 y 530 de Oaxaca, 2036 de Sinaloa y 1636 de Tabasco.

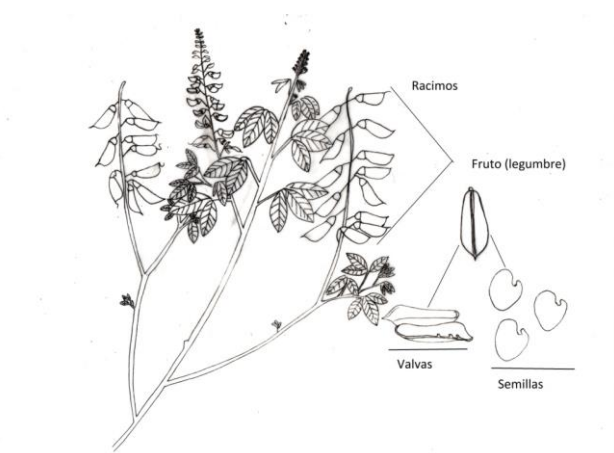


Fig. 1. Estructuras de las plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. recolectadas en Las Vigas, Ometepec y Llano Grande de los Hilarios Igualapa en Guerrero, México.

Variables evaluadas

Plantas

Las plantas se trasladaron, separadas unas de otras, al laboratorio de Biofísica y Fisiología Ambiental Vegetal, del Programa de Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados. Con base en lo fundamentado por Tripathi *et al.* (2013), Huerta-Lovera *et al.* (2018), Mwakha *et al.* (2020) y Romero-Sánchez *et al.* (2020) en el laboratorio se evaluó el número de: ramas, racimos, frutos y semillas por planta, frutos por racimo y por rama, semillas por racimo, por rama y por fruto, y el rendimiento de semilla por planta. El diámetro, la longitud y biomasa de los frutos y semillas de una localidad también se determinaron para complementar la información de los componentes del rendimiento. El diámetro y la longitud de los frutos se determinó con un vernier digital (Truper, CALDI-6MP; 14388). La biomasa (g) de los frutos, las valvas y las semillas se determinó en una balanza analítica (Scientech® SA 120, precisión de ± 0.0001 g). Los frutos se mantuvieron en bolsas de papel, dentro de cajas de cartón durante su evaluación.

Tabla 1. Localidades y características de los sitios de muestreo de *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. en Guerrero, México (García, 2004; CONAGUA, 2021).

| Localidad | Las Vigas | Ometepec | Llano Grande de los Hilarios Igualepa |
|----------------------------|---|--|---|
| Descripción (denominación) | Con manejo agrícola y ganadero (MAG) | Con actividad urbana (AU) | Sin actividades antrópicas (SAA) |
| Ubicación | 16° 40' 264" N, 98° 27' 502" O | 16° 41' 269" N, 98° 24' 733" O | 16° 45' 089" N, 98° 25' 918" O |
| Altitud | 264 m s.n.m. | 350 m s.n.m. | 778 m s.n.m. |
| Clima | Aw ₂ (w) Cálido subhúmedo, lluvias y canícula en verano | Aw ₂ (w) Cálido subhúmedo, lluvias y canícula en verano | A(C)m(w) Semicálido-húmedo, lluvias en verano |
| Precipitación media anual | 1100 mm | 1100 mm | 1000-1500 mm |
| Temperatura media anual | 25 - 28 °C | 26 - 28 °C | 18 - 26 °C |
| Vegetación aledaña | Árboles de <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. | Árboles de <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp., <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., y herbáceas <i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass y <i>Euphorbia hirta</i> L.) | Árboles de <i>Ebenopsis ebano</i> , <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp., <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. entre otros. |

Suelo

De acuerdo con la NOM.021-RECNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), de cada sitio se obtuvieron tres muestras de 1 kg de suelo, de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm de profundidad. El suelo se clasificó con los criterios de la WRB (IUSS Working Group WRB, 2015). El análisis de las muestras de suelo, de acuerdo con lo descrito por van Reeuwijk (2002), incluyó: color (carta de colores Munsell), densidad (probeta), retención de humedad (olla de presión), conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, pH, bases intercambiables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺) (acetato de amonio), materia orgánica (Walkley-Black), nitrógeno total (micro-Kjeldahl) y P soluble (Olsen y Dean, 1965).

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio se desarrolló mediante un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos o localidades de muestreo, una planta como unidad experimental y tres repeticiones por localidad. Las variables se analizaron mediante ANDEVA y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Cuando no se cumplieron los supuestos normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (H) seguida de la prueba comparaciones de pares con el programa estadístico InfoStat versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008). Los datos que no cumplieron los supuestos de la prueba de Kruskal-Wallis (H) (homogeneidad de varianzas e independencia) se analizaron con la prueba U de Mann-Whitney ($P \leq 0.05$). También se aplicó el análisis de correlación de Pearson y de componentes principales (CP) a los componentes del rendimiento con Rstudio 3.6.3. (RStudio Inc, Boston, EE.UU.; RStudio Team, 2020).

RESULTADOS

Componentes del rendimiento

Número de ramas

El número promedio de ramas por planta varió ($P \leq 0.05$) entre las localidades. En la localidad MAG (con manejo agrícola y ganadero aledaño) el número de ramas por planta representó hasta 45 % más que en las otras localidades (Tabla 2).

Número de racimos

El número promedio de racimos por planta varió ($P \leq 0.05$) entre las localidades. Las plantas de la localidad MAG presentaron en promedio el triple respecto a las otras localidades (Tabla 2). La distribución de los racimos en las ramas fue heterogénea entre las localidades. En las localidades MAG y AU (con actividad urbana aledaña), en promedio la proporción mayor de racimos se concentró en las primeras ramas basales; en contraste en las plantas de la localidad SAA (sin actividad antrópica aledaña) la distribución pareció relativamente homogénea. Además, el número promedio de racimos varió entre las ramas a lo largo del tallo; en las localidades MAG y AU hubo ramas con promedio mínimo (0.3) de racimos y máximo de nueve independientemente de la ubicación de la rama (Fig. 2 A, B y C).

Número de frutos

El número promedio de frutos por planta, por racimo y por rama varió significativamente ($P \leq 0.05$) entre las localidades. Las plantas de la localidad MAG presentaron en promedio entre el doble y el triple de frutos respecto a las otras localidades. En contraste los racimos de las plantas de la localidad AU tuvieron, en promedio, 12 % más frutos que en las localidades MAG y SA. Aunque el número de frutos por racimo fue mayor en las plantas de la localidad AU, el número promedio de frutos por rama fue 40 % mayor en la localidad MAG respecto a las otras localidades (Tabla 2).

La distribución de los frutos en las ramas a lo largo del tallo fue heterogénea en las plantas de las tres localidades y mostró tendencias similares a la distribución de los racimos (Fig. 2). En general, el número promedio de frutos en las ramas basales (en el primer tercio del tallo) de las plantas de las localidades MAG y AU, fue mayor al 50% del total. Algunas de esas ramas presentaron alrededor de 100 frutos; en contraste, algunas ramas del centro del tallo y las del tercio superior, hacia el ápice, tuvieron sólo dos o tres frutos. En localidad SAA la distribución de los frutos en las ramas pareció relativamente homogénea (Fig. 2 D, E y F).

Tabla 2. Componentes del rendimiento (promedio \pm E.E.) de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en tres localidades de Guerrero, México.

| Localidad* | Ramas | Racimos | Frutos | Frutos | |
|------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Núm./planta | | Núm./racimo | Núm./rama |
| MAG | 19.3 \pm 2.4 a | 101.3 \pm 6.4 a | 1284 \pm 158 a | 12.7 \pm 0.3 b | 62.1 \pm 3.3 a |
| AU | 12.0 \pm 2.1 ab | 37.7 \pm 9.3 b | 525 \pm 142 b | 13.9 \pm 0.7 a | 43.7 \pm 6.3 b |
| SAA | 10.7 \pm 0.8 b | 31.0 \pm 1.7 b | 332 \pm 52.1 b | 11.8 \pm 0.5 b | 31.1 \pm 4.0 b |

| Localidad* | Semillas | | | | |
|------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | Núm./racimo | Núm./rama | Núm./fruto | Núm./planta | g/planta |
| MAG | 105.7 \pm 2.9 b | 553.8 \pm 52.9 a | 8.34 \pm 0.04 a | 10707 \pm 666 a | 109.96 \pm 0.7 a |
| AU | 133.2 \pm 7.2 a | 418.1 \pm 60.0 ab | 9.57 \pm 0.04 a | 5017 \pm 634 b | 51.67 \pm 0.6 b |
| SAA | 99.6 \pm 5.1 b | 286.3 \pm 37.3 b | 9.21 \pm 0.05 a | 3054 \pm 415 c | 31.45 \pm 0.6 c |

*MAG: con manejo agrícola y ganadero circundante, AU: con actividad urbana circundante y SAA: sin actividad antrópica circundante. Valores en la misma columna seguidos con la misma letra no muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

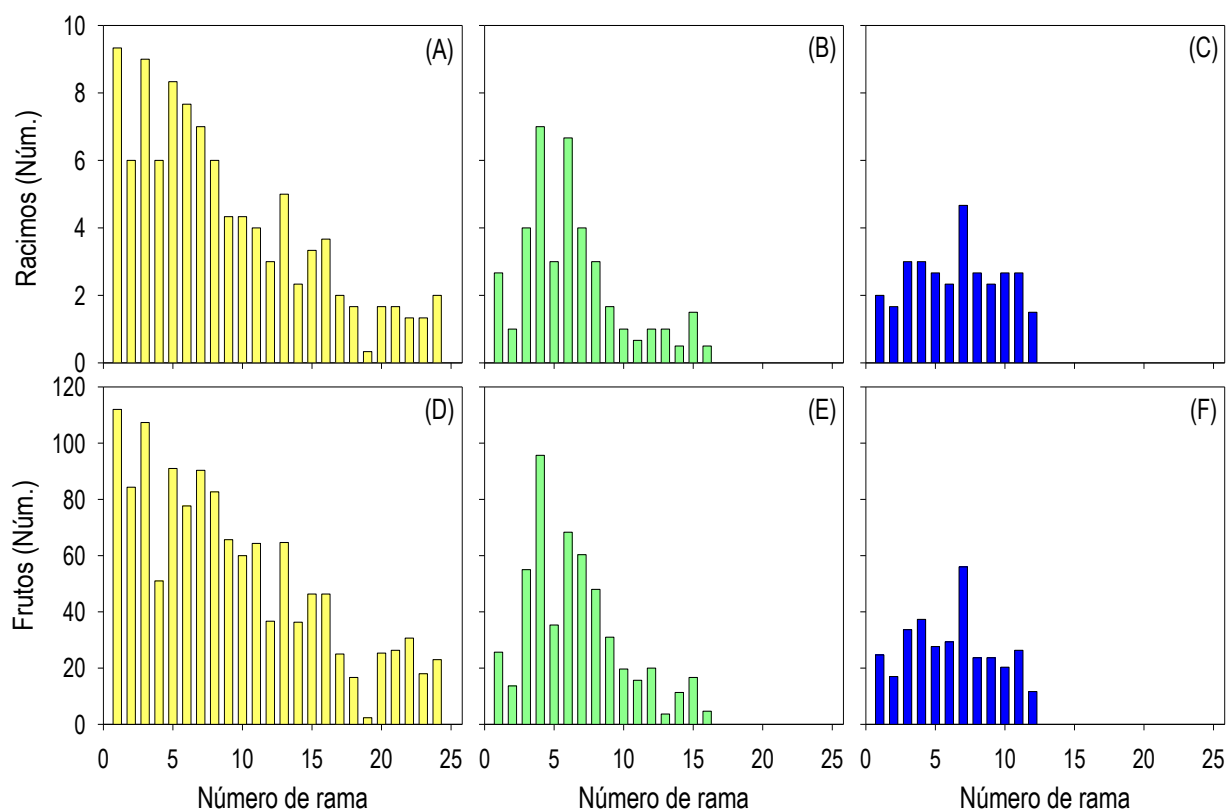


Fig. 2. Promedio del número y distribución de racimos frutales y de frutos en las ramas, en sentido acrópeto, sobre el tallo de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en Guerrero, México. Localidades MAG: con manejo agrícola y ganadero circundante (A y D), AU: con actividad urbana circundante (B y E) y SAA: sin actividad antrópica circundante (C y F).

Rendimiento de semillas

El número promedio de semillas por racimo, por rama y por planta varió significativamente ($P \leq 0.05$) entre las localidades. En el caso de los racimos, los de las plantas en la localidad AU promediaron 23% más semillas que en las localidades MAG y SAA. En el caso de las ramas, las plantas de la localidad MAG presentaron en promedio entre 25 y 48% más semillas que en las localidades AU y SAA, respectivamente. El número promedio de semillas por planta mostró las diferencias mayores entre las localidades; en la localidad MAG se cuantificó un promedio de 10707 semillas por planta, valor que representó 53% más semillas que en las plantas de la localidad AU y 72% más que en la localidad SAA (Tabla 2).

El número promedio de semillas por fruto (8 a 10) fue el carácter más estable en las plantas de las tres localidades, pues las diferencias en este carácter no fueron significativas ($P > 0.05$; Tabla 2). Sin embargo, la frecuencia del número de semillas por fruto (Fig. 3) mostró que en la localidad MAG los frutos tuvieron desde una hasta 15 semillas, a diferencia de los frutos en las plantas de las localidades AU y SAA que contenían mínimos de 3 y 5 semillas, respectivamente y máximos de 14 en ambos casos. La distribución de la frecuencia del número de semillas por fruto fue cercanamente simétrica en las localidades AU y SAA, con el máximo de nueve semillas por fruto en ambas. La distribución en la localidad MAG contrastó con las anteriores, ya que mostró dos máximos, en 7 y 10 (Fig. 3).

Las diferencias en los componentes del rendimiento entre las localidades, ya descritas, resultaron en el rendimiento significativamente diferente entre ellas. La localidad MAG mostró el rendimiento significativamente mayor; este representó 53 y 71% rendimiento mayor de semilla respecto a las localidades AU y SAA (Tabla 2).

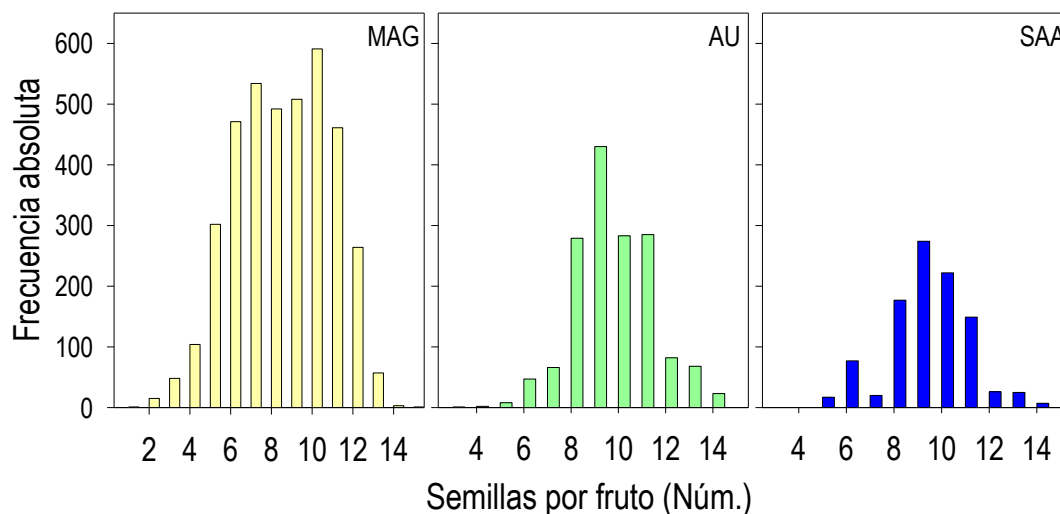


Fig. 3. Frecuencia del número de semillas por fruto en plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en Guerrero, México. Localidades MAG: con manejo agrícola y ganadero circundante, AU: con actividad urbana circundante y SAA: sin actividad antrópica circundante.

La distribución de las semillas en las ramas a lo largo del tallo fue heterogénea en las plantas de las tres localidades (Fig. 4). Estas distribuciones mostraron tendencias similares a las descritas por los racimos y los frutos en las ramas en las tres localidades (Fig. 2). Las diferencias principales son los valores de cada estructura (máximos cercanos a 10 en el caso de los racimos, 115 en el de los frutos y 1030 en el de semillas por rama). Así, el número promedio de semillas en las ramas basales (alrededor del primer tercio del tallo) de las plantas de las localidades MAG y AU fue mayor al 50% del total. Varias de esas ramas presentaron más de 600 semillas

y hasta cerca de 1000; al contrario, principalmente las ramas cercanas al ápice tuvieron los números menores de semillas. La distribución de las semillas en las ramas de las plantas de la localidad SAA difirió de las otras dos localidades en la relativa uniformidad; es decir, las ramas apicales acumularon cantidades de semilla cercanamente similares al resto (Fig. 4).

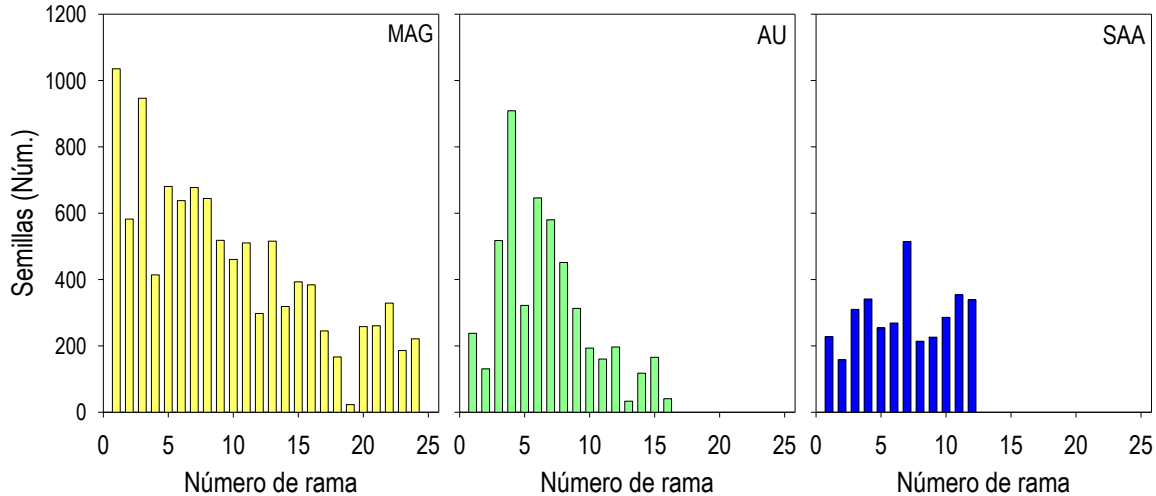


Fig. 4. Promedio del número y distribución de semillas en las ramas, en dirección acrópeta, sobre el tallo de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en localidades de Guerrero, México. Localidades MAG: con manejo agrícola y ganadero circundante, AU: con actividad urbana circundante y SAA: sin actividad antrópica circundante.

Longitud, diámetro y biomasa de los frutos

Las dimensiones y la biomasa de los frutos, valvas y semillas las cuantificamos en los 3852 frutos de las plantas muestreadas en la localidad MAG. Los frutos mostraron color castaño oscuro, se caracterizaron por ser frutos inflados y tres veces más largos que anchos (Fig. 5A). El diámetro promedio (de 5.91 a 6.94 mm) y la longitud promedio (de 17.44 a 18.40 mm) difirieron ($P \leq 0.05$) entre las plantas; sin embargo, independientemente de su origen silvestre las diferencias entre las dimensiones de esas estructuras son mínimas (Fig. 5A). La distribución de la frecuencia del diámetro y de la longitud de los frutos de la muestra completa (de 3852 frutos) fue simétrica alrededor de la media; mostró la variación del diámetro entre 4 y 8 mm, con la frecuencia absoluta máxima de entre 6.2 y 6.4 mm (Fig. 6A). En el caso de la longitud, la distribución fue de 12.5 a 22 mm, con frecuencia absoluta máxima entre 18 y 18.25 mm (Fig. 6B).

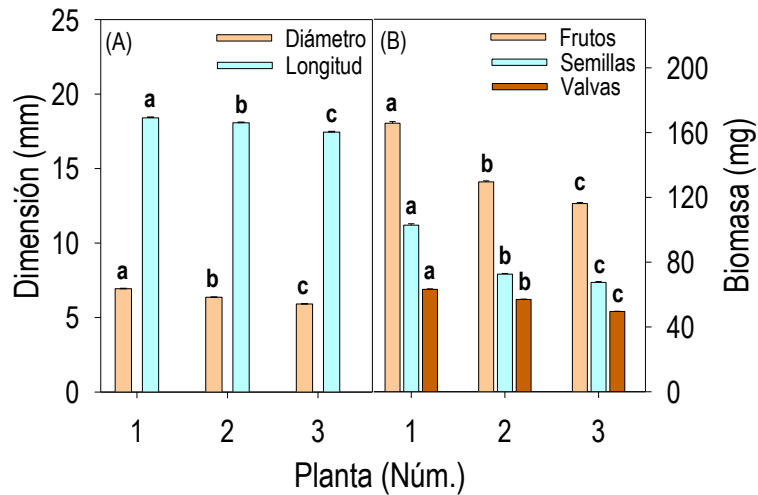


Fig. 5. Promedio (+ E.E.) de las dimensiones de los frutos (A), de su biomasa y la biomasa de sus semillas y valvas (B) por planta de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn., de la localidad Las Vigas (con manejo agrícola aledaño), Guerrero, México.

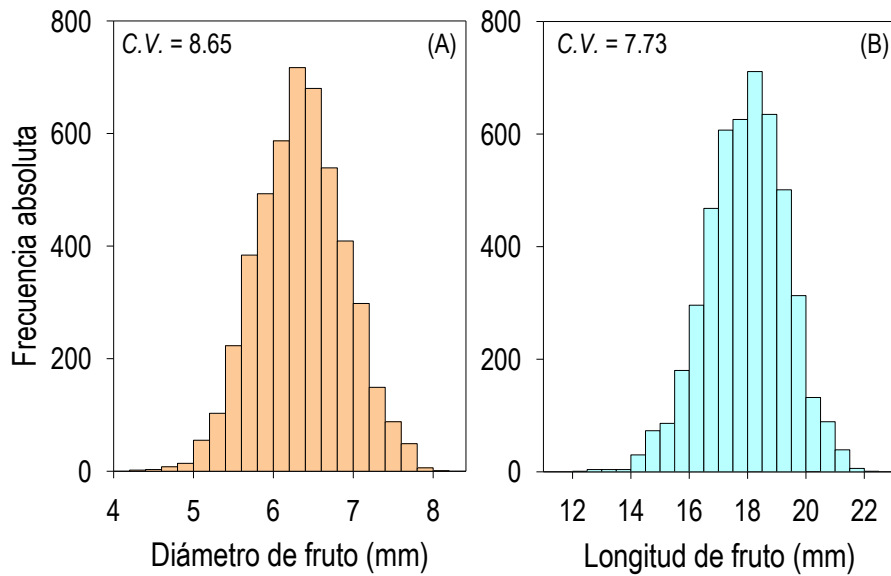


Fig. 6. Frecuencia del diámetro (A) y de la longitud (B) de los frutos de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en Las Vigas, Guerrero, México (localidad con manejo agrícola aledaño).

Las diferencias ($P \leq 0.05$) de la biomasa promedio de las valvas, los frutos, y las semillas representaron hasta 21.6, 29.9 y 34.4%, respectivamente entre las plantas (Fig. 5B). La distribución de la frecuencia de la biomasa de los frutos y de sus estructuras fue sesgada a la derecha (Fig. 7 A-C); aunque, el sesgo en el lado derecho fue producto de una muestra de menos de 10 frutos con peso atípico alto en la muestra de cerca de los 4000 evaluados. Así, la frecuencia absoluta máxima de la biomasa de los frutos, las semillas y las valvas se identificó en intervalos estrechos: 55-60 mg, 130-140 mg y 170-175 mg, respectivamente (Fig. 7 A-B).

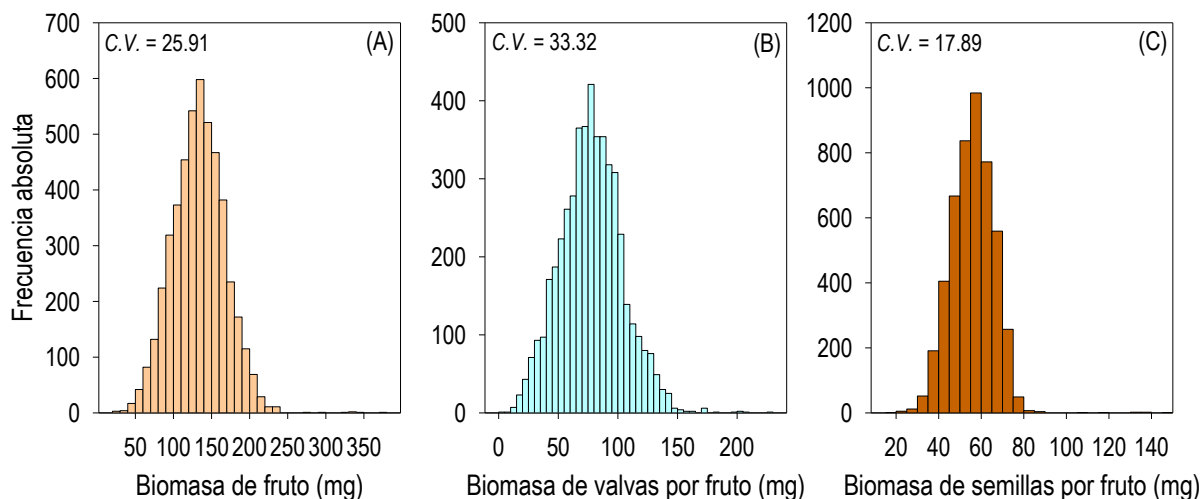


Fig. 7. Distribución de la frecuencia de la biomasa de los frutos (A), de sus valvas (B) y semillas (C) en las ramas a lo largo del tallo, en dirección acrópeta, de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en Las Vigas, Guerrero, México (localidad con manejo agrícola aledaño).

Las dimensiones y la biomasa de los frutos y de sus estructuras se correlacionaron positivamente y en forma altamente significativa unas con otras (Tabla 3); lo que mostró la alta asociación entre el crecimiento de los frutos y el rendimiento de semilla.

Análisis de componentes principales

El análisis de CP incluyó las variables con correlación no significativa; ya que, si las variables están correlacionadas significativamente entre ellas, la información que aportarán será redundante y la condición de no colinealidad se violará para la regresión por mínimos cuadrados. En el análisis de CP, los dos primeros CP acumularon el 84.8% de la varianza total reconocida. El CP1 se definió principalmente por el número de racimos por rama, frutos por rama y semillas por rama. El CP2 reveló la dependencia directa del número de semillas por racimo con el número de frutos por racimo (Tabla 4). La representación gráfica del CP2 en función de CP1 mostró que cada una de las variables evaluadas tiene efectos equivalentes en eso CP. La localidad AU traslapó completamente a la localidad SAA y gran parte de MAG; aunque, los componentes del rendimiento definieron a cada localidad (Fig. 8).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las dimensiones y la biomasa de los frutos de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en Las Vigas, Guerrero, México (localidad con manejo agrícola aledaño).

| Variable | Diámetro | Longitud | Biomasa de fruto | Biomasa de semillas | Biomasa de valvas |
|---------------------|----------|----------|------------------|---------------------|-------------------|
| Diámetro | 1.000 | 0.606*** | 0.772*** | 0.697*** | 0.797*** |
| Longitud | | 1.000 | 0.643*** | 0.571*** | 0.698*** |
| Biomasa de fruto | | | 1.000 | 0.962*** | 0.875*** |
| Biomasa de semillas | | | | 1.000 | 0.765*** |
| Biomasa de valvas | | | | | 1.000 |

*** $P < 0.0001$

Tabla 4. Valores propios y proporción de la varianza para los primeros componentes principales generados a partir de los componentes del rendimiento de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en tres localidades de Guerrero, México.

| | Componente principal | |
|---------------------------|----------------------|---------------|
| | 1 | 2 |
| Racimos por rama (Núm.) | 0.529 | 0.215 |
| Frutos por rama (Núm.) | 0.574 | 0.034 |
| Frutos por racimo (Núm.) | 0.181 | -0.616 |
| Semilla por rama (Núm.) | 0.562 | -0.024 |
| Semilla por racimo (Núm.) | 0.103 | -0.676 |
| Semilla por fruto (Núm.) | -0.180 | -0.340 |
| Varianza acumulada | 0.498 | 0.848 |

Los valores con trazo grueso en los componentes principales tuvieron aporte mayor.

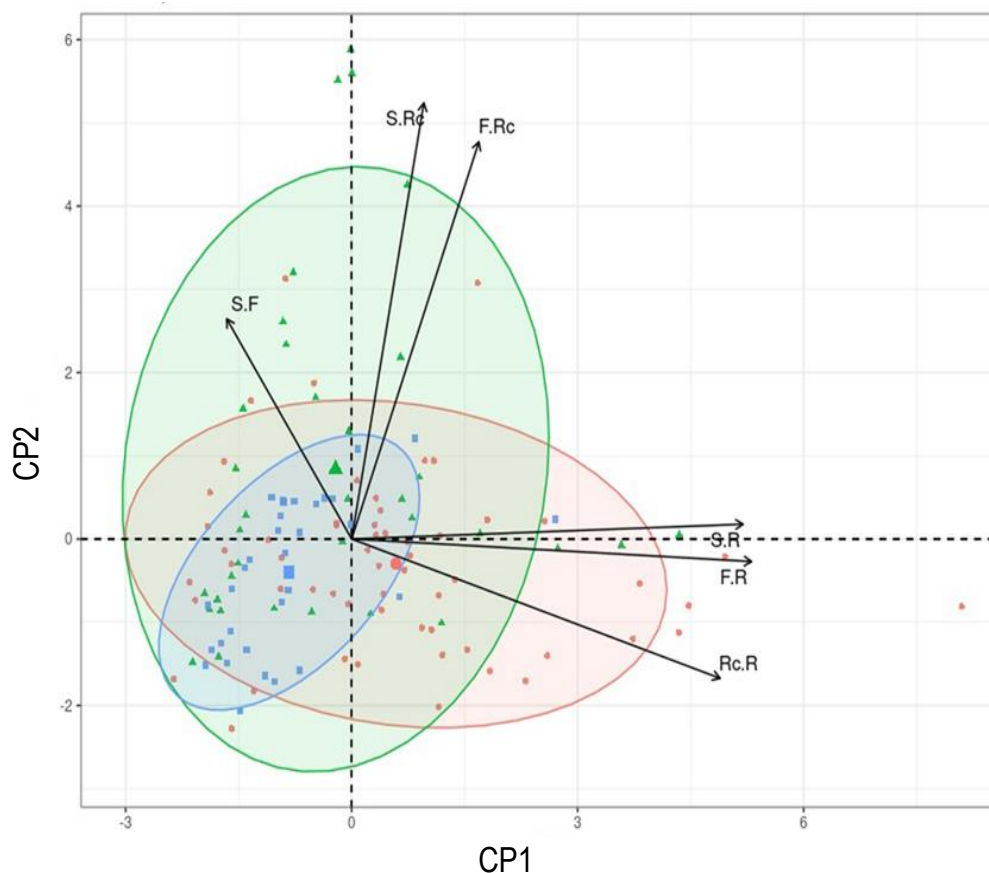


Fig. 8. Ordenación de los componentes principales (PC) 1 y 2 de plantas de *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn. recolectadas en tres localidades de Guerrero, México, según los componentes del rendimiento (Círculos rojos y área dentro de la elipse roja, triángulos verdes y área dentro de la elipse verde y cuadros azules y área dentro de la elipse azul corresponden respectivamente a las localidades Las Vigas, Ometepec y Llano Grande de los Hilarios Igualapa, Guerrero, México; Rc. R: racimos por rama, F. R: frutos por rama; F. Rc: frutos por racimo; S. R: semillas por rama; S. Rc: semillas por racimo; S. F: semillas por fruto).

Características del suelo

Entre las diferencias en el suelo de las tres localidades destacaron las siguientes. Los suelos se clasificaron de acuerdo con su textura como franco arenoso en las localidades MAG y AU y como franco limoso en la localidad SAA. La proporción de arcilla no difirió ($P > 0.05$) entre las localidades, la proporción de arenas fue 24% mayor ($P \leq 0.05$) en MAG y AU, respecto a SAA; en contraste, en esta última los limos fueron 34.29% más abundantes que en las otras dos. Las localidades MAG y SAA fueron en promedio 21% más ricas ($P \leq 0.05$) en materia orgánica respecto a AU; además, los suelos difirieron en las concentraciones de los macroelementos N, P y K. La localidad AU presentó 55% más N total y, junto con SAA, 9% menos K soluble. Aunque, el K intercambiable no difirió entre las localidades. La concentración de P extraíble mostró el gradiente: MAG > AU > SAA, en el que la última localidad mostró hasta cinco veces menos P que MAG. La densidad aparente y la densidad real, relacionada con la compactación del suelo, fueron mayores en el suelo de la localidad AU. Además, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo mostraron el siguiente gradiente entre las localidades: SAA > AU > MAG, en el que los valores de estas dos características en la localidad SAA fueron 31.06 y 27.29% mayores que en MAG. Aunque el pH y el Mg intercambiable no fue diferente entre las localidades, el Ca intercambiable mostró el siguiente gradiente AU > MAG > SAA, en el que los valores en AU fueron 38% mayores que en SAA (Tabla 5).

DISCUSIÓN

Las plantas recolectadas fueron arbustiformes, tuvieron tallo central erecto, leñoso sólo en su parte inferior (tallo sufruticoso), con altura mayor a 150 cm, frutos aun indehiscentes y valvas color castaño oscuro, similares a las descritas por Azurdia (2016) y Soto-Estada (2004). Entre las localidades se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en 90 % de las 10 variables del rendimiento evaluadas. Esta variabilidad se explica en parte por el carácter silvestre de las plantas (Peña-Valdivia *et al.*, 2012). Además, el comportamiento fisiológico diferenciado, que conduce a contrastes en los componentes del rendimiento de las variantes o biotipos (plantas de cada localidad) depende de las diferencias en los ambientes de crecimiento, lo que se conoce como interacción genotipo-ambiente (Mederos-Ramírez & Ortiz-Pérez 2021).

Tabla 5. Características físicas y químicas del suelo de tres localidades de Guerrero, México.

| | Localidad* | | |
|---|----------------|----------------|---------------|
| | MAG | AU | SAA |
| Textura | Franco arenoso | Franco arenoso | Franco limoso |
| Color (seco) | | | |
| Matiz (hue) | 10YR | 10YR | 10YR |
| Brillo (value) | 4 | 6 | 4 |
| Pureza | 3 | 7 | 5 |
| Composición | | | |
| Arcilla (%) | 7 a | 8 a | 9 a |
| Arenas (%) | 59 a | 56 a | 44 b |
| Limos (%) | 34 b | 36 b | 47 a |
| Materia orgánica (%) | 2.017 a | 1.748 b | 2.420 a |
| N total (%) | 0.023 b | 0.018 b | 0.046 a |
| P extraíble (mg kg ⁻¹) | 0.020 a | 0.012 b | 0.004 c |
| K soluble (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) | 0.271 a | 0.165 b | 0.163 b |
| Densidad, Estado hídrico y Conductividad | | | |
| Aparente (g/cm ³) | 1.52 b | 1.91 a | 1.49 b |
| Real (g/cm ³) | 2.68 b | 2.85 a | 2.78 ab |
| Capacidad de campo (%) | 18.84 c | 21.33 b | 27.33 a |

| | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Punto de marchitez permanente (%) | 9.43 c | 10.39 b | 12.97 a |
| Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹) | 0.02 b | 0.02 b | 0.07 a |
| Capacidad de intercambio catiónico (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) | 2.90 a | 2.85 a | 2.20 b |
| pH (1:2 suelo:agua) | 5.46 a | 5.23 a | 5.10 a |
| Bases intercambiables | | | |
| Ca (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) | 1.59 b | 1.92 a | 1.19 c |
| Mg (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) | 0.72 a | 0.53 a | 0.56 a |
| K intercambiable (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) | 0.325 a | 0.266 a | 0.284 a |

*MAG: con manejo agrícola y ganadero circundante, AU: con actividad urbana circundante y SAA: sin actividad antrópica circundante. Letras iguales en una línea denotan que no hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Entre los factores ambientales con mayor efecto en el crecimiento de las plantas, y por tanto en los componentes del rendimiento y rendimiento de semilla, están la precipitación y la temperatura ambiente. De acuerdo con los datos de CONAGUA (2021), las localidades MAG y AU muestran precipitación promedio anual total (1310 y 1350 mm, respectivamente) y distribución de la precipitación durante el año similares; además, a pesar de ciertas fluctuaciones de la temperatura media (26.5 y 27 °C) y máxima (32.8 y 33.1 °C) durante el año sus promedios son similares (Fig. 9 A-B). Además, estas dos localidades comparten el mismo tipo de clima (Tabla 1). En contraste, con estas similitudes de su ambiente, las plantas de ambas localidades difirieron significativamente en 60% los componentes del rendimiento evaluados y en el rendimiento de semilla (Tabla 2). Además de lo anterior, el clima de la localidad SAA es diferente al de las otras dos, muestra mayor precipitación (total 2063 mm) y su ambiente es menos cálido (Fig. 9 C); pero, 60% de los componentes evaluados fueron similares en los de la localidad AU (Tabla 2). Lo anterior puede ser evidencia de la presencia de tres biotipos, parcialmente distintos, con interacción específica con su ambiente. Respuestas equivalentes se han documentado en biotipos de frijol silvestre (Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

La similitud de las dimensiones de los tallos entre las localidades es relevante por su relación con el rendimiento de los frutos y las semillas. Al respecto, los tallos desempeñan un papel de apoyo en el desarrollo de los órganos reproductores, como conductos para el transporte de recursos y como estructuras físicas que soportan el peso de los frutos en desarrollo. En leguminosas, como chícharo (*Pisum sativum*) y soya (*Glycine max* (L.) Merr.), el tamaño del tallo (altura y diámetro) es relevante, ya que puede recibir hasta un tercio de los fotoasimilados producidos por las hojas durante el desarrollo de los frutos y competir por ellos (Alerding *et al.*, 2017). Así, el crecimiento, axial y radial, y su conclusión antes o durante la etapa reproductiva tiene distintos efectos en el rendimiento de frutos y semillas (Purcell *et al.*, 2014). Si los tallos continúan la expansión radial durante la reproducción, los recursos se asignarán a la construcción de la pared celular secundaria, que incluye las síntesis de lignina, y al llenado de semillas. En especies de tallo erecto, que producen anillos concéntricos de tejidos secundarios, el crecimiento axial del tallo termina cuando la planta inicia la etapa de llenado de semillas (Purcell *et al.*, 2014). Actualmente, los aspectos relacionados con la terminación del crecimiento radial dentro del sistema de tallo y ramas en *C. longirostrata* se desconoce; por lo que, en estudios futuros podría evaluarse la anatomía y fisiología del desarrollo de esas estructuras para complementar el conocimiento de su aporte al rendimiento de frutos y semillas.

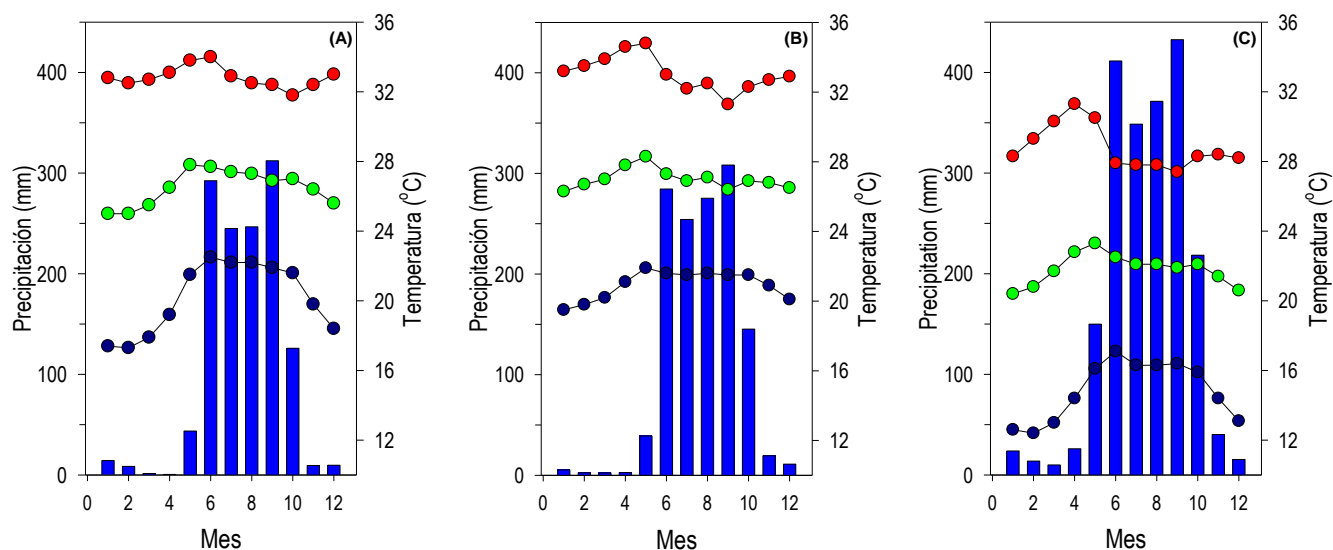


Fig. 9. Climogramas basados en precipitación promedio (barras) y temperatura promedio mínima (círculos negros), media (círculos verdes) y máxima (círculos rojos) en Las Vigas (A), Ometepec (B) y Llano Grande de los Hilarios Igualapa (C), Guerrero, México. Cada barra y círculo representa los datos promedio mensuales (1: enero... 12: diciembre) durante un período de seis décadas, de 1950 a 2010 (CONAGUA, 2021).

El número significativamente mayor de 38 y 45% de ramas en las plantas de la localidad MAG respecto a AU y SAA no fue proporcional a las diferencias en el número de racimos o frutos por planta entre las localidades; ya que, en la localidad MAG la cantidad mayor de racimos representó 63 y 70% respecto a AU y SAA y las diferencias en la cantidad de frutos alcanzó 60 y 74%, respectivamente. Estos resultados indican que la exposición de ramas, como uno de los componentes del rendimiento, repercute en el desarrollo de estructuras reproductivas en *C. longirostrata*. Al respecto, el espaciamiento entre las plantas es uno de los factores que afectan la ramificación y el rendimiento de las semillas en especies como *C. juncea* y soya (Tripathi *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2021), por su efecto en la tasa de crecimiento y en la competencia entre las plantas por los insumos necesarios para el crecimiento y el desarrollo. Xu *et al.* (2021) analizaron la contribución de las ramas al rendimiento de soya mediante dos fechas de siembra en seis densidades de siembra de dos cultivares; el número de vainas por planta creció con el aumento del número de ramas, mientras que el número de vainas por unidad de área disminuyó, por lo que, el rendimiento también se redujo. Además, los autores observaron respuesta diferente de los cultivares; uno, con una densidad menor de plantación, incrementó el rendimiento como resultado de más ramas; otro cv. incrementó su potencial de rendimiento con una mayor densidad de plantación debido al menor número de ramas y su tolerancia mayor a la competencia por densidad de siembra mayor. Así, el rendimiento de semillas puede aumentarse en plantas con poca capacidad de ramificación en siembra con densidad moderada (Xu *et al.*, 2021). La relevancia de las ramas en el incremento del rendimiento de semilla en *C. juncea* se debió a que el desarrollo de las ramas laterales aumentó los sitios para el desarrollo de frutos; esto se comprobó cuando se eliminó la dominancia apical, al separar el ápice del tallo (Tripathi *et al.*, 2013). Por lo que, en estudios futuros la densidad de plantas de *C. longirostrata* en los sitios muestreados complementará el análisis de las diferencias en el rendimiento de semilla.

Los frutos del presente estudio tuvieron longitud y diámetro que coincidieron con los de ejemplares de herbario (longitud entre 1.5 y 2.5 cm y diámetro entre 5 y 9 mm) recolectados en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca, México (Soto-Estada, 2004) y en la región del Bajío, México (Rzedowski *et al.*, 2016). Estos resultados indican que las dimensiones de los frutos de *C. longirostrata* son caracteres relativamente estables y típicos en diversas regiones de México. Esta homogeneidad contrasta con la distribución de los racimos y frutos a lo largo del

tallos en las localidades muestreadas. En relación con los frutos, las valvas son componentes del rendimiento que pueden tener efecto en el rendimiento de semilla. Esas estructuras, además de la función protectora a las semillas, pueden tener actividad fotosintética y aportar asimilados y nutrientes que impulsan el crecimiento de las semillas; además, la señalización generada por las valvas coordina el crecimiento, llenado y maduración de las semillas, todo esto con repercusiones en el rendimiento (Bennett *et al.*, 2011).

El número de semillas por fruto fue el componente del rendimiento que no difirió entre las localidades. Pero las diferencias en la cantidad de racimos y frutos por rama y por planta entre las localidades pueden repercutir en el rendimiento de semilla; aunque, con tendencias parcialmente diferentes. Esto permite suponer la presencia de tres biotipos, uno por cada localidad muestreada, que de acuerdo con el ACP no difieren completamente, ya que comparten ciertas características en los componentes del rendimiento. En contraste con la homogeneidad de las dimensiones de los frutos, el número de semillas, nueve en promedio, por fruto en las tres localidades fue poco menor al documentado, de entre 10 y 16, en algunos ejemplares de herbario (Soto-Estada, 2004; Rzedowski *et al.*, 2016).

La cantidad de frutos por planta, como componente del rendimiento, está relacionada directamente con la producción de semillas (Guerrero, 1999). Estas últimas tienen importancia central en el presente estudio, ya que es el insumo crítico en los sistemas agrícolas. Es decir, para el cultivo y multiplicación de plantas, en campo de cultivo o invernadero, es necesario contar con semilla suficiente y de buena calidad (Vinicius de Araujo *et al.*, 2018). En este estudio se demostró que las poblaciones silvestres de *C. longirostrata*, del estado de Guerrero, producen en promedio de 3054 a 10707 semillas por planta. En contraste, el número promedio de semillas por fruto es un carácter homogéneo (8 a 10 semillas por fruto) entre las localidades. Además, la calidad fisiológica de las semillas de las tres regiones muestreadas está actualmente en proceso, para complementar la información.

Los resultados del presente estudio indican que las plantas más productivas, con mayor número de ramas, racimos y frutos por planta, número de frutos por racimo y por rama, número de semillas por rama y por planta y rendimiento de semilla se desarrollaron en la localidad MAG, con suelo franco arenoso, con capacidad de campo y punto de marchitez permanente menores, pero con capacidad de intercambio catiónico, y contenido de P y K intercambiable mayores respecto a los otros sitios. Además, el sitio MAG es una zona con potreros y cultivos, como maíz y frijol, cercanos. En contraste, las plantas con los valores significativamente menores de esos componentes del rendimiento y del rendimiento correspondieron a la localidad SAA, en suelo franco limoso, con pendiente de 25°, entre cerros y con capacidad de campo, punto de marchitez permanente, conductividad eléctrica y N total mayores respecto al de los otros sitios; además, esas plantas con los rendimientos menores crecieron en suelo con menor contenido de Ca intercambiable y P extraíble, respecto a los otros sitios. Al contrario, el pH y el contenido de Mg y de K intercambiable fueron similares en las tres localidades, por lo que no se relacionaron directamente con las diferencias en el rendimiento y sus componentes entre las localidades.

CONCLUSIONES

Los componentes del rendimiento y el rendimiento de semilla de poblaciones de *C. longirostrata* muestran variabilidad genética (biotipos) y especificidad al ambiente de crecimiento. Los biotipos, independientemente del ambiente en el que crecen, producen miles de semillas por planta con potencial de uso para multiplicar las plantas *ex situ*. Sin embargo, los ambientes menos cálidos y los suelos con capacidad de campo y punto de marchitez permanente mayores parecen menos favorables para la producción de semillas. Al contrario, el suelo con mayor capacidad de intercambio catiónico, concentración de materia orgánica, P extraíble y K soluble parece favorecer el desarrollo de las plantas de *C. longirostrata*, que resulta en alto rendimiento de semilla.

Actualmente, la información del rendimiento y sus componentes del germoplasma de *C. longirostrata* es escasa; por lo tanto, los resultados del presente estudio son la información más completa con la que se cuenta a la fecha y puede ser la base para la producción agrícola de la especie. Aunque, es necesaria la evaluación de la calidad fisiológica de la semilla y su respuesta a las variaciones ambientales anuales.

LITERATURA CITADA

- Alerding, A. B., Waalkes, M. R., Hill, E. S., Rowe, R. A., & Parsons G. (2018). Stem growth during seed production in soybean: Implications for pod yield. *Journal of Crop Improvement*. <https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1381866>
- Arias, L., Losada, H., Rendon, A., Grande, D., Vieyra, J., Soriano, R., Rivera, J., & Cortes, J. (2003). Evaluation of chipilin (*Crotalaria longirostrata*) as a forage resource for ruminant feeding in the tropical areas of Mexico. *Livestock Research for Rural Development*, 15, 1–4.
- Azurdia, C. 2016. *Plantas Mesoamericanas Subutilizadas en la Alimentación Humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual*. Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. Documento técnico No. 11-2016.
- Basurto-Peña, F. (2011). *Los quelites de México: especies de uso actual*. En: Mera L. M., Castro, L.D., Bye R., eds. *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria*.
- Bibi, Y., Arshad, M., Ahmad, N., Riaz, I., & Chaudhari, S. K. (2015). An insight into medicinal and ethnopharmacological potential of *Crotalaria burhia*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(7). [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(15\)60826-X](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(15)60826-X)
- Bye, R. (1981). Quelites-ethnobiology of edible green-past, present and future. *Journal of Ethnobiology*, 1, 109–123.
- Camarillo-Castillo, F., & Mangan, F. X. (2020). Biological nitrogen fixation in chipilin (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.), a sustainable nitrogen source for commercial production. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(2), 125–141. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.01.002>
- Castiñeiras, A., Fundora, M., Shagarodsky, S., Fuentes, F., Barrios, G., Moreno, F., Sánchez, P., González A., A., Martínez, F., García, G., & Martínez, R. (2000). La conservación *in situ* de la variabilidad de plantas de cultivo en dos localidades de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 21, 25–45. <https://doi.org/doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.01.002>
- Centurión, H. D., Espinosa, M. J., Poot, M. J. E., & Cázares, C. J. G. (2003). *Cultura alimentaria tradicional de la región Sierra de Tabasco*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- CONAGUA, 2021. Gobierno de México, Información del clima 1981–2010 de Guerrero. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=gro>
- Cruz-Rodríguez, R. I., Meza-Gordillo, R., Rodríguez-Mendiola, M. A., Arias-Castro, C., Mancilla-Margalli, N. A., Ávila-Miranda, M. E., Culebro-Ricaldi, J. M., Gutiérrez-Miceli, F. A., Ruiz-Valdiviezo, V. M., & Ayora-Talavera, T. D. R. (2017). Antifungal activity of *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. extracts against phytopathogen fungi from maize. *Gayana. Botánica, ahead*. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432017005000102>
- Cruz-Rodríguez, R. I., Cruz-Salomón, A., Ruiz-Lau, N., Pérez-Villatoro, J. I., Esquinca-Avilés, H. A., & Meza-Gordillo, R. (2020). Potential application of *Crotalaria longirostrata* branch extract to reduce the severity of disease caused by *Fusarium*. *Agronomy*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy10040524>
- Chávez, E., Roldán, T. J., Sotelo, O., B., Ballinas, D., & López, Z. (2009). Plantas comestibles no convencionales en Chiapas, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 10, 1–10.

- Desaeger, J., & Rao, M. (2000). Parasitic nematode populations in natural fallows and improved cover crops and their effects on subsequent crops in Kenya. *Field Crops Research*, 65(1). [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00071-4)
- Devendra, B. N., Srinivas, N., & Solmon, K. S. (2012). A comparative pharmacological and phytochemical analysis of *in vivo* & *in vitro* propagated *Crotalaria* species. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(1). [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60242-3](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60242-3)
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 p.
- Fischler, M., & Wortmann, C. S. (1999). Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems*, 47(1/3). <https://doi.org/10.1023/A:1006234523163>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, J., Villatoro, F., Rodenas, M., Fuentes-Rousselin, H., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Crecimiento de la cría de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) utilizando hojas de chipilín (*Crotalaria longirostrata*) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17, 1–12.
- Guerrero, G. A. (1999). *Cultivos herbáceos extensivos*. Editorial Mundi-Prensa.
- Hall, A. (1980). Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 1(1), 73–86.
- Huerta-Lovera, M., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Kohashi-Shibata, J., Campos-García, H., Aguirre-Rivera, J. R. (2018). Maguey (*Agave salmiana*) infructescence morphology and its relationship to yield components. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 1649-1661.
- IUSS Working Group WRB. (2015). *World reference base for 2014, update 2015 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World soil resources reports No. 106. FAO, Rome.
- Jacobi, C. M., Ramalho, M., & Silva, M. (2005). Pollination biology of the exotic rattleweed *Crotalaria retusa* L. (Fabaceae) in NE Brazil. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(3): 357-363. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00047.x>
- Jiménez S, A., Farfán, V., & Morales L. C. (2005). Biomasa seca y contenido de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida*, empleadas como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé*, 56, 93–109.
- Laguna, G, J. (2016). *Determinación de la actividad biológica y caracterización de extractos del chipilín (Crotalaria longirostrata) con potencial aplicación en alimentos*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Linares, M., & Bye, B. (2015). Las especies subutilizadas de la milpa. *Revista Digital Universitaria*, 16. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art35/>
- Martínez, C, T. (2016). *Evaluación de cinco fuentes alimenticias en la reproducción de caracoles de agua dulce (Pomacea flagellata)*. Universidad de El Salvador.
- McClung de Tapia, E., Martínez Y, D., Ibarra M, E., & Adriano M, C. (2014). Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *Anales de Antropología*, 48(1), 97–121.
- Meagher J, R., Watrous, K., Fleischer, S., Nagoshi, R., Brown, J., Miller, N., Hight, S., Legaspi, J., & Westbrook, J. (2019). Documenting potential sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) (Fabaceae) pollinators in Florida. *Environmental Entomology*, 48, 343–359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ee/nvy190>
- Mederos-Ramírez, A. & Ortiz-Pérez, R. (2021). Analysis of the genotype environment interaction in the of soybean crop (*Glycine max* (L) Merrill). *Cultivos Tropicales*, 42(1), 1-10.
- Miranda-Granados, J., Chacón, C., Ruiz-Lau, N., Vargas-Díaz, M., Zepeda, L., Alvarez-Gutiérrez, P., Meza-Gordillo, R., & Lagunas-Rivera, S. (2018). Alternative use of extracts of Chipilín leaves (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.) as antimicrobial.

- Sustainability*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030883>
- Morton, J. F. (1994). Pito (*Erythrina berteroana*) and chipilin (*Crotalaria longirostrata*), (fabaceae) two soporific vegetables of Central America. *Economic Botany*, 48(2), 130-138. <https://doi.org/10.1007/BF02908199>
- Mwakha, F. A., Gichimu, B. M., Neondo, J. O., Kamau, P. K. (2020) Agro-morphological characterization of Kenyan slender leaf (*Crotalaria brevidens* and *C. ochroleuca*) accessions. *International Journal of Agronomy*, 2020, <https://doi.org/10.1155/2020/2710907>
- Olsen, S. R. & Dean, L.A. (1965). Phosphorus. In: *Methods of Soil Chemical Analysis*. Black, C. A. (eds.) Part 2. *Agronomy*, 9, 1035-1049.
- Patrick, J. W., & Colyvas, K. (2014). Crop yield components photoassimilate supply or utilisation limited organ development? *Functional Plant Biology*, 41(9). <https://doi.org/10.1071/FP14048>
- Peña-Valdivia, C. B., Aguirre R., R., & Arroyo-Peña, V. (2012). *El frijol silvestre: Síndrome de domesticación*. Colegio de Postgraduados.
- Purcell, L. C., Salmeron, M. & Ashlock, L. (2014). Soybean growth and development. *Arkansas Soybean Production Handbook*. <https://www.mssoy.org/uploads/files/soy-growth-dev-ark.pdf>
- Rojas-García, A., Maldonado-Peralta, M. de los A., Álvarez-Vázquez, P., Sánchez-Santillán, P., Ayala-Monter, M., & Ramírez-Reynoso, O. (2021). Scarification treatments in chepil seeds (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.) used to improve their germination. *AGROProductividad*, 14(2), 67–72.
- Romero-Sánchez, I., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., & Aguilar-Benítez, G. (2020). Caracterización seminal y del desarrollo de *Oenothera rosea* L'Hér. ex Ait. en invernadero. *Polibotánica*, 50, 47-66. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.4>
- Rouached, H., & Rhee, S. Y. (2017). System-level understanding of plant mineral nutrition in the big data era. *Current Opinion in Systems Biology*, 4, 71–77 <https://doi.org/10.1016/j.coisb.2017.07.008>
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Rzedowski, J., Calderón de Rzedowski, G., Torres, C., & Grether, R. (2016). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes: Leguminosae (Subfamilia Papilionoideae (Aeschynomene-Diphysa)* (Vol. 192). Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma oficial mexicana, NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. México, D.F, México. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Solís Bonilla, J. L., Muñoz Orozco, A., Escalante Estrada, J. A. S., & Zamarripa Colmenero, A. (2017). Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2). <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.346>
- Soto-Estada, C. (2004). Crotalariaeae. In Dávila A., P., Villaseñor J., R., Medina, L. & Télles, V. (Eds.), *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*.
- Tapia, E. (2000). Prehispanic agricultural systems in the Basin of Mexico. In Lentz, D. (Ed.), *Imperfect Balance: Landscape Transformation in the Precolumbian Americas*.
- Tripathi, M., Chaudhary, B., Bhandari, H., & Harish, E. (2012). Effect of varieties, irrigation and nitrogen management on fibre yield of sunnhemp. *Journal of Crop and Weed*, 8, 84–85.
- Tripathi, M., Chaudhary, B., Singh, S., & Bhandari, H. (2013). Growth and yield of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) as influenced by spacing and topping practices. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 3744–3749.
- van Reeuwijk, L. (2002). *Procedures for soil analysis*. International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Recibido:
6/agosto/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- Villar E., M. de J. & Zavaleta-Mejía, E. (1990). Efecto de *Crotalaria longirostrata* Hook y Arnott sobre nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 8(2), 166-172.
- Vinicius de Araujo, A., Araújo, E. F., Ribeiro, A. H. T., Silva, S. R. E., & Cecon, P. R. 2018. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. *Revista Ciencia Agronómica*, 49(1), 103-111
- White, P. J. & Brown, P. H. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105, 1071-1080. doi:10.1093/aob/mcq085,
- Xu, C., Li, R., Song, W., Wu, T., Sun, S., Hu, S., Han, T. & Wu, C. (2021). Responses of branch number and yield component of soybean cultivars tested in different planting densities. *Agriculture* 11(1), 69. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010069>

**GERMINACIÓN Y
MULTIPLICACIÓN DE PLANTAS
in vitro DE *Heimia salicifolia*
(LYTHRACEAE)**

**GERMINATION AND
MICROPROPAGATION *in vitro*
OF *Heimia salicifolia* (LYTHRACEAE)**

Ordoñez Posadas, F.; M. de L. Martínez- Cárdenas y J.L. Rodríguez de la O.

GERMINACIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE PLANTAS *in vitro* DE *Heimia salicifolia* (LYTHRACEAE).

GERMINATION AND MICROPROPAGATION *in vitro* OF *Heimia salicifolia* (LYTHRACEAE).



GERMINACIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE PLANTAS *in vitro* DE *Heimia salicifolia* (LYTHRACEAE).**GERMINATION AND MICROPROPAGATION *in vitro* OF *Heimia salicifolia* (LYTHRACEAE).**

Ordoñez Posadas, F.;
M. de L. Martínez- Cárdenas
y J.L. Rodríguez de la O.

GERMINACIÓN Y
MULTIPLICACIÓN DE
PLANTAS *in vitro* DE *Heimia*
salicifolia (LYTHRACEAE).

GERMINATION AND
MICROPROPAGATION *in*
vitro OF *Heimia salicifolia*
(LYTHRACEAE).

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 123-138. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.8

F. Ordoñez Posadas / fernandoozp@outlook.com
Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa.
División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
Universidad Autónoma de Chapingo.
*Laboratorio de cultivo *in vitro*, Área de Fitotecnia, México*

M. de L. Martínez- Cárdenas
Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa.
División de Ciencias Biológicas y de la Salud, México.

J.L. Rodríguez de la O
Universidad Autónoma de Chapingo.
*Laboratorio de Cultivo *in vitro*, Área de Fitotecnia, México.*

RESUMEN: Las técnicas de germinación y micropropagación *in vitro* permiten rescatar y multiplicar plantas a gran escala, permitiendo la evaluación del mejor protocolo de cultivo, lo que resulta en su optimización. La técnica de germinación para *Heimia salicifolia* se planteó a partir del empleo de concentraciones diferentes de citocininas y giberelinas (Tabla 1) en medio MS al 100% suplementados con 3% sacarosa, evaluando los efectos de estos reguladores de crecimiento sobre tiempos de germinación y desarrollo vegetal acorde a número de hojas, tamaño promedio de las vitroplantas por tratamiento y vigor. No se presentó diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 1), sin embargo, la evaluación de las plántulas transcurridos cuatro meses, permite concluir que los reguladores de crecimiento presentes desde la germinación producen afectaciones a la calidad de las plántulas.

La micropropagación llevada a cabo con medio básico (Murashige & Skoog, 1962) al 100%, con diferentes concentraciones de 2-isopentiladenina (2iP), Bencilaminopurina (BA) y Kinetina (K), suplementados con 30g/L⁻¹ de sacarosa, 100 mg L⁻¹ de Mioinositol, 0.40mg L⁻¹ de Tiamina, 60 mg L⁻¹ de L-cisteína y pH de 5.7± 0.1. Los resultados del protocolo exhibieron diferencias significativas a partir de la obtención de explantes basales y apicales. El tratamiento 2 (0.3 mg L⁻¹ para 2iP, BA y Kinetina) mostró resultados diferenciales en cuanto a número de brotes y número de hojas, sin embargo, el crecimiento longitudinal o tamaño promedio diferencial de la plántula se obtuvo a partir del tratamiento sin hormonas, resultando estos dos tratamientos como eficaces para la micropropagación de *Heimia salicifolia*.

Palabras clave: Cultivo *in vitro*, giberelinas, citocininas, germinación, micropropagación.

ABSTRACT: *In vitro* germination and micropropagation techniques allow to rescue and propagate plants on a large scale. The present work evaluated different cultivation treatments to determine the optimal micropropagation protocol. It is possible to establish an *in vitro* protocol for optimal germination and cloning of *Heimia salicifolia* based on the requirements for germination and propagation *in situ*.

Germination protocol was applied at different concentrations of cytokinins and gibberellins in MS medium (1962) at 100% with 3% sucrose (Table 1), but the variables obtained by the different treatments allow to conclude that the best method for germination was without vitamins reducing the cost and obtaining the same results. The effect of these growth regulators on germination time and plant development for

four months was evaluated according to the number of leaves, length in centimeters and vigor of seedlings. There were significant differences between the treatments in all the variables, concluding that the best treatment for germination and maintenance of vitroplants is without hormones.

For micropropagation protocol was necessary the evaluation of 100% MS medium with different concentrations of 2ip, BA and Kinetin, supplemented with 30 g L⁻¹ of sucrose, 100 mg L⁻¹ of Myo-inositol, 0.40 mg of Thiamine, 60 mg L⁻¹ of L-cysteine and pH of 5.7 ± 0.1. (Table 3). There were significant differences between basal and apical explants. Treatment 2 (0.3 mg L⁻¹ 2ip, BA and Kinetin) showed the best results in terms of number of shoots and number of leaves. However, the best results in longitudinal growth of the seedlings were obtained with the treatment without hormones. These two treatments showed to be effective for micropropagation allowing to conclude that it is possible to establish a micropropagation protocol for *Heimia salicifolia* from apical and basal explants with exponential growth.

Keywords: *In vitro* culture; gibberellins; cytokinins; germination; micropropagation.

INTRODUCCIÓN

Heimia es un género de siete especies de plantas con flores pertenecientes a la familia Lythraceae, encontrando principalmente hierbas, arbustos y árboles. Poseen una morfología generalizada, por lo cual, no hay una sinapomorfia que defina a la familia, dificultando su detección *in situ*. (Graham S. A., 1994).

Heimia salicifolia es un arbusto herbáceo perenne de hasta tres metros de altura, posee hojas sésiles, lanceoladas y lineales posicionadas de forma opuesta. Su floración es amarilla con dos centímetros de diámetro, formada por seis pétalos en pares a la porción axilar de la hoja y semillas de 0.5mm de diámetro, que en ambientes óptimos su germinación se produce entre los 10 y 16 meses. (Rother, 1985).

Este arbusto ha empleado para la adoración de la deidad Xochipilli, diosa azteca de la primavera y el deseo. (Díaz Daniel, 1999). Registrándose usos medicinales tradicionales como diurético, laxante, emético, analgésico y antiinflamatorio. La ingesta de una bebida producida tras su fermentación provoca desórdenes espaciotemporales dada su concentración de alcaloides. (Malone & Rother, 1994). Estos efectos aún no han sido del todo elucidados, por lo cual requiere estudios a profundidad.

Análisis previos mediante la inhibición de prostaglandina sintetasa revelaron que los alcaloides nesodina y criogenina podrían ser el doble de potentes que la aspirina en cuanto al efecto analgésico, sin embargo, la efectividad antipirética requiere de estudios avanzados, concluyendo que poseen actividad antiinflamatoria significativa y potencial terapéutico. Estos alcaloides son producidos en hojas de *Heimia salicifolia* tras dos años de crecimiento *in situ*, además de no ser comercializados y en la mayor parte de los estudios no se ha aplicado el uso de herramientas como la clonación *in vitro*, por lo cual su estudio es lento. (Lema *et al.*, 1986).

El cultivo *in vitro* se define como el cultivo de tejidos vegetales, en medios nutritivos bajo condiciones estériles en ambientes óptimos que permiten mantener la homogeneidad de las plantas y las concentraciones adecuadas de nutrientes en adición a reguladores de crecimiento acorde al protocolo seleccionado para cada especie (Bhojwani Saran Sant & Dantu Kumar Prem, 2013). Este tipo de cultivo permite el crecimiento y desarrollo de plantas, semillas, embriones, órganos, tejidos, células y protoplastos, posibilitando la reducción de tiempo de crecimiento a semanas, aunado a una manipulación completamente estéril y controlada, siendo una herramienta adecuada para la clonación de *Heimia salicifolia*; lo que podría implicar la reducción del tiempo de germinación, en comparación con el tiempo que tomaría *in situ*. (Ochoa-Villarreal *et al.*, 2016).

Los protocolos de propagación vegetal o clonación permiten la producción de plantas a una mayor escala, desde su germinación, para conservar su esterilidad y emplear explantes completamente asépticos; por lo cual, se propone el uso de estos protocolos para la producción de plantas de interés farmacológico, tal como *Heimia salicifolia*. (Espinosa-Leal *et al.*, 2018).

El empleo de explantes para la propagación de plántulas se fundamenta en la obtención de meristemas laterales aislados de internodos o secciones de la planta, con potencial de generar plántulas sanas con una mayor producción de brotes y hojas nuevas como efecto derivado de la eliminación de la dominancia apical. Esta técnica suele emplear reguladores de crecimiento con la finalidad de obtener vitroplantas vigorosas en condiciones óptimas y un menor lapso para la continuación de su estudio. (Galán-Ávila *et al.*, 2020).

En este estudio se propuso el estudio de *Heimia salicifolia in vitro* con la finalidad de establecer un protocolo adecuado para su germinación y micropropagación, permitiendo la obtención de plantas vigorosas en un lapso reducido, en comparación con el necesario *in situ* en comparación con referencias previas; ajustando así las características físicas y químicas en el protocolo *in vitro* para una germinación y clonación óptimas, que permitirían un estudio continuo y con mayor densidad de alcaloides dado el potencial de mayor producción de peso fresco en prospectiva, tras el establecimiento adecuado del protocolo propuesto en este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de las semillas y esterilización

Las semillas maduras fueron adquiridas a través de plantswithapurpose.org de origen estadounidense (Jacksonville, F.L 32257 US) y almacenadas a temperatura ambiente. Se homogenizaron las semillas en tamaño y aspecto previo a la esterilización y desinfección de semillas mediante lavado de agua con jabón durante 10 minutos; desinfección con alcohol al 70% (v/v) durante cinco minutos y cloro al 10% (v/v) durante 15 minutos, posteriormente se mantuvieron en agua estéril durante 10 minutos previos a la siembra en condiciones de cultivo *in vitro*.

Condiciones del cultivo

Las condiciones en las cuales se colocaron las semillas para la germinación fueron: temperatura entre 24 y 26 °C durante el día y 22 °C durante la noche en fotoperiodo de 16:8. La luminosidad medida fue ajustada con un luxómetro resultando en 485.75 $\mu\text{mol/s/m}^2$.

Diseño experimental para germinación

Se sembraron 60 semillas para cada tratamiento en un total de 48 frascos, es decir, se sembraron 5 semillas en cada frasco, dando un total de 240 semillas sembradas. Se evaluaron los tratamientos con distintas concentraciones de hormonas comparadas con el control (Tabla 1). Tras la germinación, se observó el desarrollo de 15 vitroplantas seleccionadas aleatoriamente por cada tratamiento; se permitió su desarrollo durante cuatro meses para la evaluación de su calidad a partir del número de hojas producidas, longitud de las plántulas en tamaño promedio (cm) y el vigor definido por una escala preestablecida.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en fase experimental. Concentraciones expresadas en mg L^{-1} .

| Tratamientos | Benziladenina (BA) | Giberelinas (GA ₃) |
|--------------|--------------------|--------------------------------|
| T0 (Control) | 0.0 | 0.0 |
| T1 | 0.12 | 1.2 |
| T2 | 0.4 | 0.4 |
| T3 | 1.2 | 0.12 |

Tabla 2. Índices empleados para el monitoreo del vigor de crecimiento de vitroplantas de *Heimia salicifolia*.

| Índice | Interpretación |
|--------|---|
| 0 | Vitroplanta muerta, muriendo o enferma. |
| 1 | Crecimiento lento, sin la apariencia deseada. |
| 2 | Apariencia deseada deficiencia de vigor. |
| 3 | Apariencia deseada con crecimiento vigoroso. |

Diseño experimental para micropropagación a partir de yemas apicales y basales.

Una vez finalizados dos meses de crecimiento tras la germinación, se emplearon aquellas plántulas de 1cm de longitud obtenidas del tratamiento control, para la evaluación del protocolo de micropropagación sin afectaciones hormonales previas que pudiesen alterar el efecto de los reguladores de crecimiento adicionados en este protocolo. Se obtuvieron explantes de 0.5cm de la zona apical y basal del tallo de la vitroplanta, colocando tanto explantes basales, como apicales en frascos con los distintos tratamientos (Tabla 3).

Los tratamientos fueron empleados en medio MS (1962) suplementados con 30g/L de sacarosa, 100 mg L⁻¹ de Mioinositol, 40 mg L⁻¹ de Tiamina, 60 mg L⁻¹ de L-cisteína, pH 5.7± 0.1, 8g/L de agar-agar. Se realizó un conteo del número de brotes obtenidos por cada explante; longitud de los brotes en tamaño promedio, vigor (0,1,2,3) y el número de hojas producidas, un mes tras la obtención del explante proveniente de plantas germinadas dos meses previos a la micropropagación.

Tabla 3. Concentraciones expresadas en mg L⁻¹ de los tratamientos para micropropagación

| Tratamientos | Kinetina | BA | 2iP |
|--------------------|----------|-----|-----|
| Control (T0) | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Tratamiento 1 (T1) | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Tratamiento 2 (T2) | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Tratamiento 3 (T3) | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Toma de datos y parámetros.

La germinación se monitoreó de manera continua en un tiempo determinado de dos semanas; se calculó el tiempo promedio de germinación ($MGT = \frac{\sum(nT)}{\sum n}$) donde: n es el número de semillas germinadas a determinado tiempo T; T representa los días del inicio de la prueba y $\sum n$ es referido a la germinación final por cada tratamiento. Se determinó la germinación acumulada y los porcentajes de germinación finales. Se permitió, el crecimiento y desarrollo de las vitroplantas germinadas durante cuatro meses para la evaluación de la calidad de las plantas *in vitro*. (Al-Ansari & Ksiksi, 2016)

En cuanto al protocolo de micropropagación, se emplearon vitroplantas con 2 meses de germinación con la finalidad de obtener vitroplantas que permitiesen la obtención de explantes de un centímetro bajo el criterio de que previamente estas plantas debieron obtenerse del tratamiento control que muestra mejor vigor en respuesta al tratamiento. Tras la obtención de explantes apicales y basales, se permitió el desarrollo durante un mes, calculando las medias del

número de brotes producidos, número promedio de hojas, tamaño final promedio de los explantes (cm) y vigor.

Fue indispensable establecer el modelo exponencial que seguirían las plántulas aplicando los datos arrojados por el mejor tratamiento para la micropropagación, permitiendo la estimación del número de vitroplantas anuales a producir considerando que cada brote generaría una vitroplanta y que estas a su vez produzcan nuevos brotes. El modelo general de crecimiento exponencial plantea la siguiente fórmula: $Y=C(1+r)^t$ donde C es la cantidad inicial de vitroplantas; r es la tasa de crecimiento y t es el tiempo transcurrido tras la siembra (Arenas Solá, 2007)

El modelo general de crecimiento exponencial se aplicó al protocolo de micropropagación; calculando que lo obtenido en un mes debía seguir este crecimiento durante 12 meses, obteniendo un número aproximado de plantas a producir anualmente, fundamentando la relevancia de la técnica y las capacidades de esta para estudios futuros de *Heimia salicifolia*, incrementando la producción de peso fresco obtenido.

Análisis estadístico

El experimento de germinación fue llevado a cabo a partir de la homogenización de 240 semillas dispuestas en cuatro tratamientos. Se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p<.05$) para la normalización de datos. La evaluación de la calidad de las plántulas cuatro meses tras la germinación, respondió satisfactoriamente a la prueba de hipótesis confirmando que el empleo de la prueba de ANOVA con un valor de $p<.0001$ era adecuado.

En lo referente al protocolo de micropropagación, se emplearon plántulas al azar provenientes del tratamiento control que cumplieren con el vigor requerido, con la finalidad de mantener la homogeneidad del protocolo. Se llevaron a cabo 45 repeticiones de explantes de la zona apical y de la zona basal por cada tratamiento; a partir de los cuales, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), detectando así las diferencias significativas complementado por una prueba de TUKEY (HSD), con un valor de $p<.0001$. Este ANOVA fue llevado a cabo a partir del análisis de medias LS que corrige el posible desbalance en el análisis de los datos obtenidos, dado el empleo de múltiples frascos, proporcionando un diseño estadístico más cercano a lo que realmente sucede con las vitroplantas. (Rasch Dieter & Schott Dieter, 2018)

El monitoreo del vigor durante el crecimiento de las vitroplantas en los cuatro meses tras la germinación y la micropropagación fue realizado a partir de la interpretación de índices preestablecidos (Tabla 2).

El software empleado en todas las pruebas estadísticas fue XLSTAT desarrollado por Addinsoft.

RESULTADOS

Efectos de las distintas concentraciones de giberelinas y citocininas *in vitro* sobre la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas

Se determinó la germinación de las vitroplantas a partir de la protrusión de la radícula, en un tiempo máximo de 2 semanas (Fig. 1), obteniendo que los picos de germinación son similares en los tratamientos; el tiempo promedio de germinación (MGT) (Fig. 2) no posee diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo un tiempo promedio de 9 a 10 días.

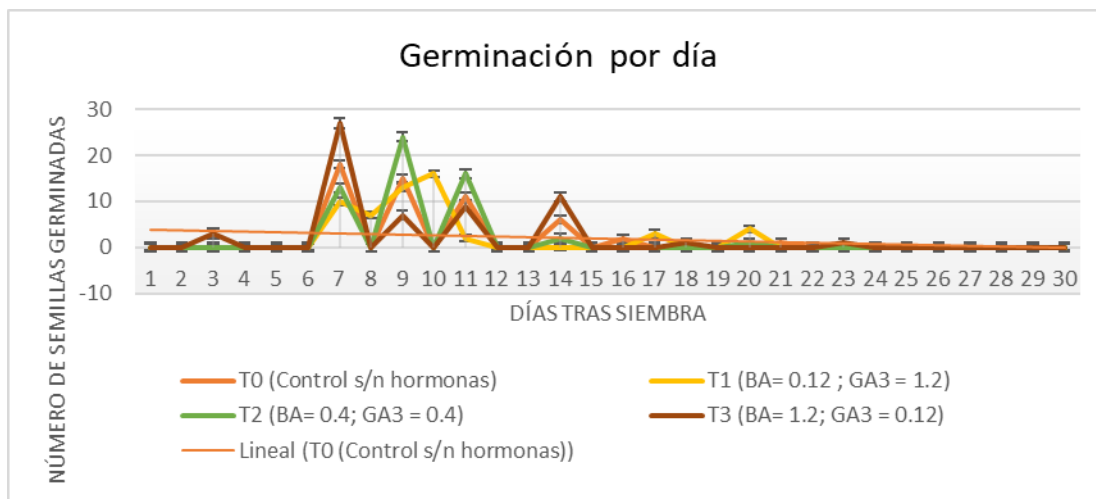


Fig. 1. Número de semillas germinadas durante 30 días en cada tratamiento diferencial en la concentración de giberelinas (GA3) y citocininas (BA) expresadas en mg L^{-1} .

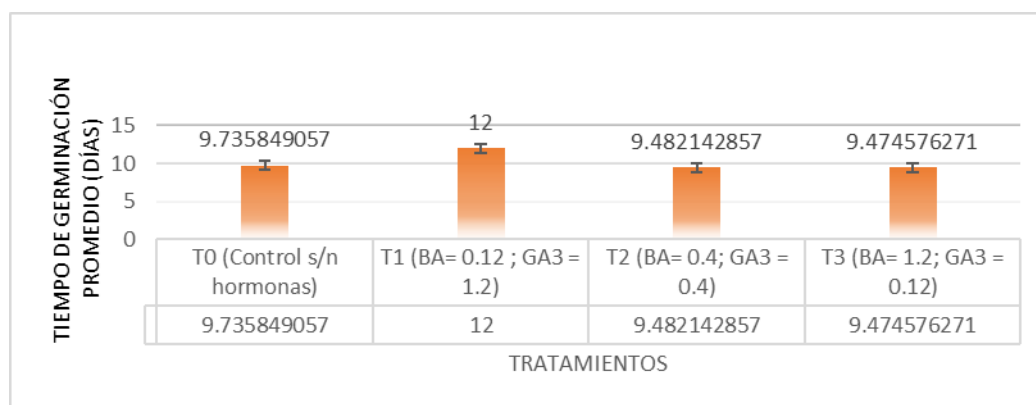


Fig. 2. Tiempo de germinación promedio tras incubación en medio basal MS al 100%; tratamientos con distintas concentraciones de giberelinas (GA3) y citocininas (BA).

Cuatro semanas a partir de la siembra, una vez finalizada la cohorte de semillas germinadas, se evaluó el porcentaje final de germinación por cada tratamiento, sin diferencias significativas entre sí. Esta similitud entre los porcentajes de germinación, indica que, el empleo de reguladores de crecimiento como lo son giberelina y benziladenina no tienen efectos diferenciales relacionados con el tiempo de germinación en *Heimia salicifolia*.

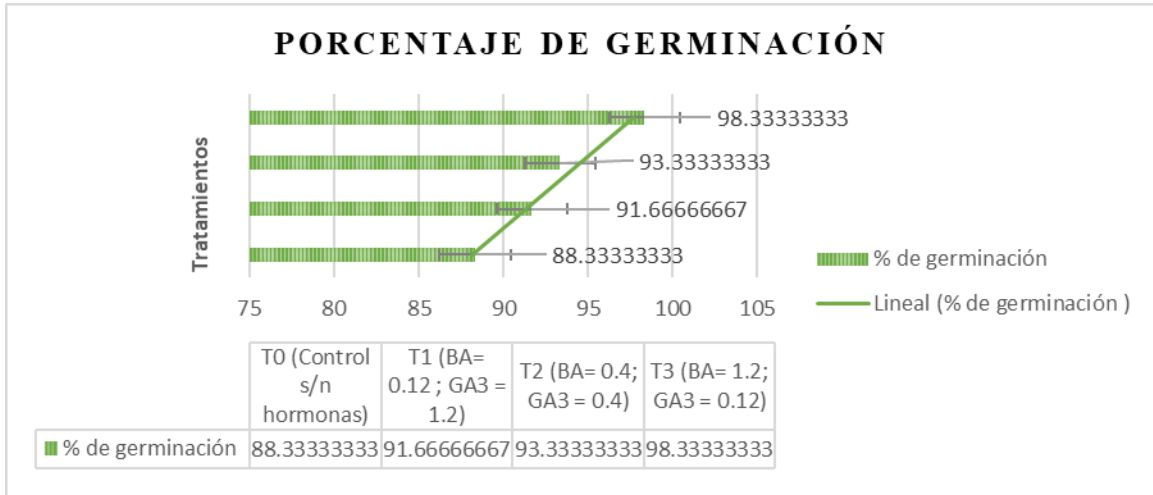


Fig. 3. Porcentaje de germinación de semillas de *Heimia salicifolia*, tras 30 días (4 semanas) en los tratamientos evaluados.

30 días tras la germinación, se permitió el desarrollo de 15 plántulas y se evaluó, el número de hojas promedio (Fig. 4), longitud de las plántulas (figura 5) y vigor. Los datos que aportaron estas características fueron analizados mediante una prueba de ANOVA y Tukey $p < .0001$.

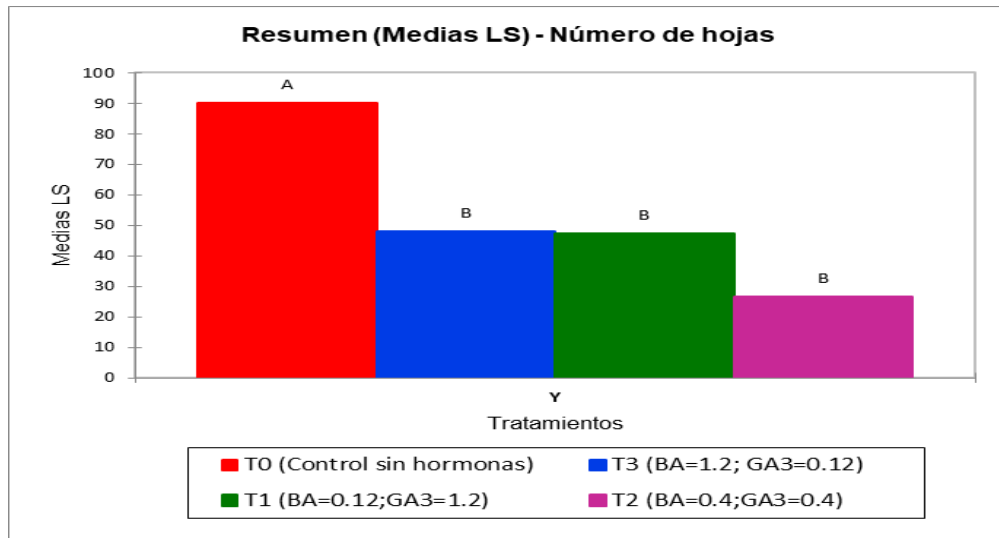


Fig. 4. Medias de número de hojas producidas en plántulas 4 meses tras la germinación.

Se observa ante la presentación de los resultados, que el tratamiento control presenta diferencias significativas con el resto de los tratamientos en cuanto al número de hojas producidas y la longitud de las plántulas producidas por su tamaño promedio (cm) cuatro meses tras la siembra. (Figs. 4, 5)

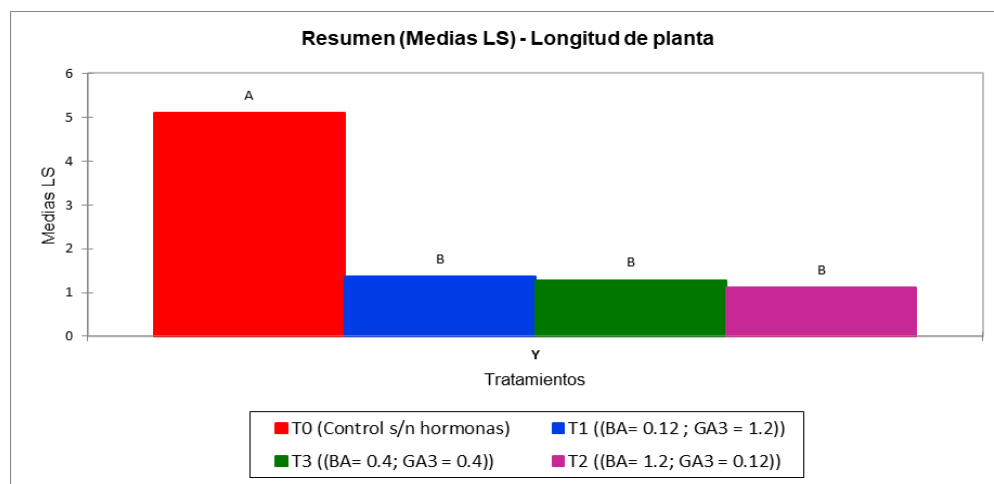


Fig. 5. Medias de la longitud de las plántulas 4 meses tras la germinación.

Mientras a partir de las características visuales obtenidas, se definió el vigor de las plántulas en los tratamientos (Tabla 4); denotando que las características óptimas fueron desarrolladas en el tratamiento control por la diferencia significativa con el resto de los tratamientos (Fig. 6).

Tabla 4. Clasificación de vigor de tratamientos 4 meses tras la germinación.

| Tratamiento | Vigor |
|---|---|
| Tratamiento 0 (Control) | “3” Apariencia deseada, crecimiento vigoroso. |
| Tratamiento 1 (BA= 0.12; GA ₃ = 1.2) | “1” Crecimiento lento, sin la apariencia deseada. |
| Tratamiento 2 (BA= 0.4; GA ₃ = 0.4) | “1” Crecimiento lento, sin la apariencia deseada. |
| Tratamiento 3 = (BA= 1.2; GA ₃ = 0.12) | “0” Planta indeseada, senescente. |

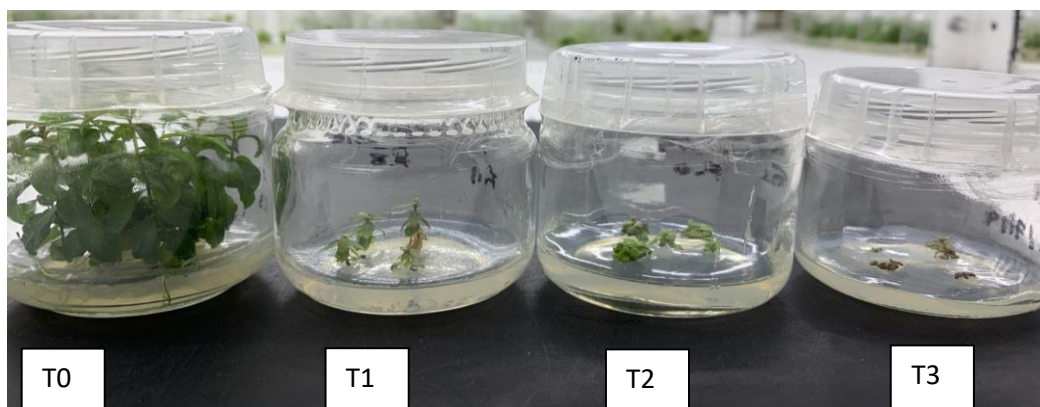


Fig. 6. Calidad de plántulas 4 meses tras la germinación. T0 (Control sin reguladores); T1 (BA= 0.12; GA₃= 1.2); T2= (BA= 0.4; GA₃= 0.4); T3 (BA= 1.2; GA₃= 0.12) mg L⁻¹.

Efecto de balance de citocininas (BA, 2iP y KIN) sobre la micropropagación de *Heimia salicifolia*.

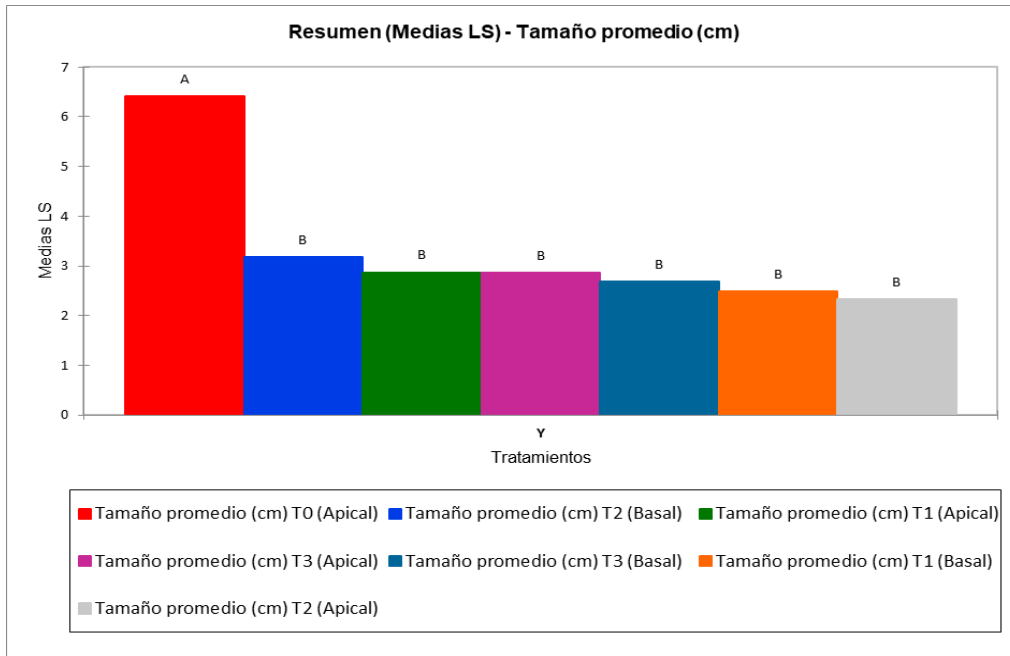


Fig. 7. Medias LS del tamaño promedio de las plántulas por cada tratamiento. ANOVA/Tukey ($p < .0001$). T0= Control (s/n reguladores); T1= 0.1 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T2= 0.3 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T3= 1 mg L^{-1} (BA,2iP, KIN).

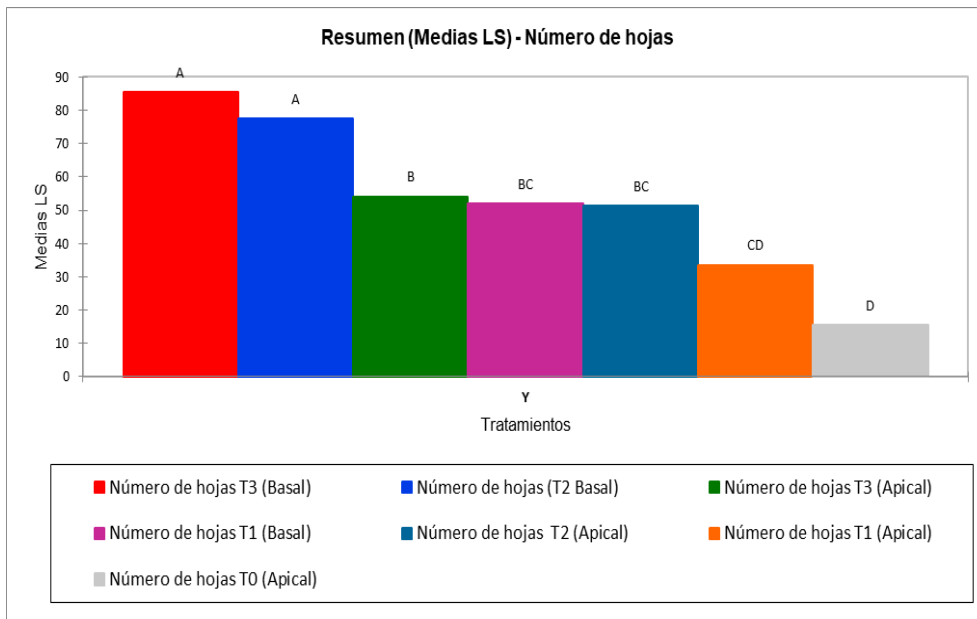


Fig. 8. Medias LS de número de hojas producidas en cada tratamiento. Prueba de ANOVA y TUKEY con una $p < .001$. T0= Control (s/n reguladores); T1= 0.1 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T2= 0.3 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T3= 1 mg L^{-1} (BA,2iP, KIN).

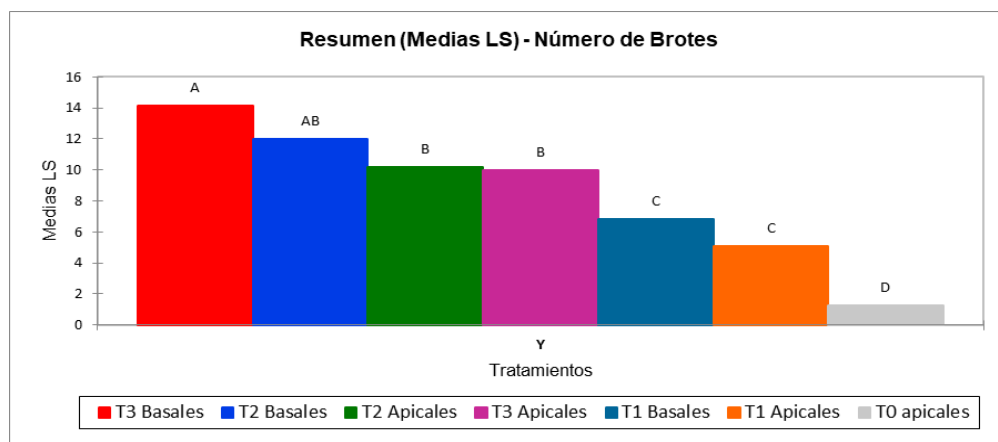


Fig. 9. Resumen de Medias LS del número de brotes producidos por tratamiento a partir de ANOVA/TUKEY ($p < .001$). T0= Control (s/n reguladores); T1= 0.1 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T2= 0.3 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN); T3= 1 mg L^{-1} (BA, 2iP, KIN).

En lo que refiere al vigor, número de hojas promedio y número de brotes producidos, los mejores tratamientos fueron el tratamiento dos (0.3 mg L^{-1} de BA, 2iP, KIN) y tres (1 mg L^{-1} de BA, 2iP, KIN); por lo cual se requirió del vigor como la característica definitiva para la definición del mejor tratamiento. Tras analizar los datos obtenidos mediante la aplicación de tratamientos con concentraciones diferentes de BA, 2iP, KIN, se concluye, que el uso de explantes basales fue benéfico para el protocolo, ya que se logró la eliminación de la dominancia apical, dando lugar a la producción de brotes similar a los explantes apicales. El mejor vigor fue obtenido en el tratamiento dos dado que las vitropiantas muestran un crecimiento más uniforme y con hojas desarrolladas, mientras que en el tratamiento tres, es visible la formación de tejido sin diferenciar y senescencia en algunos individuos, lo cual no es deseable en el protocolo de micropropagación, ya que no permite la continuación de la propagación para el crecimiento exponencial (Fig. 10).

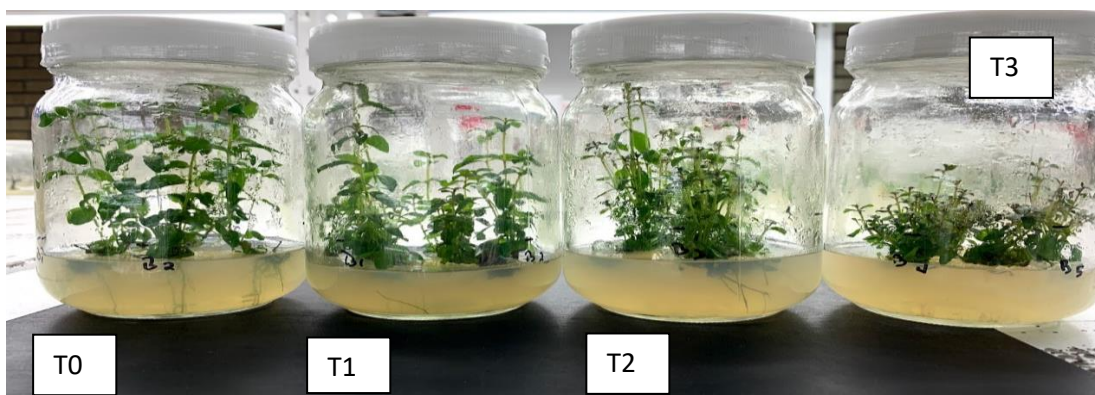


Fig. 10. Calidad visual de los tratamientos propuestos para la micropropagación de *Heimia salicifolia* de explantes apicales 1 mes tras el inicio del protocolo.

DISCUSIÓN

La germinación de semillas de *Heimia salicifolia* fue exitosa en todos los tratamientos, dado que no existe diferencia significativa, resultando innecesario el empleo de BA/GA₃ como reguladores de crecimiento para la optimización de la germinación (Fig. 2), pese a evidencias

de efectos positivos relacionados con la adición de giberelinas exógenas en otras especies, como es el caso de *Punica granatum* (Gunasena *et al.*, 2017) donde la especie presenta efectos positivos en la síntesis de enzimas que permiten la movilización de proteínas de reserva hacia los cotiledones, no obstante, para *Heimia salicifolia* el tratamiento sin reguladores fue eficaz reduciendo el costo de producción y facilidad de siembra, lo que evita la espera de germinación de entre 10 y 16 meses *in situ* según lo mostrado por Malone y Rother en 1989, produciendo además una reducción del tiempo de germinación a tan sólo 9 días tras la siembra (Fig.1). La ausencia de efectos positivos de los reguladores de crecimiento implica que la semilla requiere sólo condiciones esenciales de luz y humedad sin la necesidad de reguladores exógenos en una vía de feedback regulatorio.

El desarrollo de las plántulas cuatro meses tras la germinación se ve afectado por la adición de GA₃ y BA como reguladores de crecimiento. De acuerdo a la estadística proporcionada y su fenotipo a partir del índice de vigor (Fig. 6), las características obtenidas permiten definir que el tratamiento control es el adecuado para el crecimiento y desarrollo de plántulas, exhibiendo diferencias significativas con el resto de los tratamientos en las características evaluadas con efectos y respuestas no deseadas en el fenotipo, como lo es la casi nula producción de hojas y la lentitud de crecimiento de la planta tras la germinación, por lo cual, se concluye que el tratamiento control es eficaz previo a la micropropagación (Figs. 4-5). El desarrollo ineficiente de las plántulas, la senescencia y deterioro de vitroplantas en el resto de los tratamientos podría deberse a la actividad de la regulación de biosíntesis de giberelinas y su pico de actividad promovido por un feedback negativo entre las giberelinas endógenas y exógenas, lo cual ha sido demostrado en otras especies como es el caso de *Arabidopsis thaliana* y *Coffea arabica* a partir de la observación de patrones de regulación de las giberelinas que pueden exhibir efectos negativos en la germinación y desarrollo de vitroplantas, lo cual concuerda con lo descrito en *Heimia salicifolia*. (Chiang *et al.*, 1995); (Xu *et al.*, 1995); (da Silva, 2005).

En lo que refiere al protocolo de micropropagación, fue considerada la aplicación exógena de citocininas debido a que estas estimulan la formación de yemas laterales que permiten la propagación a partir de explantes, favoreciendo la pérdida de dominancia apical, tal como en *Spondias mangifera* y *Lawsonia Inermis*; optimizando a partir del empleo de estos reguladores de crecimiento, en distintas concentraciones el protocolo de micropropagación, favoreciendo la producción de peso fresco y por lo tanto la multiplicación clonal de las plántulas (Tabla 2). (Tripathi & Kumari, 2010); (Rout G.R. *et al.*, 2001)

(Ram & Shekhawat, 2011) evaluaron en *Lawsonia inermis* la respuesta óptima a distintos tratamientos de auxinas y citocininas como reguladores de crecimiento, lo que resultó en que el balance adecuado de estos, para la especie es BA 0.25 mg L⁻¹, kinetina 0.25 mg L⁻¹, ácido indolacético 0.1 mg L⁻¹ y sulfato de amonio 150 mg*L⁻¹, logrando un incremento en la generación de brotes múltiples y su longitud (Agrawal & Sardar, 2006). Los antecedentes de éxito de protocolos similares en otras especies herbáceas y en otras especies de la familia Lythraceae como lo es *Lawsonia inermis*, validan el empleo de citocininas para la producción de brotes y nuevas plántulas para la micropropagación de *Heimia salicifolia*, justificando así su adecuación a la especie del presente trabajo. Se han reportado, efectos positivos de la actividad de BA como la citocinina más activa para la multiplicación de explantes en plantas herbáceas, como *Cassia angustifolia* (Husain & Anis, 2009), *Melia azadirachta* (Ram & Shekhawat, 2011) y en *Lawsonia inermis* (Shiji & Siril, 2018); motivo por el cual se decidió su implementación en este protocolo, junto con el resto de los reguladores de crecimiento.

Se analizaron las tres variables propuestas como fundamentales para la definición del mejor tratamiento en la micropropagación de *Heimia salicifolia*, es decir, número de hojas, longitud de los brotes y vigor, permitiendo definir que, el mejor tratamiento para la clonación de plántulas provenientes de un tratamiento sin reguladores de crecimiento es el tratamiento dos (0.3 mg L⁻¹ de BA, 2iP y Kinetina, suplementado con 100 mg L⁻¹ de Mio-inositol, 0.40 mg L⁻¹ de Tiamina y 60 mg L⁻¹ de L-cisteína), produciendo en promedio 77±1 hojas por explante (Fig.

8) y 12 ± 1 brotes nuevos por cada explante (Fig. 9); estas características no fueron diferenciales comparadas con el tratamiento tres, sin embargo, considerando el vigor como la característica diferencial, el tratamiento dos se encuentra en la categoría tres, mientras que el tratamiento tres se ubicó en la categoría uno, exhibiendo características no deseadas como enanismo, decoloración de las hojas y formación de callo (Tabla 3; Fig. 10). El tratamiento dos es eficaz para la producción de hojas y numerosos brotes vigorosos, lo cual se traduce en mayor cantidad de peso fresco producido, a emplearse en pruebas futuras referentes a su producción de alcaloides; estas concentraciones y su uso también ha sido eficaz en la micropropagación de otras especies con potencial farmacéutico, como *Sophora tonkinensis* (Jana *et al.*, 2013) y en miembros de la misma familia como *Lawsonia inermis* (Shiji & Siril, 2018). La producción de hojas y brotes idénticas en los explantes basales contra los apicales del tratamiento dos, se relaciona con la disrupción de la dominancia apical del meristemo, proveyendo por lo tanto de un sistema eficaz y consistente para micropropagación de *Heimia salicifolia* sin muestra de signos de variación genética, generando una clonación a partir de dos vías de explantes, con lo cual se logra la duplicación de plántulas provenientes de una sola semilla germinada. Esta disrupción además de asociarse al uso de reguladores de crecimiento se relaciona con el estado fisiológico de las plantas y la etapa de crecimiento adecuada en la cual se emplearon los reguladores de crecimiento. (Rameau *et al.*, 2015).

El mejor tratamiento para elongación a partir de la evaluación del tamaño promedio de la vitroplanta es el tratamiento sin reguladores de crecimiento, con explantes provenientes de la zona apical en medio MS al 100% suplementado con vitaminas, que produjo mayor longitud de las plántulas (6.4 ± 1 cm) con diferencias significativas comparado con el resto de los tratamientos (Fig. 7).

Las explicaciones a la presencia de diferencias significativas en cuanto a la elongación de las plántulas en este tratamiento comparada con los otros tratamientos, es que, al no interactuar con reguladores de crecimiento, la dominancia apical permanece y por consiguiente no hay desarrollo de yemas laterales comparado con el resto de los tratamientos, donde la pérdida de la dominancia apical fue exitosa. Esta pérdida de dominancia apical se considera exitosa para la producción de brotes axilares que juegan un papel fundamental en la producción de plántulas a grandes escalas, bajo el modelo de micropropagación ya que de acuerdo con lo estudiado previamente (Müller *et al.*, 2015), el hecho de incrementar la dosis de citocininas a niveles adecuados dependientes de la especie lleva a la pérdida de dominancia apical eliminando el feedback negativo producido por las auxinas de forma endógena.

La germinación *in vitro* de *Heimia salicifolia* con el protocolo propuesto inicia a partir de nueve días, en comparación con el tiempo que toma en vida silvestre que es de seis a diez meses, dependiente de las condiciones ambientales en las cuales se encuentra; la reducción del tiempo de germinación en las condiciones adecuadas de laboratorio es diferente significativamente, obteniendo plantas maduras con el potencial de producir metabolitos secundarios, en un lapso de tan sólo tres meses, mediante el empleo de este protocolo, estimamos que la producción de metabolitos secundarios *in vitro* pueda suscitarse en tan sólo medio año, lo cual es una reducción significativa comparada con lo que toma *in situ*, que suele ser de entre 2 y 4 años. (Golebiewski W.M & Wrobel J.T., 1981).

La micropropagación de plántulas de *Heimia salicifolia* es posible a partir de un lapso de dos meses tras la germinación, logrando la obtención, de acuerdo con el modelo exponencial propuesto, de $643,230 \pm 1$ vitroplantas en tan sólo un año a partir de la germinación de semillas en un tratamiento sin vitaminas y sin reguladores de crecimiento.

El crecimiento y desarrollo de plántulas de dos meses tras la germinación y la obtención de explantes apicales y basales en un tratamiento con medio MS al 100% aunado a los reguladores de crecimiento BA, 2iP y Kinetina en una concentración de 0.3 mg L^{-1} suplementado con 100 mg L^{-1} de Mioinositol, 0.40 mg L^{-1} de Tiamina y 60 mg L^{-1} de L-cisteína.

El tiempo total desde la germinación hasta la culminación de la micropropagación es de tres meses, esto, en comparación con estudios previos donde dos meses tras la germinación se promovía la división continua y se obtenían plántulas similares, pero con ocho meses tras el cultivo suplementado con citocininas y auxinas a partir de plántulas completas (Malone & Rother, 1994). Estas diferencias en cuanto a los tiempos de propagación y la organización del protocolo, nos permitió la obtención de plántulas vigorosas con una reducción de tiempo de ocho a tres meses, realizando una comparación entre ambos protocolos.

Las diferencias fundamentales del protocolo comparado con lo realizado por Malone (1994) radica en diferencias de concentración de reguladores de crecimiento, sustituyendo el uso de ácido indolacético por 2ip, además de la adición de L-cisteína y el incremento del porcentaje de sacarosa empleado pasando de un 2% a un 3%. Aunado a la obtención de explantes de la zona apical y basal con la finalidad de lograr una mayor obtención de peso fresco. Los viales obtenidos a partir del protocolo de micropropagación permiten la producción de un área de 11cm x 8.5cm x 8.5cm en tan sólo dos meses tras el inicio de esta técnica, siendo de mayor proporción al área ocupada en estudios previos donde pese a ser un área menor de cobertura por las plántulas, estas toman de seis a ocho meses de crecimiento una vez iniciado el protocolo para cubrir un área similar a la propuesta en este trabajo, demostrando así la eficacia de las concentraciones de reguladores de crecimiento empleadas.

CONCLUSIONES

Se ha logrado el desarrollo de un protocolo eficiente y simple para la germinación y propagación de *Heimia salicifolia*, originando plántulas desde la semilla hasta la obtención de explantes apicales y basales que darían lugar a 643,230 plántulas en tan sólo un año bajo el modelo de crecimiento exponencial previamente descrito, justificando así el empleo de esta técnica.

La ausencia de valores que sean significativamente diferentes entre el tratamiento control contra los distintos tratamientos propuestos con diferentes concentraciones de giberelinas y citocininas sugieren que el empleo de estas no es necesario para la germinación de *Heimia salicifolia*, haciendo hincapié a sugerir que la germinación se relaciona directamente con el contenido de macro y micronutrientes, disponibilidad de agua y sacarosa aunado a las condiciones de incubación de las semillas.

En el caso de la micropropagación se encontraron dos mejores medios, el tratamiento dos con el cual se obtuvo el mejor vigor y número de brotes y hojas, sin embargo, el proceso debe complementarse con un tratamiento sin hormonas para su mejoramiento en lo que refiere al tamaño promedio. Se considera adecuado aseverar que la actividad de BA en la producción de nuevos brotes y su elongación en *Heimia salicifolia* es benévola y representa una herramienta adecuada para la producción de plantas a gran escala en combinación con 2ip y kinetina.

El protocolo de micropropagación desarrollado en esta investigación a partir de explantes apicales y basales resultó exitoso y relevante para esta especie, ya que permite reducir significativamente el tiempo de crecimiento *in situ* de 10 a 16 meses a tan sólo cuatro meses. Esto facilitaría el estudio de sus metabolitos secundarios, dada la gran cantidad de peso fresco que se podría producir con ellas y la concentración que podría obtenerse de estos para un estudio a profundidad, además del planteamiento de pruebas *in vivo* con los principales alcaloides producidos por la especie.

AGRADECIMIENTOS

El esfuerzo y resultados de este trabajo no se hubiesen logrado sin el apoyo de mis padres y mi hermano, además de todas las personas involucradas; en especial a mis asesores, que me ofrecieron apoyo incondicional desde lo más básico, hasta el establecimiento de técnicas y mejoramiento de procesos.

LITERATURA CITADA

- Agrawal, V., & Sardar, P. R. (2006). In vitro propagation of *Cassia angustifolia* through leaflet and cotyledon derived calli. *Biologia Plantarum*, 50(1), 118–122. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0084-8>
- Al-Ansari, F., & Ksiksi, T. (2016). A Quantitative Assessment of Germination Parameters: the Case of and. *The Open Ecology Journal*, 9(1), 13–21. <https://doi.org/10.2174/1874213001609010013>
- Arenas Solá. (2007). *Matemáticas: fichas de la asignatura* (Edicions Universitat Barcelona, Ed.; Vol. 333). Universitat de Barcelona.
- Bhojwani Saran Sant, & Dantu Kumar Prem. (2013). *Plant Tissue Culture: An Introductory Text* (illustrated, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Chiang, H. H., Hwang, I., & Goodman, H. M. (1995). Isolation of the Arabidopsis GA4 locus. *The Plant Cell*, 7(2), 195–201. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.2.195>
- da Silva, E. A. A. (2005). Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. *Journal of Experimental Botany*, 56(413), 1029–1038. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri096>
- Díaz Daniel. (1999, November). Xochipilli: Príncipe de las flores. *Arqueología Mexicana*, 52–53.
- Espinosa-Leal, C. A., Puente-Garza, C. A., & García-Lara, S. (2018). In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta*, 248(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1>
- Galán-Ávila, A., García-Forteza, E., Prohens, J., & Herraiz, F. J. (2020). Development of a Direct in vitro Plant Regeneration Protocol From Cannabis sativa L. Seedling Explants: Developmental Morphology of Shoot Regeneration and Ploidy Level of Regenerated Plants. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00645>
- Golebiewski W.M, & Wrobel J.T. (1981). The Lythraceae alkaloids. *The Alkaloids*, 18, 263–322.
- Graham S. A. (1994). Lythraceae. *Inst. Ecología A. C.*, 1–62.
- Gunasena, K., L Manjitha, K. G., K M Gunasena, M. D., P S K Senarath, W. T., & I Samanmalee, L. G. (2017). In vitro Plant Regeneration through Organogenesis and Somatic Embryogenesis of *Punica granatum* Linn. (Lythraceae) Article in. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. <http://www.ijser.org>
- Husain, M. K., & Anis, M. (2009). Rapid in vitro multiplication of *Melia azedarach* L. (a multipurpose woody tree). *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(4), 765–772. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0290-7>
- Jana, S., Sivanesan, I., & Jeong, B. R. (2013). Effect of cytokinins on in vitro multiplication of *Sophora tonkinensis*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(7), 549–553. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60111-2](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60111-2)
- Lema, W. J., Blankenship, J. W., & Malone, M. H. (1986). Prostaglandin synthetase inhibition by alkaloids of *Heimia salicifolia*. *Journal of Ethnopharmacology*, 15(2), 161–167. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(86\)90153-4](https://doi.org/10.1016/0378-8741(86)90153-4)
- Malone, M. H., & Rother, A. (1994). *Heimia salicifolia*: A phytochemical and phytopharmacologic review. *Journal of Ethnopharmacology*, 42(3), 135–159. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)90080-9)
- Müller, D., Waldie, T., Miyawaki, K., To, J. P. C., Melnyk, C. W., Kieber, J. J., Kakimoto, T., & Leyser, O. (2015). Cytokinin is required for escape but not release from auxin

Recibido:
1/diciembre/2021

Aceptado:
13/julio/2022

- mediated apical dominance. *The Plant Journal*, 82(5), 874–886. <https://doi.org/10.1111/tpj.12862>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Ochoa-Villarreal, M., Howat, S., Hong, S., Jang, M. O., Jin, Y.-W., Lee, E.-K., & Loake, G. J. (2016). Plant cell culture strategies for the production of natural products. *BMB Reports*, 49(3), 149–158. <https://doi.org/10.5483/BMBRep.2016.49.3.264>
- Ram, K., & Shekhawat, N. S. (2011). Micropropagation of commercially cultivated Henna (*Lawsonia inermis*) using nodal explants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(3), 281–289. <https://doi.org/10.1007/s12298-011-0069-3>
- Rameau, C., Bertheloot, J., Leduc, N., Andrieu, B., Foucher, F., & Sakr, S. (2015). Multiple pathways regulate shoot branching. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00741>
- Rasch Dieter, & Schott Dieter. (2018). Mathematical Statistics. In *Mathematical Statistics* (First Edition, Vol. 1, pp. 601–603). John Wiley & Sons.
- Rother, A. (1985). The Phenyl- and Biphenyl-Quinolizidines of In-Vitro-Grown *Heimia salicifolia*. *Journal of Natural Products*, 48(1), 33–41. <https://doi.org/10.1021/np50037a006>
- Rout G.R., das G., Santamaray S., & das P. (2001). *In vitro* micropropagation of *Lawsonia inermis*. *SciELO*, 3–4.
- Shiji, P. C., & Siril, E. A. (2018). An improved micropropagation and ex vitro rooting of a commercially important crop Henna (*Lawsonia inermis* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(6), 1273–1284. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0600-x>
- Tripathi, M., & Kumari, N. (2010). Micropropagation of a tropical fruit tree *Spondias mangifera* Willd. through direct organogenesis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(5), 1011–1015. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0484-z>
- Xu, Y. L., Li, L., Wu, K., Peeters, A. J., Gage, D. A., & Zeevaart, J. A. (1995). The GA5 locus of *Arabidopsis thaliana* encodes a multifunctional gibberellin 20-oxidase: molecular cloning and functional expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(14), 6640–6644. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.14.6640>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

MICROPROPAGACIÓN DE *Agave maximiliana* Baker POR PROLIFERACIÓN DE YEMAS AXILARES

MICROPROPAGATION OF *Agave maximiliana* Baker BY AXILLARY SHOOT PROLIFERATION

Santacruz-Ruvalcaba, F.; J. J. Castañeda-Nava; J. P. Villanueva-González; M. L. García-Sahagún; L. Portillo y M. L. Contreras-Pacheco.

MICROPROPAGACIÓN DE *Agave maximiliana* Baker POR PROLIFERACIÓN DE YEMAS AXILARES.

MICROPROPAGATION OF *Agave maximiliana* Baker BY AXILLARY SHOOT PROLIFERATION.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 139-151 México. Julio 2022

DOI: 10.18387/polibotanica.54.9



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/)).

MICROPROPAGACIÓN DE *Agave maximiliana* Baker POR PROLIFERACIÓN DE YEMAS AXILARES.

MICROPROPAGATION OF *Agave maximiliana* Baker BY AXILLARY SHOOT PROLIFERATION.

Santacruz-Ruvalcaba, F.;
J. J. Castañeda-Nava;
J. P. Villanueva-González;
M. L. García-Sahagún;
L. Portillo
y M. L. Contreras-Pacheco.

MICROPROPAGACIÓN DE
Agave maximiliana Baker POR
PROLIFERACIÓN DE
YEMAS AXILARES.

MICROPROPAGATION OF
Agave maximiliana Baker BY
AXILLARY SHOOT
PROLIFERATION.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 139-151. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.9

F. Santacruz-Ruvalcaba / srf22191@cucba.udg.mx

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Universidad de Guadalajara, Ramón Padilla Sánchez No. 2100,
Predio Las Agujas C.P. 45110, Zapopan, Jalisco, México.

J. J. Castañeda-Nava

Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en
Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino Arenero 1227,
El Bajío, 45019 Zapopan, Jal., México.

J. P. Villanueva-González

M. L. García-Sahagún

L. Portillo

M. L. Contreras-Pacheco

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Universidad de Guadalajara, Ramón Padilla Sánchez No. 2100,
Predio Las Agujas C.P. 45110, Zapopan, Jalisco, México.

RESUMEN: México es el centro de mayor riqueza y domesticación de especies de *Agave*, 20 de las cuales se usan como fuente para elaborar bebidas fermentadas y destiladas, entre ellas *Agave maximiliana* Baker, que se recolecta en el campo justo antes de su etapa de reproducción sexual (12-14 años) para elaborar el mezcal raicilla, la sobreexplotación ha originado la constante disminución de sus poblaciones silvestres. El objetivo del presente estudio fue desarrollar un protocolo de micropropagación masiva *in vitro* de esta especie, mediante la proliferación de sus yemas axilares. Para la inducción de las yemas axilares se utilizó un diseño experimental de tres factores: 1) la auxina ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) en cuatro dosis: 0, 0.01, 0.02 y 0.03 mg L⁻¹; 2) la citocinina 6-benciladenina (BA) en dosis de 0, 4, 8 y 12 mg L⁻¹, y 3) dos genotipos G1 y G6. La dosis de 12 mg L⁻¹ de BA en combinación con 0.02 mg L⁻¹ de 2,4-D, produjo 26.93 nuevos brotes (p = 0.000) con calidad en su morfología típica, característica necesaria para su separación y posterior establecimiento *ex vitro*. Asimismo, para la mejor producción de raíces largas, ramificadas y no efímeras en dichos brotes, se evaluaron *in vitro*, bajo un arreglo bifactorial, tres genotipos (G1, G3 y G6) y cinco tratamientos de enraizamiento (diferentes concentraciones de sacarosa, carbón activado y/o ácido indol-3-butírico). El análisis de resultados muestra la necesidad de adicionar 9% de sacarosa (p = 0.000), cantidad mayor al 3 % utilizado comúnmente. Además, la mejor adaptación *ex vitro* está relacionada con el genotipo de la planta original y hubo diferencias significativas para el ancho (p = 0.023) y longitud de la hoja (p = 0.009).

Palabras clave: propagación *in vitro*, mezcal raicilla, reguladores de crecimiento, maguey, establecimiento *ex vitro*.

ABSTRACT: Mexico is the center of the largest riches and domestication of *Agave* species; 20 of these are used as a source for the production of fermented and distilled spirits, including *Agave maximiliana* Baker, which is harvested in the field just before its sexual reproductive stage (12 to 14 years) to make raicilla mescal, with the

consequent constant overexploitation of its wild populations. The objective of this study was to develop a protocol for *in vitro* mass micropropagation of this species through auxiliary shoot proliferation. Axillary shoots were induced using a three-factor experimental design, consisting of the following factors: 1) auxin 2,4-dichlorophenoxyacetic (2,4-D) in four different doses: 0, 0.01, 0.02, and 0.03 mg L⁻¹; 2) cytokinin, 6-benzyladenine (BA) in doses of 0, 4, 8, and 12 mg L⁻¹, and 3) two G1 and G6 genotypes. The dose of 12 mg L⁻¹ BA in combination with 0.02 mg L⁻¹ 2,4-D produced 26.93 new shoots ($p = 0.000$) with a high-quality typical morphology, an essential characteristic for their separation and subsequent *ex vitro* establishment. Likewise, in order to attain the best production of long, branched, nonephemeral roots from these shoots, three genotypes (G1, G3, and G6) and three rooting treatments (with different concentrations of sucrose, activated charcoal, and/or indole-3-butyric acid) were assessed *in vitro*. The analysis of the results shows a need to add 9% sucrose ($p=0.000$), i.e. 3% more than the usual amount. Furthermore, the best *ex vitro* adaptation was found to be related to the genotype of the original plant, and there were significant differences in the width ($p=0.023$) and length ($p=0.009$) of the leaves.

Key words: *in vitro* propagation, raicilla mescal, growth regulators, maguey, *ex vitro* establishment.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* es endémico de América, se distribuye desde el sur de EE.UU. hasta Colombia y Venezuela, incluyendo las islas del Caribe (García-Mendoza, 2007) y está constituido por 210 especies y cerca del 75 % las encontramos en México (García-Mendoza *et al.*, 2019). México no es sólo el centro de mayor riqueza de especies de *Agave*, sino también su centro de domesticación (Gentry, 1976). La historia de diversificación de la planta, bajo cultivo y selección humana inició hace por lo menos 9,000 años y desde entonces, los agaves se han utilizado como bebida, alimento, vestido, material para escritura y herramienta (Arellanes *et al.*, 1997; Bellon *et al.*, 2009; Trejo *et al.*, 2018; Pérez-Zavala *et al.*, 2020). En México hay registro de 53 especies del género *Agave* empleadas en la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas-mezcales (Torres *et al.*, 2015), y 12 de ellas son las más importantes, por el manejo que se lleva a cabo: *A. tequilana* Weber, *A. angustifolia* Haw., *A. karwinski* Zucc., *A. marmorata* Roetzl, *A. potatorum* Zucc., *A. americana* L. var. *oaxacensis* Gentry, *A. cupreata* Trel. y Berger, *A. rhodacantha* Trel., *A. salmiana* Otto *ssp crassispina* (Trel.) Gentry, *A. wocomahi* Gentry, *A. durangensis* Gentry y *A. maximiliana* Baker (García-Mendoza, 1998; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017).

Estas especies se propagan en su mayoría de forma asexual a partir de hijuelos (brotes de rizoma) y ocasionalmente por bulbillos (brotes en el escape floral), lo que da como resultado la formación de clones con características deseables, pero esto también facilita la formación de plantas susceptibles a enfermedades (Valenzuela-Sánchez *et al.*, 2006). Su propagación a partir de semilla requiere de largos periodos para la generación de una nueva planta, además la madurez sexual en algunas especies, como en *A. tequilana*, se alcanza luego de 6 a 10 años (Robert *et al.*, 1992; García-Mendoza, 2007) y de 12 a 14 años en *A. maximiliana*.

A. maximiliana crece comúnmente en las laderas de las montañas rocosas de los estados de Sinaloa, Durango, Zacatecas, Nayarit, Jalisco y Colima, cuya altitud va de 930 a 2,000 m en bosques de pino y encino (Eggl, 2001). Se le conoce como maguey tecolote o lechuguilla, y se emplea principalmente en la elaboración de bebidas fermentadas y mezcales en la sierra de Jalmich (zona limítrofe entre Jalisco y Michoacán), así como para un mezcal conocido regionalmente como raicilla, producido en el occidente del estado de Jalisco, en las montañas de Talpa, Mascota y San Sebastián del Oeste (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007; Cabrera-Toledo *et al.*, 2020). Asimismo, *A. inaequidens* Koch, *A. valenciana* Cházaro & A.Vázquez, *A. angustifolia* Haw. y *A. rodacantha* Trel., también se utilizan para la elaboración de esta bebida de acuerdo a la Denominación de Origen “Raicilla”

(Diario Oficial de la Federación, 2019). Debido a que las plantas adultas de *A. maximiliana* se eligen para elaborar la raicilla justo antes de producir semillas, y aunado a que la especie no produce hijuelos ni bulbillos, está sujeta a una constante sobreexplotación de sus poblaciones naturales. Por lo tanto, urge implementar sistemas de multiplicación masiva de esta especie para que faciliten su incipiente cultivo intensivo de una manera sostenible. El cultivo de tejidos vegetales ofrece herramientas biotecnológicas para producir miles o millones de plantas, a partir incluso de una sola planta madre.

Hay varias investigaciones acerca del cultivo de tejidos de diferentes especies de *Agave* (Robert *et al.*, 2006): *A. americana* (Chen *et al.*, 2014; Naziri *et al.*, 2018; Cruz-García *et al.*, 2019), *A. angustifolia* (Monja-Mio *et al.*, 2015; Arzate-Fernández *et al.*, 2016; Reyes-Díaz *et al.*, 2017; Ríos-Ramírez *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2020; Monja-Mio *et al.*, 2021), *A. cantala* Roxburgh y *A. fourcroydes* Lem. (Binh *et al.*, 1990; Monja-Mio & Robert, 2013), *A. inaequidens* (Aureoles-Rodríguez *et al.*, 2008), *A. marmorata* (Aguilar-Jimenez & Rodriguez, 2018; Arzate-Fernández *et al.*, 2020), *A. salmiana* (Puente-Garza *et al.*, 2015, 2017; Arzate-Fernández *et al.*, 2020) *A. sisalana* Perrine (Binh *et al.*, 1990; Hazra *et al.*, 2002; Carneiro *et al.*, 2014; Nikam *et al.*, 2019), *A. tequilana* (Santamaría *et al.*, 1995; Valenzuela-Sánchez *et al.*, 2006; Portillo *et al.*, 2007; Santacruz-Ruvalcaba & Portillo, 2009; Portillo *et al.*, 2012; Delgado-Aceves *et al.*, 2021), *A. victoria-reginae* Moore (Rodríguez-Garay *et al.*, 1996; Martínez-Palacios *et al.*, 2003; Ramírez-Malagón *et al.*, 2008) sin existir protocolos de propagación *in vitro* para *A. maximiliana* reportados a la fecha. Los procedimientos de micropropagación incluyen: la proliferación de yemas axilares, la organogénesis y la embriogénesis asexual (embriogénesis somática), los cuales son una herramienta potente en la obtención de plantas libres de patógenos, propagación masiva, rescate de embriones, clonación y mantenimiento de materiales selectos (Martínez-Palacios *et al.*, 2003; Domínguez *et al.*, 2008; Barreto *et al.*, 2010).

Ya que la producción de mezcales en México es históricamente trascendental, de manera principal en aquellas comunidades para las cuales es una importante fuente de ingresos (Chávez-Guerrero *et al.*, 2010; Trejo *et al.*, 2018; Cabrera-Toledo *et al.*, 2020), se justifica implementar un protocolo de micropropagación para *A. maximiliana*, pues será una alternativa para la generación de un gran número de plantas de una manera más rápida (respecto a su propagación por semillas) y para facilitar la producción de materiales vegetales deseados por características seleccionadas, como la robustez, la precocidad, la sanidad, etc. En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue desarrollar un protocolo eficiente de micropropagación masiva *in vitro* de *A. maximiliana* mediante proliferación de yemas axilares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Plantas de *Agave maximiliana* de aproximadamente 25 cm de altura (equivalentes a un año de edad) se recolectaron en el predio El Llano Colorado ubicado en el municipio de La Manzanilla de la Paz, Jalisco, México (19° 59' 59.9" N y 103° 03' 00.9" O) (Fig. 1A). Las plantas se originaron a partir de la germinación de semillas de plantas silvestres de esta especie en la zona de recolección, por lo que cada planta se consideró como genotipo independiente (Fig. 1A). La experimentación se desarrolló en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Departamento de Producción Agrícola del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. El material vegetal se identificó y se conservó a temperatura ambiente durante 24 h antes de comenzar su manipulación para el cultivo *in vitro*.

Para obtener los explantes en el establecimiento *in vitro*, se eliminaron las hojas de plantas recolectadas de 15 a 20 cm de altura, hasta dejar sólo la que envolvía al meristemo apical, el material vegetal resultante fue lavado con detergente líquido Salvo®, en concentración de 1 mL L⁻¹, después de lo cual se realizaron dos enjuagues en agua corriente. El material fue desinfectado en inmersiones con etanol al 96% durante 1 min, y posteriormente en una solución

de hipoclorito de sodio comercial al 3% por 10 min, finalmente se hicieron tres enjuagues de 1 min cada uno con agua destilada estéril.

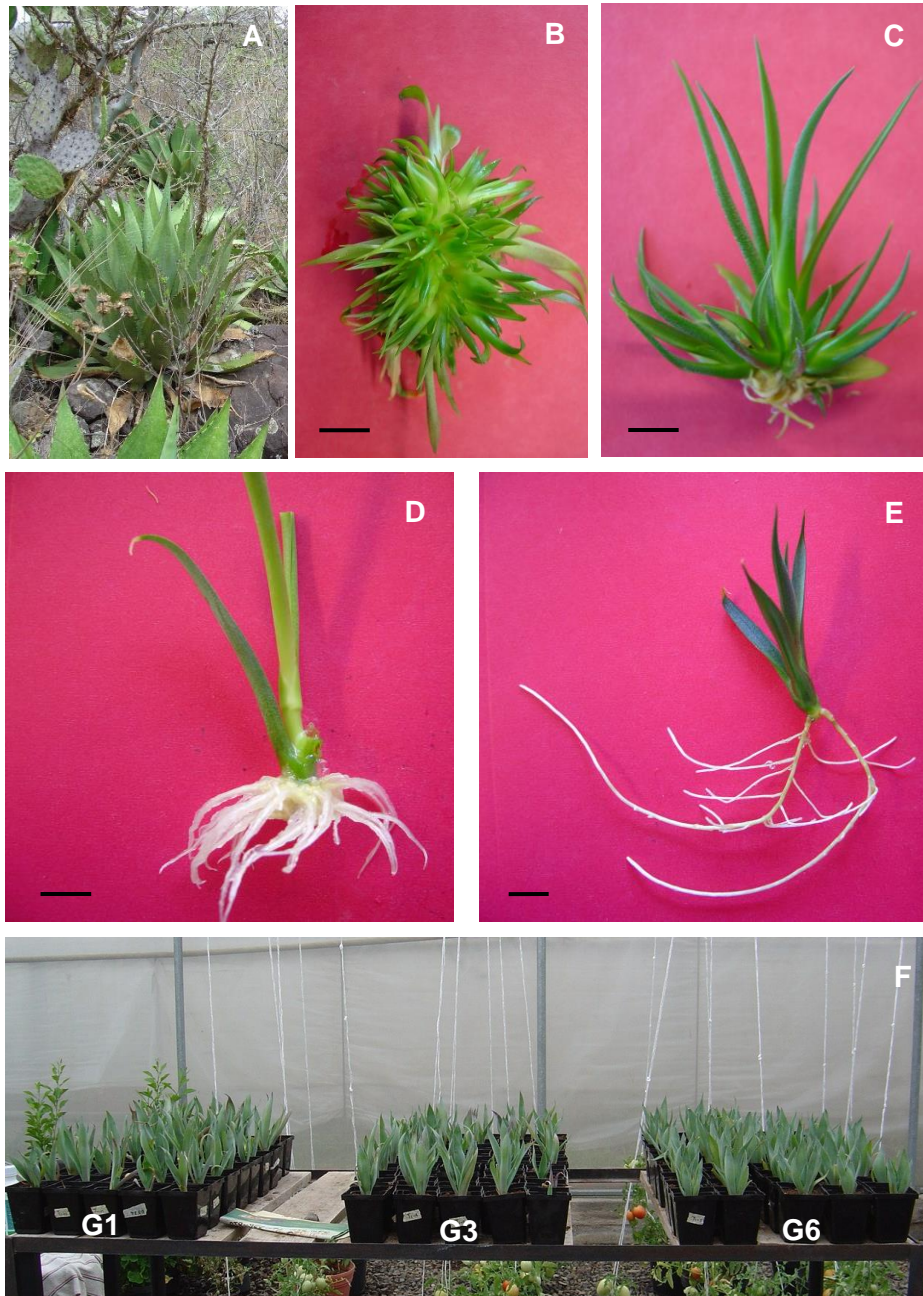


Fig. 1. Micropropagación de *Agave maximiliana*. A) hábitat de *A. maximiliana* de donde se tomaron las muestras, B) proliferación de yemas axilares con 12 mg L^{-1} de BA + 0.02 mg L^{-1} de 2,4-D, C) proliferación de yemas axilares con 8 mg L^{-1} de BA + 0.02 mg L^{-1} de 2,4-D, D) raíces cortas amarillentas con vellosidades estimuladas con 5 mg L^{-1} de ácido indol-3-butírico, E) raíces largas lisas con pocas vellosidades estimuladas con 90 g L^{-1} de sacarosa, F) tres genotipos de *A. maximiliana* (G1, G3 y G6) en el área de adaptación en invernadero. Barra = 1 cm.

Una vez desinfectados los explantes, para su establecimiento e inducción de yemas axilares en condiciones *in vitro*, se transfirieron a frascos de vidrio de alimento infantil Gerber® con tapa plástica autoclavable no hermética, con 25 mL de medio de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962) que contenía 0.025 mg L⁻¹ de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), 10 mg L⁻¹ de 6-benciladenina (BA) y 30 g L⁻¹ de sacarosa. El pH del medio se ajustó a 5.8 ± 0.05 y se utilizaron 8 g L⁻¹ de agar (SIGMA No. Cat: A-1296) como agente gelificante. El medio de cultivo se esterilizó en autoclave a 121 °C y 1.27 kg cm⁻² durante 15 min. Los cultivos se incubaron a 27 ± 2 °C, con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h de oscuridad con una intensidad lumínica de 25 µmol m⁻² s⁻¹. El material vegetal necesario para realizar los experimentos se obtuvo después de 60 días de cultivo en el medio mencionado.

Estimulación de brotes a partir de yemas axilares

En un medio MS suplementado con 30 g de sacarosa y gelificado con 8 g L⁻¹ de agar, se evaluó el efecto de dos reguladores de crecimiento y la aptitud de dos genotipos de *A. maximiliana* (G1 y G6) para inducir la brotación a partir de yemas axilares. El diseño experimental tuvo tres factores: 1) auxina (2,4-D) 0, 0.01, 0.02 y 0.03 mg L⁻¹; 2) la citocinina (BA) 0, 4, 8 y 12 mg L⁻¹; 3) los genotipos G1 y G6. Las repeticiones empleadas fueron diez para el G1 y seis para G6. La unidad experimental fue un frasco de vidrio con un brote de alrededor de 4 cm de longitud con presencia de tres hojas; cada frasco contenía 25 mL del medio de cultivo. Las condiciones de incubación empleadas fueron las mismas ya citadas. La variable de respuesta fue el número de brotes obtenidos por planta a los 45 d de establecido el experimento.

Enraizamiento *in vitro*

Para la formación de raíces a partir de los brotes inducidos *in vitro*, se evaluaron tres genotipos: G1, G3 y G6 en combinación con cinco medios de cultivos: M1- medio MS + 30 g L⁻¹ de sacarosa; M2- medio MS + 30 g L⁻¹ de sacarosa + 2 g L⁻¹ de carbón activado; M3- medio MS + 90 g L⁻¹ de sacarosa; M4- medio MS + 90 g L⁻¹ de sacarosa + 2 g L⁻¹ de carbón activado; M5- medio MS + 30 g L⁻¹ de sacarosa + 5 mg L⁻¹ de la auxina ácido indol-3-butírico (AIB). La unidad experimental con su respectivo medio de cultivo, así como su incubación, fue similar al experimento previo. El diseño experimental tuvo un arreglo bifactorial con nueve repeticiones por tratamiento. Las variables de respuesta fueron el número de raíces formadas por planta, la longitud (medición con una regla) y ramificación de las mismas (número de raíces secundarias ramificadas a partir de la raíz principal), a los 50 d de establecido el experimento.

Adaptación de plantas en invernadero

Una vez enraizadas las plantas *in vitro* con una altura de 4 a 7 cm y teniendo entre cuatro y seis hojas, fueron extraídas de los frascos, se les eliminó por completo el residuo de agar con remojar en agua corriente a 30 °C de temperatura, para después ser sumergidas en una solución de 1 g L⁻¹ del fungicida Captan® (N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida, 500 g kg⁻¹ de producto). La parte radicular de la planta fue impregnada con enraizador en polvo Radix® (10,000 ppm de ácido indol-3-butírico). Para entonces ser establecidas en macetas plásticas cuadradas de 2.5 in³ de capacidad, las cuales contenían como sustrato una mezcla de turba de musgo (70%) y arena (30%); esterilizado con calor húmedo en autoclave a 121 °C, 1.27 Kg cm⁻² durante 15 min.

El proceso de adaptación de las plantas en invernadero inició al colocar en la parte superior de las macetas, una bolsa de poliestireno sellada con cinta adhesiva para mantener una humedad relativa del 95%, similar a las condiciones de cultivo *in vitro* y así evitar su deshidratación. Cada semana se realizó un corte en las esquinas de las bolsas, para reducir gradualmente la humedad relativa a la que estaban sometidas las plantas, gradualmente se realizaron más perforaciones y después de un mes la bolsa que cubría la maceta fue retirada. La temperatura media en el invernadero fue de 32 °C y se empleó una malla sombra del 70% para reducir la intensidad lumínica.

Posteriormente, se realizó un experimento bajo un arreglo bifactorial para evaluar cinco fuentes de nutrición en las que se emplearon una solución del fertilizante 20-10-20, un lixiviado de composta de lombriz y una mezcla de Pectimorf® (oligogalacturónico de grado de polimerización entre 10-14. INCA, Cuba) (Cuadro 1), y tres genotipos (G1, G3 y G6), con cinco repeticiones. La unidad experimental constó de una planta por maceta.

Cuadro 1. Fuentes de nutrición empleadas para favorecer una mejor adaptación en invernadero de plantas de *Agave maximiliana* producidas *in vitro*.

Tratamiento

T1: Sin fuente de nutrición

T2: 10 mL por planta de solución del fertilizante 20-10-20 en una dosis de 5 g L⁻¹

T3: 50 mL por planta de lixiviado de composta de lombriz[†]

T4: 2.5 mL por planta de Pectimorf® a una concentración de 1 mg L⁻¹ más 10 mL por planta de solución del fertilizante 20-10-20 en una dosis de 5 g L⁻¹

T5: 2.5 mL por planta de Pectimorf® a una concentración de 5 mg L⁻¹ más 10 mL por planta de solución del fertilizante 20-10-20 en una dosis de 5 g L⁻¹

T6: 2.5 mL por planta de Pectimorf® a una concentración de 10 mg L⁻¹ más 10 mL por planta de solución del fertilizante 20-10-20 en una dosis de 5 g L⁻¹

[†]El lixiviado de composta de lombriz se realizó al sumergir un costal con 5 kg de composta de lombriz en 15 L de agua dentro de un recipiente con tapa durante 30 d, el costal se agitaba dentro del recipiente dos veces por semana.

Los tratamientos fueron aplicados cada 21 d y las plantas se regaron con 50 mL de agua tres veces por semana.

Las variables de respuesta fueron el número de hojas por planta, la longitud de la hoja central más larga (se seleccionó y se marcó al iniciar el experimento) y el ancho de esa misma hoja, para realizar estas mediciones se empleó un vernier y se realizaron a los 80 d después de establecido el experimento.

Análisis estadístico de los datos

Los datos de los experimentos se evaluaron mediante análisis de varianza con el programa Statgraphics® Plus 4.0 y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inducción de brotes a partir de yemas axilares

Hubo diferencias significativas entre las dosis de reguladores de crecimiento utilizadas, tanto para BA ($p = 0.000$) y 2,4-D ($p = 0.023$), y su interacción ($p = 0.031$). Basados en la significancia de estos últimos resultados, se procedió a realizar un análisis de los 16 tratamientos resultantes de las combinaciones de los dos reguladores de crecimiento; encontrando una alta significancia estadística entre los tratamientos ($p = 0.000$). Con esta información y la obtenida de la comparación múltiple de Tukey de los valores promedio (Cuadro 2), fue posible ubicar la dosis de 12 mg L⁻¹ de BA y de 0.02 mg L⁻¹ de 2,4-D, como la combinación con el más alto promedio para maximizar la estimulación de brotes (26.93 brotes)

(Fig. 1B) y, además se encontró en algunos tratamientos calidad tanto para la identificación debido al tamaño y la facilidad para la separación de los brotes, sin existir anomalías (Fig. 1C). La interacción de los reguladores de crecimiento no fue significativa ($p = 0.286$) con los dos genotipos de *A. maximiliana*. La combinación de reguladores de crecimiento para el subgénero *Agave*, con dosis baja de auxina (entre 0.025 y 0.5 mg L⁻¹ de auxina) y alta de citocinina (entre 3 y 10 mg L⁻¹ de citocinina) se ha reportado como exitosa para la estimulación en la producción de brotes a partir de yemas axilares en *A. angustifolia* (Ríos-Ramírez *et al.*, 2017), *A. guiengola* (Chávez-Ortiz *et al.*, 2021) y para *A. fourcroydes* (Robert *et al.*, 1992; Zhang *et al.*, 2013); en el caso de *A. guiengola* se encontró una producción máxima de brotes de 43 (Chávez-Ortiz *et al.*, 2021).

Cuadro 2. Número de brotes formados al utilizar las diversas dosis y combinaciones de los reguladores de crecimiento BA y 2,4-D, evaluación a 45 d de iniciado el experimento para los genotipos G1 y G6.

| | | 2, 4-D mg L ⁻¹ | | | | |
|-----------------------|-------|---------------------------|----------------|---------------|---------------|------------|
| | | 0 [†] | 0.01 | 0.02 | 0.03 | Media |
| BA mg L ⁻¹ | 0 | 1.5±1.93cd | 1.42±2.40cd | 0.57±0.93d | 0.71±0.99d | 1.06±9.74 |
| | 4 | 13.71±11.14bc | 16.87±9.42ab | 16.12±13.64ab | 15.23±12.28ab | 15.46±9.78 |
| | 8 | 14.18±9.44c | 15.31±8.21ab | 18.31±13.07ab | 19.14±14.47ab | 16.08±9.84 |
| | 12 | 12.42±9.54bcd | 11.12±11.31bcd | 26.93±7.41a | 14.62±10.41b | 16.41±9.84 |
| | Media | 10.53±9.79 | 11.21±9.84 | 15.15±9.84 | 12.12±9.72 | |

[†]Medias ± desviación estándar con la misma letra no son significativamente diferentes ($p = 0.05$) empleando Tukey.

Enraizamiento *in vitro*

La formación de raíces fue estadísticamente diferente ($p = 0.000$) entre los medios utilizados y no presentó interacción significativa con ninguno de los genotipos evaluados ($p = 0.216$). Mediante la comparación múltiple de medias se encontró que el medio que contenía 5 mg L⁻¹ de AIB indujo mayor número de raíces (Cuadro 3), lo que señala la importancia de utilizar auxina para inducir mayor número de raíces en esta especie (Garriga *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2014); este tratamiento produjo el mismo número de raíces en los tres genotipos ($p = 0.591$). Sin embargo, las raíces formadas en las plántulas sometidas a dicho medio no fueron de calidad, ya que son raíces efímeras, con las siguientes características: raíces cortas amarillentas poco ramificadas y con vellosidades que no sobreviven al proceso de adaptación *ex vitro* (Fig. 1D).

La longitud de las raíces mostró una alta diferencia significativa entre los medios ($p = 0.000$), y con la comparación múltiple de medias se identificó a los medios 3, 4 y 5 como los que mayor longitud de raíces generaron. Asimismo, los medios con mayor ramificación ($p = 0.000$) fueron 2, 3 y 4. En el caso del factor genotipo, solamente se tuvo significancia para la longitud de raíces ($p = 0.025$) mostrando los genotipos G3 y G6 el mayor crecimiento radicular (Cuadro 4) y no se encontró interacción con los medios ($p = 0.763$).

Estos resultados muestran que los medio 3 y 4, con mayor contenido de sacarosa (90 g L⁻¹), facilitan un mejor desarrollo de raíces en los genotipos empleados de *A. maximiliana*; no sólo en longitud, sino también en una mayor ramificación de las mismas con alta significancia ($p = 0.000$), el mismo comportamiento ya fue reportado (Kumar *et al.*, 1999; Ragonezi *et al.*, 2010), independientemente de la adición de carbón activado. Por lo tanto, el medio 3 se destaca al producir raíces largas, ramificadas y no efímeras (raíces largas ramificadas sin vellosidades, que siguen desarrollándose y generando nuevas raíces en la adaptación *ex vitro*) (Fig. 1E).

Cuadro 3. Número, ramificaciones y longitud en cm de raíces formadas en cinco medios de cultivo.

| Medio | Número de raíces [†] | Ramificaciones | Longitud (cm) |
|---|-------------------------------|----------------|---------------|
| M1 MS ^{††} + 30 g L ⁻¹ sacarosa | 2.56±1.39b | 10.30±9.13b | 16.41±7.63b |
| M2 MS + 30 g L ⁻¹ sacarosa + 2 g L ⁻¹ carbón activado | 2.96±1.48b | 12.89±8.98ab | 15.48±5.89b |
| M3 MS + 90 g L ⁻¹ sacarosa | 4.41±2.67b | 17.85±7.69a | 28.67±15.48a |
| M4 MS + 90 g L ⁻¹ sacarosa + 2 g L ⁻¹ carbón activado | 3.89±1.98b | 16.67±13.25ab | 24.96±13.34ab |
| M5 MS + 30 g L ⁻¹ sacarosa + 5 mg L ⁻¹ AIB | 12.78±8.06a | 0.67±1.64c | 23.06±18.30ab |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra no son significativamente diferentes (p = 0.05) empleando Tukey.

^{††} MS Medio de cultivo basal (Murashige & Skoog, 1962).

Cuadro 4. Longitud de la raíz de acuerdo al genotipo.

| Genotipo | Longitud de la raíz (cm) [†] |
|----------|---------------------------------------|
| G1 | 17.43±12.72b |
| G3 | 23.47±12.75ab |
| G6 | 24.24±15.00a |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra no son significativamente diferentes (p = 0.05) empleando Tukey.

Adaptación de plantas en invernadero

No se encontraron diferencias significativas para el número de hojas, tanto para los tratamientos (p = 0.148) y genotipos (p = 0.530), como para su interacción (p = 0.703). La variable de respuesta ancho de la hoja mostró ser independiente de la adaptación con las fuentes de nutrición evaluados (p = 0.920), y que más bien se debe a la genética de cada material vegetal (genotipo), ya que este factor resultó significativo (p = 0.023). Ambos factores no mostraron interacción (p = 0.990).

Al analizar los datos de longitud de la hoja central más larga de cada planta, se observó que las fuentes de nutrición no indicaron diferencias significativas (p = 0.668), pero el factor genotipo registró diferencia estadística alta (p = 0.009). En el cuadro 5 se señala el diferencial existente para el tamaño de hojas (longitud y ancho) que muestran los genotipos evaluados, donde resaltan los genotipos G1 y G3 (Fig. 1F). Nuevamente no se encontró interacción significativa (p = 0.950). Estos resultados permiten señalar que en la especie es posible ubicar materiales vegetales con características particulares; previamente en diversas especies de *Agave* ya se había observado este tipo de respuestas en el desarrollo al micropropagarlas (Domínguez *et al.*, 2008). Durante el proceso de aclimatación se encontró un 100 % de supervivencia.

Cuadro 5. Longitud de la hoja central más larga y ancho de la hoja de acuerdo al genotipo.

| Genotipo | Longitud de la hoja (cm) [†] | Ancho de la hoja (cm) |
|----------|---------------------------------------|-----------------------|
| G1 | 5.73±1.66ab | 0.89±0.44b |
| G3 | 6.97±2.08b | 0.67±0.57ab |
| G6 | 5.37±2.08a | 0.52±0.42a |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra no son significativamente diferentes (p = 0.05) empleando Tukey.

CONCLUSIONES

La micropropagación de *Agave maximiliana* es factible de llevarse a cabo desde la estimulación de los brotes por yemas axilares hasta la adaptación *ex vitro*. Para la etapa de estimulación, la presencia de la auxina ácido 2,4-diclorofenoxiacético en proporción baja (0.02-0.03 mgL⁻¹) respecto a la citocinina 6-benciladenina (4-12 mgL⁻¹), favoreció el incremento en la generación de brotes. Así mismo, para la estimulación significativa de raíces largas, ramificadas y no efímeras en dichos brotes, es necesaria la adición de sacarosa en cantidades mayores (9%) con respecto al 3%, comúnmente utilizada en los protocolos de propagación *in vitro*. La adaptación de plantas en invernadero depende del genotipo, siendo el G1 y G6 los de mayor desarrollo, tanto en la longitud como en el ancho de las hojas, pero no así en el número de éstas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Izquierdo Oviedo del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de La Habana, Cuba, por facilitar el producto Pectimorf®.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Jimenez, M., & Rodriguez, J. L. (2018). Micropropagacion y aclimatación de maguey Potzometl (*Agave marmorata* Roez) en la mixteca poblana. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 20, 124-131. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.77084>
- Arellanes, M. A., Pacheco, J. R., Rodríguez, M., Saldaña, L., & Valles, C. (1997). *Mezcal. Elixir de larga vida*. Ciudad de México: CVS Publicaciones, S. A. de C. V.
- Arzate-Fernández, A. M., Martínez-Velasco, I., Alvarez-Aragón, C., Martínez-Martínez, S. Y., & Norman-Mondragon, T. H. (2020). Morphogenetic response of two agave species regenerated in vitro. *Trop. Subtrop.*, 23, 47.
- Arzate-Fernández, A. M., Piña-Escutia, J. L., Norman-Mondragón, T. H., Reyes-Díaz, J. I., Guevara-Suárez, K. L., & Vázquez-García, L. M. (2016). Regeneration of agave (*Agave angustifolia* Haw.) from encapsulated somatic embryos. *Fitotec. Mex.*, 39, 359-366. doi:<https://doi.org/10.1007/s11738-012-1117-5>
- Aureoles-Rodríguez, F., Rodríguez-de la O, J. L., Legaria-Solano, J. P., Sahagún-Castellanos, J., & Peña Ortega, M. G. (2008). Propagación *in vitro* del “maguey bruto” (*Agave inaequidens* Koch), una especie amenazada de interés económico. *Rev. Chapingo Serie Hort.*, 14, 263-269.
- Barreto, R., Nieto-Sotelo, J., & Cassab, G. I. (2010). Influence of plant growth regulators and water stress on ramet induction, rosette engrossment, and fructan accumulation in *Agave tequilana* Weber var. azul. *Plant Cell Tiss. Org.*(103), 93-101. doi:<https://doi.org/10.1007/s11240-010-9758-9>
- Bellon, R. M., Barrientos-Priego, A. F., Colunga-García, M. P., Perales, H., Reyes, J. A., Rosales, S. R., & Zizumbo-Villarreal, D. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. En *Capital Natural de México* (págs. 355-382). México, México: CONABIO.
- Binh, L. T., Muoi, L. T., Oanh, H. T., Thang, T. D., & Phong, D. T. (1990). Rapid propagation of agave by *in vitro* tissue culture. *Plant Cell Tiss.*, 23, 67-70.
- Cabrera-Toledo, D., Vargas-Ponce, O., Ascencio-Ramírez, S., Valdez-Sandoval, L. M., Pérez-Alquicira, J., Morales-Saavedra, J., & Huerta-Galván, O. F. (2020). Morphological and genetic variation in monocultures, forestry systems and wild populations of *Agave maximiliana* of Western México: Implications for its conservation. *Front. Plant Sci.*, 11, 817. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00817>
- Carneiro, F., Queiroz, S. R., Passos, A., Nascimento, M., & Santos, K. (2014). Embriogênese somática em *Agave sisalana* Perrine: indução, caracterização anatômica e regene-

- ração. *Pesqui. Agropecu.*, *44*, 294-303. doi:<https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000300005>
- Chávez-Guerrero, L., Flores, J., & Kharissov, B. I. (2010). Recycling of ash from mezcal industry: A renewable source of lime. *Chemosphere*, *81*, 633-638. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.08.042>
- Chávez-Ortiz, L. I., Morales-Domínguez, J. F., Rodríguez-Sahagún, A., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2021). *In vitro* propagation of *Agave guiengola* Gentry using semisolid médium and temporary immer-sion bioreactors. *Phyton*, *90*, 1003-1013. doi:<https://doi.org/10.32604/phyton.2021.012862>
- Chen, Y., Chen, X., Hu, F., Yang, H., Yue, L., Trigiano, R. N., & Cheng, Z. M. (2014). Micropropagation of *Agave americana*. *Hortscience*, *49*, 320-327.
- Colunga-GarcíaMarín, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., . . . Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. *Domesticación en el Continente Americano*, *2*, 273-308.
- Colunga-GarcíaMarín, P., Zizumbo-Villarreal, D., & Martínez-Torres, J. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. En P. Colunga-GarcíaMarín, D. Zizumbo-Villarreal, J. Martínez-Torres, & P. A.-V. Colunga-GarcíaMarín (Ed.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves* (págs. 229-248). Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Cruz-García, H., Campos-Ángeles, G. V., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., & Velasco-Velasco, V. A. (2019). Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* var. *Oaxacensis* durante su aclima-tización en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, *10*, 1491-1503. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1625>
- Delgado-Aceves, L., González-Arno, M. T., Santacruz-Ruvalcaba, F., Folgado, F., & Portillo, L. (2021). Indirect somatic embryogenesis and cryopreservation of *Agave tequilana* Weber cultivar "Chato". *Plants*(10), 249.
- Domínguez, R. M., González, L. J., Rosales, G. C., Quiñonez, V. C., Delgadillo, D. S., Mireles, J. O., & Pérez, M. B. (2008). El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, *41*, 53-62.
- Eggli, U. (2001). *Illustrated handbook of succulent plants: Monocotyledons*. New York: Springer.
- Federación, D. O. (1 de junio de 2019). *Declaración General de Protección de la Denominación de Origen "Raicilla"*. Recuperado el 1 de junio de 2020, de Diario Oficial de la Federación: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564454&fecha=28/06/2019&print=true
- García-Mendoza, A. (1998). *Con sabor a maguey. Guia de la coleccion nacional de agaváceas y Nolináceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM*. Ciudad de México: Sistema de Informacion Geográfica S. A. de C. V. UNAM.
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, *87*, 14-23.
- García-Mendoza, A. J., Franco-Martínez, I. S., & Sandoval-Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Bot. Mex.*, *126*, e1461. doi:<https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- Garriga, C. M., González, O. G., Alemán, G. S., Abreu, C. E., Quiroz, B. K., Caligari, P. D., & García-González, R. (2010). Management of auxin-cytokinin interactions to improve micropropagation protocol of henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). *Chil. J. Agr. Res.*, *70*, 16-28.
- Gentry, H. S. (1976). La simbiosis hombre-agave. *Cact. Suc. Mex.*, *21*(1), 16-28.
- Hazra, S. K., Das, S., & Das, A. K. (2002). Sisal plant regeneration via organogenesis. *Plant Cell Tiss. Org.*, *70*, 235-240. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1016517617039>
- Kumar, A., Sood, A., Palni, L. M., & Gupta, A. K. (1999). *In vitro* propagation of *Gladiolus hybridus* Hort.: Synergistic effect of heat shock and sucrose on morphogenesis. *Plant Cell Tiss. Org.*, *57*, 105-122. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1006373314814>

- Martínez-Palacios, A., Ortega-Larrocea, M. P., Chávez, V. M., & Bye, R. (2003). Somatic embryogenesis and organogenesis of *Agave victoriae-reginae*: Considerations for its conservation. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 74, 135-152. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1023933123131>
- Monja-Mio, K. M., & Robert, M. L. (2013). Direct somatic embryogenesis of *Agave fourcroydes* Lem. through thin cell layer culture. *In Vitro Cell Dev. Pl*, 49, 541-549. doi:<https://doi.org/10.1007/s11627-013-9535-7>
- Monja-Mio, K. M., Barredo-Pool, F., Herrera-Herrera, G., EsquedaValle, M., & Robert, M. L. (2015). Development of the stomatal complex and leaf surface of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora' plantlets during the *in vitro* to *ex vitro* transition process. *Sci. Hortic*, 189, 32-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.032>
- Monja-Mio, K. M., Olvera-Casanova, D., Herrera-Alamillo, M. A., Sánchez-Teyer, F. L., & Robert, M. L. (2021). Comparison of conventional and temporary immersion systems on micropropagation (multiplication phase) of *Agave angustifolia* Haw "Bacanora". 3 *Biotech*, 11, 77. doi:<https://doi.org/10.1007/s13205-020-02604-8>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plantarum*, 15, 473-497.
- Naziri, M., Sadat, S., & Soltani, M. (2018). The effect of different hormone combinations on direct and indirect somatic embryogenesis in *Agave americana*. *Iran. J Plant Physiol*, 9, 2739-2747. doi:<https://doi.org/10.22034/IJPP.2019.664579>
- Nikam, T. D., Mulye, K. V., Chambhare, M. R., Nikule, H. A., & Ahire, M. L. (2019). Reduction in hyperhydricity and improvement in *in vitro* propagation of commercial hard fibre and medicinal glycoside yielding *Agave sisalana* Perr. ex Engelm by NaCl and polyethylene glycol. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 138, 67-78. doi:<https://doi.org/10.1007/s11240-019-01603-9>
- Pérez-Zavala, M., Pérez-Zavala, M. L., Hernández-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. F. (2020). *Agave*: a natural renewable resource with multiple applications. *J. Sci. Food Agric.*, 100, 5324-5333. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>
- Portillo, L., Santacruz-Ruvalcaba, F., & Olmedilla, A. (2012). Cellular and molecular changes associated with somatic embryogenesis induction in *Agave tequilana*. *Protoplasma*, 249, 1101-1107. doi:<https://doi.org/10.1007/s00709-11-0354-6>
- Portillo, L., Santacruz-Ruvalcaba, F., Gutiérrez-Mora, A., & Rodríguez-Garay, B. (2007). Somatic embryogenesis in *Agave tequilana* Weber. *In Vitro Cell. Dev.-Pl*, 43, 569-575. doi:<https://doi.org/10.1007/s11627-007-9046-5>
- Puente-Garza, C. A., Gutiérrez-Mora, A., & García-Lara, S. (2015). Micropropagation of *Agave salmiana*: Means to production of antioxidant and bioactive principles. *Fron. Plant Sci*, 6, 1026. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01026>
- Puente-Garza, C., García-Lara, S., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017). Enhancement of saponins and flavonols by micropropagation of *Agave salmiana*. *Ind. Crops. Prod*, 105, 225-230. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.014>
- Ragonezi, C., Klimaszewska, K., Castro, M. R., Lima, M., de Oliveira, P., & Zavattieri, M. A. (2010). Adventitious rooting of conifers: Influence of physical and chemical factors. *Trees*, 24, 975-992. doi:<https://doi.org/10.1007/s00468-010-0488-8>
- Ramírez-Malagón, R., Borodanenko, A., Pérez-Moreno, L., Salas-Araiza, M. D., Nuñez-Palenius, H. G., & Ochoa-Alejo, N. (2008). *In vitro* propagation of three *Agave* species used for liquor distillation and three for landscape. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 94, 201-207. doi:<https://doi.org/10.1007/s11240-008-9405-x>
- Reyes-Díaz, J. I., Arzate-Fernández, A. M., Piña-Escutia, J. L., & Vázquez-García, L. M. (2017). Media culture factors affecting somatic embryogenesis in *Agave angustifolia* Haw. *Ind. Crop. Prod*, 108, 81-85. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.021>
- Ríos-Ramírez, S. C., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., & Ruíz-Luna, J. (2017). Benzylaminopurine and indol-3-acetic acid concentrations in *in vitro* proliferation of *Agave angustifolia* adventitious shoots. *Cin. Inv. Agr.* 44, 285-294. doi:<https://doi.org/10.7764/rcia.v44i3.1810>

Recibido:
27/enero/2022

Aceptado:
13/julio/2022

- Robert, M. L., Herrera-Herrera, J. L., Castillo, E., Ojeda, G., & Herrera-Alamillo, M. A. (2006). An efficient method for the micropropagation of *Agave* species. *Plant Cell Culture Protocols*, 318, 165-178. doi:https://doi.org/10.1385/1-59259-959-1:165
- Robert, M. L., Herrera-Herrera, J. L., Chan, J. L., & Contreras, F. (1992). Micropropagation of *Agave* spp. En B. Y. S., *Biotechnology in Agriculture and Forestry* (High-Tech and Micropagation III II 9 ed., págs. 306-332). Berlin: Springer-Verlag.
- Rodríguez-Garay, B., Gutiérrez-Mora, A., & Acosta-Dueñas, B. (1996). Somatic embryogenesis of *Agave victoria-reginae* Moore. *Plant Cell Tiss. Org. Cult*, 46, 85-87. doi:https://doi.org/10.1007/BF00039700
- Sánchez, A., Coronel-Lara, Z., Gutiérrez, A., Vargas, G., Coronado, M. L., & Esqueda, M. (2020). Acclimatization and transplantation of *Agave angustifolia* Haw. vitroplants in wild conditions. *Rev. Mex. Cien. Agric*, 11, 7. doi:https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2403
- Santacruz-Ruvalcaba, F., & Portillo, L. (2009). Thin cell suspension layer as a new methodology for somatic embryogenesis in *Agave tequilana* Weber cultivar azul. *Ind. Crop. Prod*, 29, 609-614. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.12.001
- Santamaría, J. M., Herrera-Herrera, J. L., & Robert, M. L. (1995). Stomatal physiology of a micropropagated CAM plant; *Agave tequilana* (Weber). *Plant Growth Regul*, 16, 211-214. doi:https://doi.org/10.1007/BF00024776
- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M., & Delgado-Lemus, A. (2015). Population dynamics and sustainable management of mescal agaves in central México: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Econ. Bot.*, 69, 26-41. doi:https://doi.org/10.1007/s12231-014-9295-2
- Trejo, L., Limones, V., Peña, G., Scheinvar, E., Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-GarcíaMarín, P. (2018). Genetic variation and relationships among agaves to the production of Tequila and Mezcal in Jalisco. *Ind. Crops. Prod.*, 140-149. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.072
- Valenzuela-Sánchez, K. K., Juárez-Hernández, R. E., Cruz-Hernández, A., Olalde-Portugal, V., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2006). Plant regeneration of *Agave tequilana* by indirect organogenesis. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 42, 336-340.
- Vázquez-García, J. A., Cházaro, M. J., Hernández, G., Vargas-Rodríguez, Y. L., & Zamora, M. P. (2007). Taxonomía del género *Agave* en el occidente de México: Una panorámica preliminar. In J. M.-R. Vázquez-García, *Agaves del Occidente de México* (pp. 38-82). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Zhang, Y.-M., Li, L. X., Chen, Z., Li, J.-F., Lu, J.-Y., & Zhou, W.-Z. (2013). Shoot organogenesis and plant regeneration in *Agave* hybrid, No. 11648. *Sci Horticulture Amsterdam*, 161, 30-34. doi:https://doi.org/10.1016/j.scientia.2013.06.047

**ORIGEN BOTÁNICO Y
CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DE LA MIEL DE
MELIPONINOS (APIDAE:
MELIPONINI) DE TEOCELO,
VERACRUZ, MÉXICO**

**BOTANICAL ORIGIN AND
PHYSICOCHEMICAL
CHARACTERIZATION OF MELIPONINI
HONEY (APIDAE: MELIPONINI)
FROM TEOCELO, VERACRUZ, MEXICO**

Ortiz Reyes, L.Y.; D. L. Quiroz- García; M. L. Arreguín-Sánchez y R. Fernández Nava.
ORIGEN BOTÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MIEL DE
MELIPONINOS (APIDAE:MELIPONINI) DE TEOCELO, VERACRUZ, MÉXICO.
BOTANICAL ORIGIN AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF
MELIPONINI HONEY (APIDAE:MELIPONINI) FROM TEOCELO, VERACRUZ, MEXICO.



ORIGEN BOTÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA MIEL DE MELIPONINOS (APIDAE:MELIPONINI) DE TEOCELO, VERACRUZ, MÉXICO.

BOTANICAL ORIGIN AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF MELIPONINI HONEY (APIDAE:MELIPONINI) FROM TEOCELO, VERACRUZ, MEXICO.

L. Y. Ortiz Reyes

D. L. Quiroz- García¹/dlquirozgar@yahoo.com.mx

M. L. Arreguín-Sánchez¹

R. Fernández Nava¹

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica,
Laboratorio de Palinología, Instituto Politécnico Nacional,
Plan de Ayala y Prolongación Carpio, Col. Santo Tomás,
Ciudad de México, 11340. ¹Becarios de COFAA del IPN

Ortiz Reyes, L.Y.;
D. L. Quiroz- García;
M. L. Arreguín-Sánchez
y R. Fernández Nava.

ORIGEN BOTÁNICO Y
CARACTERIZACIÓN
FÍSICOQUÍMICA DE LA
MIEL DE MELIPONINOS
(APIDAE:MELIPONINI) DE
TEOCELO, VERACRUZ,
MÉXICO.

BOTANICAL ORIGIN AND
PHYSICOCHEMICAL
CHARACTERIZATION OF
MELIPONINI HONEY
(APIDAE:MELIPONINI) FROM
TEOCELO, VERACRUZ,
MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 153-170. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.10

RESUMEN: Se realizó el análisis melisopalinológico y fisicoquímico de seis mieles, tres corresponden a la especie de abeja *Melipona beecheii* y tres a *Scaptotrigona mexicana*, todas del municipio de Teocelo, Veracruz, México. Se determinaron 81 tipos polínicos, pertenecientes a 32 familias botánicas, las más importantes para ambas especies de abejas fueron Anacardiaceae (*Spondias* sp.), Malvaceae (*Heliocarpus appendiculatus*), Piperaceae (*Piper* sp.), Salicaceae (*Salix* sp.) y Urticaceae (*Cecropia* sp.). Dos muestras de miel fueron monoflorales, una de cada especie de abeja y las restantes multiflorales. En cuanto a su clasificación por contenido de polen cuatro de las mieles corresponden a la categoría V, esto es mieles con gran contenido de polen. El índice de diversidad (H') de las mieles fue de 0.74, en una de las muestras monoflorales a 2.73 en una multifloral; el índice de equidad (J') de Pielou señaló un pecoreo heterogéneo para mieles monoflorales y homogéneo para multiflorales. Las características fisicoquímicas determinadas no mostraron marcadas diferencias entre las mieles de ambas especies de abejas, la humedad fue de 25.25 a 26.98; pH de 3.36 a 3.43; el contenido de cenizas de 0.006 a 0.047; la conductividad eléctrica de 0.15 a 0.22 mS cm⁻¹; en cuanto al color todas las mieles fueron claras.

Palabras clave: Meliponinos, *Melipona beecheii*, *Scaptotrigona mexicana*, melisopalinología, análisis fisicoquímicos.

ABSTRACT: The melisopalinological and physicochemical analysis of six honeys was performed, three correspond to the bee species *Melipona beecheii* and three to *Scaptotrigona mexicana*, all from the municipality of Teocelo, Veracruz, Mexico. We determined 81 pollen types, belonging to 32 botanical families, the most important for both species of bees were Anacardiaceae (*Spondias* sp.), Malvaceae (*Heliocarpus appendiculatus*), Piperaceae (*Piper* sp.), Salicaceae (*Salix* sp.) and Urticaceae (*Cecropia* sp.). Two honey samples were monofloral, one from each bee species and the remaining multifloral. As for its classification by pollen content, four of the honeys correspond to category V, this is honeys with a high pollen content. The diversity index (H') of the honeys was 0.74, in one of the monofloral samples to 2.73 in a multifloral; the Pielou equity index (J') indicated a heterogeneous pecoreo for monofloral honeys and homogeneous for multifloral honeys. The physicochemical characteristics determined did not show marked differences between the honeys of both bee species, the humidity was from 25.25 to 26.98; pH from 3.36 to 3.43; ash content from 0.006 to 0.047; electrical conductivity from 0.15 to 0.22 mS cm⁻¹; and in terms of color all the honeys were clear.

Key words: Meliponinos, *Melipona beecheii*, *Scaptotrigona mexicana*, melisopalinology, physicochemical analysis.

INTRODUCCIÓN

Los meliponinos son un tipo de abejas eusociales que se caracterizan por la ausencia de aguijón y pequeño tamaño, se encuentran ampliamente distribuidos en las regiones tropicales (Quezada-Euán, 2005). En México, los indígenas criaban a los meliponinos desde antes de la llegada de los españoles, actualmente las especies más utilizadas para la producción de miel son: *Melipona beecheii* y *Scaptotrigona mexicana*, la primera en el área maya y la segunda en el área nahua (Ayala, 2010). A diferencia de la miel de *Apis mellifera*, la de las abejas meliponas no ha tenido muchos estudios e incluso no se han elaborado estándares de calidad para estas mieles, por lo que con frecuencia se basan en los de *A. mellifera* (Vit *et al.*, 2006). En nuestro país, a pesar de que se tiene una gran variedad de especies de abejas sin aguijón (Ayala, 2010; Arnold *et al.* 2018); además, de la importancia que tienen estos insectos como polinizadores de la flora silvestre y de los cultivos, así como del uso medicinal que se le da a la miel que producen (Cahuich *et al.*, 2015; Bonet-Ferrer, 2016; Biluca *et al.*, 2017), el número de trabajos sobre la miel de meliponinos son escasos respecto a otros países de Latinoamérica (Mendieta, 2002; Vit *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2008; Vit *et al.*, 2009; Flores y Sánchez, 2010; Fonte, *et al.*, 2012; Rodríguez, 2014; Vit *et al.*, 2016). Para México los trabajos melisopalinológicos sobre abejas sin aguijón se concentran en algunas regiones del país; entre ellos se cuenta el de Martínez-Hernández *et al.*, (1994), que determinaron el forrajeo de cuatro especies de meliponinos de dos localidades de Chiapas, México. Villanueva (2005) investigó los recursos nectaríferos utilizados por *M. beecheii* en el Corredor Biológico Mesoamericano. Ramírez-Arriaga y Martínez-Hernández (2007) analizaron la miel de *Scaptotrigona mexicana* y *Apis mellifera* de diez localidades del norte del estado de Puebla obteniendo para *S. mexicana* altos índices de diversidad, así como grandes cantidades de granos de polen por gramo de miel. Reyes-González (2011) presentó un trabajo acerca de las abejas meliponas del municipio de Nocupétaro, Michoacán, en su estudio incluyó el análisis fisicoquímico de la miel de *Scaptotrigona hellwegeri* y de *Frieseomelitta nigra* y las comparó con la norma europea para *A. mellifera*. Grajales-Conesa *et al.* (2018) analizaron mieles de distintas especies de meliponinos (*Melipona beecheii*, *M. solani*, *Scaptotrigona mexicana*, *S. pectoralis*, *Tetragonisca angustula* y *Plebeia* sp.) del sur de Chiapas. López-Roblero, *et al.* (2021) determinaron los recursos florales colectados por cuatro especies de abejas nativas de Chiapas, encontrando mieles monoflorales y multiflorales. El interés por realizar más trabajos sobre abejas silvestres ha aumentado en los últimos años, por lo que el propósito de este trabajo es evaluar la composición botánica y las características físicas y químicas de la miel de meliponinos de la región de Teocelo, Veracruz, México, que no cuenta con estudios previos, por medio de un análisis melisopalinológico y pruebas fisicoquímicas y de color.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de Veracruz se localiza en las costas del Golfo de México y de acuerdo con el Pronuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos (2009) del INEGI, Teocelo se encuentra en la zona montañosa del estado, entre los paralelos 19°20' y 19° 24' latitud norte y los meridianos 96°50' y 97°02' longitud oeste a una altitud entre los 500 y 1420 msnm (Fig. 1). El clima de la región es semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf) (62%), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (ACm) (29%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano (A (w)) (9%). La temperatura media anual es de 18 °C a 24 °C y el rango de precipitación es de 1400 a 2100 mm. El tipo de vegetación dominante en la región es el Bosque Tropical Caducifolio, Bosque Mesófilo de Montaña y Pastizales.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio, Veracruz de Ignacio de la Llave, México y Municipio de Teocelo. Modificado de <https://www.pinterest.com.mx/pin/470274386062704725/?d=t&mt=login>

Mieles de abejas sin aguijón

Se realizaron dos salidas al municipio de Teocelo, Veracruz en marzo y agosto de 2019, en cada salida se visitó a los meliponicultores de la zona y se colectó material vegetal de la zona de estudio. Las muestras de miel, 100 ml de cada una, se obtuvieron con los productores locales que comercializan las mieles en el municipio de Teocelo, Veracruz. Se analizaron seis muestras, de la 1 a la 3, de *Melipona beecheii* y de la 4 a la 6, de *Scaptotrigona mexicana*. Las muestras 1 a 5, se obtuvieron en 2019 en diferentes épocas del año. En marzo una, esta miel corresponde a la temporada de primavera y en agosto cuatro mieles que cubren la época de verano; mientras que la muestra 6 se colectó en el año 2013.

Análisis palinológico

Las muestras de miel se trasladaron al Laboratorio de Palinología de Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y se mantuvieron en refrigeración a -4°C hasta el momento de su preparación. De cada muestra de miel se tomaron 10 g y se diluyeron con agua caliente a las que se les adicionó de tres a cinco gotas de ácido clorhídrico para posteriormente ser tratadas con la técnica de acetólisis de (Erdtman, 1960). A cada una de las muestras se le agregó una pastilla de esporas de *Lycopodium clavatum* para determinar la cantidad absoluta de polen por gramo de miel de acuerdo con el método de Stockmarr, (1971). Se elaboraron tres laminillas por muestra, montadas en gelatina glicerínada, unas sin colorante y otras con fucsina básica. La identificación de los tipos polínicos se realizó por medio de claves especializadas (Kapp, 1969; Huang, 1972; Palacios *et al.*, 1991; Roubik y Moreno, 1991) y por comparación con la colección de referencia de la zona que se elaboró con el material vegetal colectado en las salidas, así como con la colección de polen del estado de Veracruz depositada en la Palinoteca del Laboratorio de Palinología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Para obtener las frecuencias porcentuales de cada tipo polínico determinado se realizó un conteo de entre 300-500 granos de polen por muestra. Los taxones identificados se clasificaron de acuerdo a las categorías propuestas por Louveaux, Maurizio, y

Vorwohl (1978) en donde el polen dominante (D) representa más del 45% de los granos de polen contados, el polen secundario (S) del 16-45%, polen de importancia menor (I) es de 3-15% y el polen menor (M) representa menos del 3%. Se designaron a las mieles como monoflorales cuando en su composición predominó una especie botánica con porcentaje de polen igual o mayor a 45% y multifloral cuando dos o más especies se presentaron con porcentajes iguales o mayores al 10% (Lieux, 1972). Se analizó la calidad de la miel registrando la presencia de esporas de *Lycopodium clavatum* en las laminillas y con estos datos se obtuvieron las categorías de Maurizio (1949), clase I, <20,000 granos de polen en 10 g de miel, clase II, 20,000-100,000, clase III, 100,000-500,000, clase IV, 500,000-1,000,000 y clase V, > 1,000,000.

Con el paquete estadístico PAST se determinó para cada muestra el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') y el índice de equidad de Pielou (J') para establecer la uniformidad del forrajeo de las abejas.

Los análisis fisicoquímicos se determinaron para cada muestra, de acuerdo con los siguientes métodos: la humedad, se calculó con un refractómetro, para esto se colocaron dos gotas de miel hasta cubrir el prisma del aparato para obtener la lectura. Para determinar el contenido de cenizas, primero se midió la conductividad eléctrica por medio de un conductímetro, utilizando 12 g de miel diluida en 30 mL de agua inyectable PISA; una vez obtenidas las lecturas del conductímetro se calculó el porcentaje de ceniza. El pH se midió con un potenciómetro de mesa en una solución de miel al 10%, empleando un electrodo calibrado con solución buffer de pH 4 y 7 (Martínez, 2016).

El análisis de color se realizó por medio de un espectrofotómetro UV/Vis/Nir marca Perkin Elmer modelo Lambda 19 con esfera de integración. Se utilizó como referencia la escala CIE 1976 $L^* a^* b^*$, en donde L^* está en un intervalo de 0 a 100, así $L^* > 50$ son mieles claras y $L^* < 50$ mieles oscuras; a^* y b^* indican la colorimetría, mostrando los pigmentos presentes en la miel, de esta forma $a^* > 0$ tiende a tonalidades de rojo, $a^* < 0$ mostrará tonalidades verdes; $b^* > 0$ indica tonalidades amarillas y $b^* < 0$ tonalidades azules (Delmoro *et al.*, 2010).

RESULTADOS

Se identificaron 81 tipos polínicos en las muestras analizadas. De estos 13 se determinaron a nivel especie, 40 a nivel de género, 14 a nivel de familia y a 14 se le asignó un tipo morfológico. Los taxones determinados se listan en el Cuadro 1, así como su frecuencia porcentual y la categoría a la que corresponde de acuerdo con Louveaux, Maurizio, & Vorwohl (1978). Se resaltan la categoría dominante (D), secundario (S) y de importancia menor (I) que muestran una frecuencia igual o mayor al 3%.

Cuadro 1. Porcentaje de taxones presentes en las seis muestras de miel, separados de acuerdo con las categorías de Louveaux, Maurizio, & Vorwohl (1978) en donde: D: dominante ($\geq 45\%$), S: secundario (16-45%), I: importancia menor (3-15%) y M: menor ($\leq 3\%$).

| Taxones | <i>Melipona beecheii</i> | | | <i>Scaptotrigona mexicana</i> | | |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | M- 1 | M- 2 | M-3 | M-4 | M- 5 | M- 6 |
| Acanthaceae | | | | | M, 0.19 | |
| Amaranthaceae | M, 0.30 | | | | | |
| Anacardiaceae | | | | | | |
| <i>Comocladia engleriana</i> Loes. | | I, 5.75 | M, 2.25 | I, 3.17 | M, 2.41 | |
| <i>Comocladia</i> sp. | | | M, 0.17 | M, 0.75 | M, 0.37 | |
| <i>Rhus</i> sp. 1 | | I, 4.27 | I, 5.36 | I, 3.54 | I, 4.63 | M, 1.98 |
| <i>Rhus</i> sp. 2 | | M, 0.19 | M, 0.52 | M, 0.37 | M, 0.19 | |
| <i>Rhus</i> sp. 3 | | M, 1.11 | M, 0.35 | | M, 0.19 | |
| <i>Rhus</i> sp. 4 | | M, 0.19 | M, 2.42 | M, 2.05 | M, 0.19 | M, 0.36 |
| <i>Spondias</i> sp. | M, 0.30 | I, 12.99 | I, 13.32 | I, 5.60 | I, 7.22 | M, 2.23 |
| Anacardiaceae sp. 1 | M, 0.15 | | | | | |
| Anacardiaceae sp. 2 | | | | | | M, 0.18 |
| Aquifoliaceae | | | | | | |
| <i>Ilex</i> sp. | | | | | | M, 0.36 |
| Araceae | | | | | | |
| <i>Anthurium</i> sp. | | | M, 0.35 | M, 0.56 | M, 0.37 | |
| Arecaceae | | | | | | |
| Arecaceae sp. 1 | M, 2.11 | | | | | |
| Arecaceae sp. 2 | | M, 0.19 | M, 0.17 | | | |
| Asteraceae | | | | | | |
| <i>Calea</i> sp. | | | M, 0.17 | M, 0.37 | M, 0.37 | |
| aff. <i>Eupatorium</i> sp. | | M, 0.93 | M, 0.52 | M, 0.19 | | |
| <i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less. | | | M, 0.17 | M, 0.19 | M, 0.19 | I, 3.24 |
| <i>Verbesina</i> sp. | M, 1.96 | M, 0.19 | | | | M, 0.18 |
| Asteraceae sp. 1 | M, 0.15 | | | | M, 0.19 | |
| Bignoniaceae | M, 1.36 | | | | | |
| <i>Tabebuia</i> sp. | M, 0.30 | | | | | |
| Burseraceae | M, 0.15 | | | | | |
| <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. | | M, 1.86 | M, 1.21 | M, 0.37 | M, 0.37 | |
| Clethraceae | | | | | | |
| <i>Clethra</i> sp. | | I, 6.49 | M, 1.21 | M, 1.68 | M, 2.04 | M, 0.18 |
| Combretaceae | | | | | | |

| Taxones | <i>Melipona beecheii</i> | | | <i>Scaptotrigona mexicana</i> | | |
|---|--------------------------|---------|----------|-------------------------------|---------|----------|
| | M- 1 | M- 2 | M-3 | M-4 | M- 5 | M- 6 |
| <i>Combretum</i> sp. | | M, 0.19 | | | | |
| Commelinaceae | | | | | | |
| <i>Commelina</i> sp. | | | | | M, 0.19 | |
| Tipo <i>Commelina</i> | | | M, 0.17 | | | |
| Convolvulaceae | | | | | | |
| aff. <i>Operculina</i> | | | | | | M, 0.18 |
| Cf. Dilleniaceae | | M, 0.74 | M, 0.35 | M, 0.37 | M, 0.19 | |
| Euphorbiaceae | | | | | | |
| <i>Alchornea latifolia</i> Sw. | | M, 0.74 | M, 1.56 | M, 0.56 | M, 1.48 | |
| <i>Sapium</i> sp. | | | M, 0.17 | | | |
| Fabaceae | | | | | | |
| <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd. | | | M, 0.69 | M, 0.93 | M, 0.37 | |
| <i>Crotalaria</i> sp. | | M, 0.56 | M, 0.35 | | | |
| <i>Desmodium</i> sp. | | M, 0.37 | M, 0.52 | | | |
| Fabaceae sp. 1 | | M, 0.74 | M, 1.38 | M, 0.19 | M, 0.74 | |
| Fabaceae sp. | | | | | | M, 0.36 |
| Fabaceae poliada 1 | | | | M, 0.56 | M, 0.37 | |
| Fabaceae poliada 2 | | | | | | M, 0.18 |
| <i>Mimosa albida</i> Willd. | | M, 0.74 | M, 0.52 | M, 0.37 | M, 1.48 | M, 1.44 |
| Papilionoideae | | M, 0.19 | | M, 0.37 | | |
| <i>Senna</i> sp. 1 | | | | M, 1.31 | M, 1.11 | |
| <i>Senna</i> sp. 2 | | | | M, 0.37 | | |
| Fagaceae | | | | | | |
| <i>Quercus</i> sp. 1 | M, 0.75 | M, 0.19 | M, 0.35 | | M, 0.19 | |
| <i>Quercus</i> sp. 2 | M, 1.20 | | | | | |
| <i>Quercus</i> sp. 3 | | | M, 0.17 | | | |
| Juglandaceae | | | | | | |
| <i>Juglans pyriformis</i> Liebm. | M, 0.30 | | | | | |
| Malvaceae | | | | | | |
| <i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz. | M, 1.36 | I, 5.94 | I, 6.40 | I, 3.37 | I, 5.37 | D, 85.19 |
| <i>Heliocarpus</i> sp. | M, 0.15 | I, 6.12 | I, 15.22 | I, 6.16 | I, 7.22 | |
| Melastomataceae | | | | | | |
| <i>Miconia</i> sp. | S, 17.32 | | | | | |
| Myrtaceae | | | | | | |

| Taxones | <i>Melipona beecheii</i> | | | <i>Scaptotrigona mexicana</i> | | |
|--|--------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|---------|
| | M- 1 | M- 2 | M-3 | M-4 | M- 5 | M- 6 |
| <i>Psidium guajava</i> L. | M, 0.15 | I, 4.45 | M, 1.38 | M, 1.49 | M, 1.85 | M, 2.34 |
| <i>Syzygium</i> sp. | M, 2.86 | | | | | |
| Nyctaginaceae | M, 0.15 | | | | | |
| Piperaceae | | | | | | |
| Piperaceae | | | | I, 9.51 | I, 10.00 | |
| <i>Piper</i> sp. 1 | D, 46.69 | | | | | |
| <i>Piper</i> sp. 2 | | S, 8.18 | I, 14.36 | I, 3.73 | I, 4.44 | M, 0.18 |
| <i>Piper</i> | | | | M, 0.56 | M, 1.11 | |
| Rosaceae | M, 0.45 | M, 0.19 | | | | |
| Tipo <i>Prunus</i> | | M, 0.19 | M, 0.17 | | | |
| Rubiaceae | | | | | | |
| <i>Coffea arabica</i> L. | | | | | | M, 0.18 |
| aff. <i>Exostema mexicanum</i> A. Gray. | M, 0.15 | | | | | |
| Rutaceae | | | | | | |
| aff. <i>Citrus</i> | | | | | M, 0.19 | M, 0.18 |
| Salicaceae | | | | | | |
| <i>Salix</i> aff. <i>humboldtiana</i> Willd. | | | | M, 0.56 | M, 2.41 | |
| <i>Salix</i> sp. | | I, 12.99 | I, 7.79 | I, 8.96 | I, 9.26 | M, 0.36 |
| <i>Xylosma</i> sp. 1 | M, 1.20 | | | | | |
| <i>Xylosma</i> sp. 2 | I, 12.80 | M, 0.74 | | | | |
| Sapindaceae | | | | | | |
| <i>Paullinia</i> sp. | M, 0.15 | M, 0.19 | | M, 0.37 | M, 0.19 | |
| Scrophulariaceae | I, 7.53 | | | | | |
| Smilacaceae | | | | | | |
| aff. <i>Smilax</i> sp. | | | M, 0.17 | | | |
| Ulmaceae | | | | | | |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume | | M, 0.37 | M, 0.52 | M, 0.37 | M, 0.56 | |
| Urticaceae | | | | | | |
| <i>Cecropia</i> sp. 1 | | I, 5.57 | I, 12.63 | S, 30.41 | S, 25.19 | |
| <i>Cecropia</i> sp. 2 | | I, 5.94 | I, 6.40 | I, 8.58 | I, 5.19 | |
| Tipo <i>Cecropia</i> | | | | M, 0.56 | M, 1.67 | |
| Morfotipo 1 | | M, 0.56 | M, 0.17 | M, 0.37 | M, 0.19 | |
| Morfotipo 2 | | | M, 0.17 | | | |
| Morfotipo 3 | | | M, 0.17 | | | |

| Taxones | <i>Melipona beecheii</i> | | | <i>Scaptotrigona mexicana</i> | | |
|--|--------------------------|------|-----|-------------------------------|---------|---------|
| | M- 1 | M- 2 | M-3 | M-4 | M- 5 | M- 6 |
| Morfotipo 4 | | | | M, 0.19 | | |
| Morfotipo 5 | | | | M, 0.19 | | |
| Morfotipo 6 | | | | M, 0.19 | | |
| Morfotipo 7 | | | | M, 0.19 | | |
| Morfotipo 8 | | | | | M, 0.19 | |
| Morfotipo 9 | | | | | | M, 0.18 |
| Número de granos de polen contados por muestra | 664 | 539 | 578 | 536 | 540 | 555 |
| Tipos polínicos ≥ 10 % | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 |

De las muestras analizadas dos resultaron monoflorales una para *Melipona beecheii*, con el 46.69% de *Piper* sp. 1 y otra de *Scaptotrigona mexicana*, con el 85.19% de *Heliocarpus appendiculatus*; el resto de las muestras resultaron multiflorales (Cuadro 1 y 2). Los principales tipos polínicos se observan en la Lámina I.

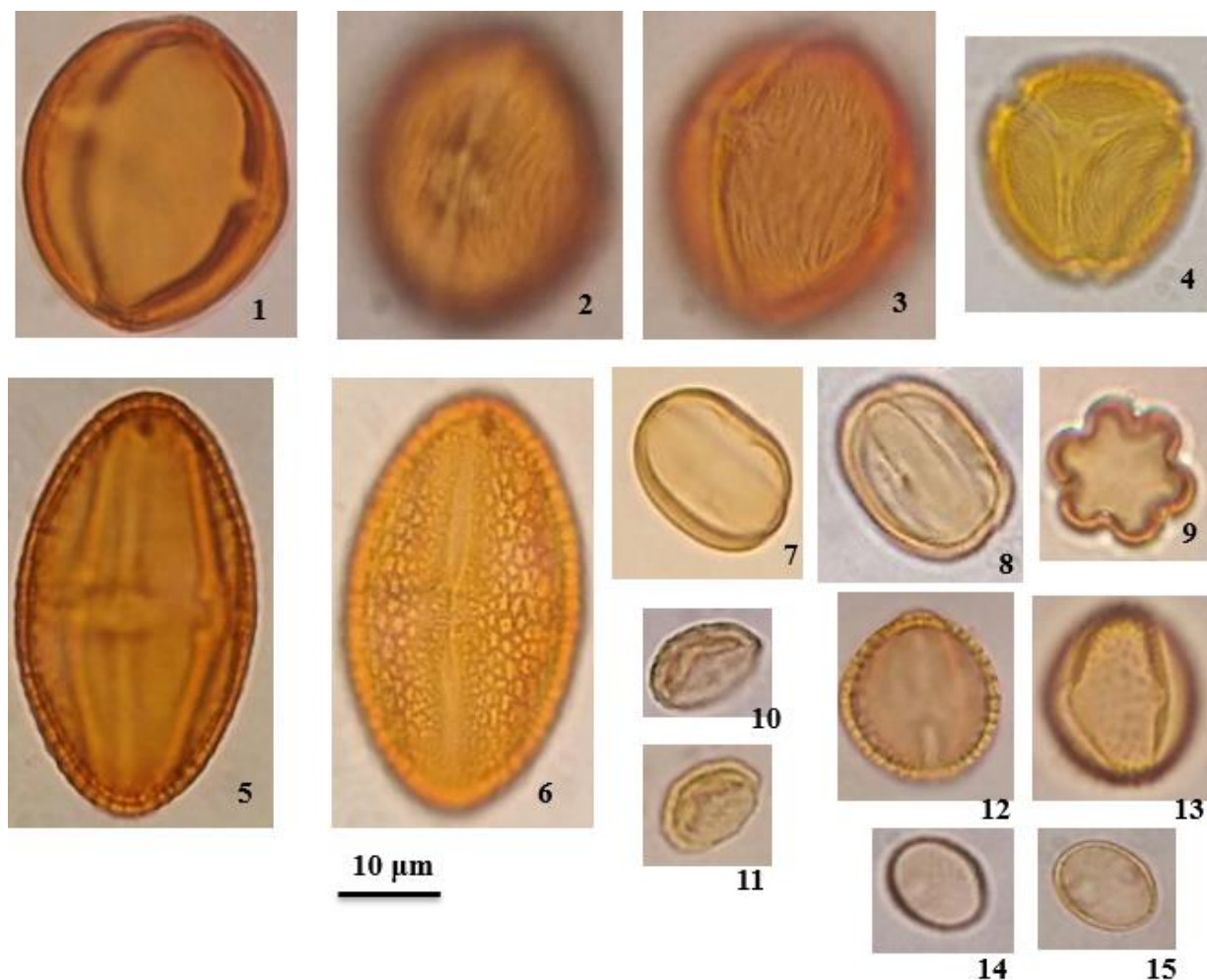


Lámina I. 1-4: *Spondias* sp., Anacardiaceae. 5-6: *Heliocarpus appendiculatus*, Malvaceae. 7-9: *Miconia* sp. Melastomataceae. 10-11: *Piper* sp., Piperaceae. 12-13: *Salix* sp., Salicaceae. 14-15: *Cecropia* sp., Urticaceae.

Cuadro 2. Caracterización botánica de cada muestra de miel de acuerdo con Lieux (1972).

| Muestra | Tipo de miel |
|-----------------|--------------|
| 1(marzo 2019) | Monofloral |
| 2 (agosto 2019) | Multifloral |
| 3 (agosto 2019) | Multifloral |
| 4 (agosto 2019) | Multifloral |
| 5 (agosto 2019) | Multifloral |
| 6 (2013) | Monofloral |

La calidad de las mieles en función del número de granos de polen en 10 g de miel, permitió determinar que la muestra de miel 3 de *Melipona beecheii* y las muestras 4 a 6 de *Scaptotrigona mexicana*, corresponden a la clase V de Maurizio (1949) con > 1,000,000 de granos de polen. En las muestras 1 y 2 de *M. beecheii* no se pudo determinar esta característica ya que no se

encontraron esporas de *Lycopodium* en las preparaciones analizadas, por lo que no se pudo realizar el cálculo de la cantidad absoluta de granos de polen en las mieles.

En el Cuadro 3 se registra el número de taxones determinados en las muestras de miel, en las de *Scaptotrigona mexicana* se encontró el índice de diversidad más alto (2.73), así como el menor (0.74). En cuanto al índice de equidad, en las muestras 2 a 5 de las dos especies, se observa un aprovechamiento de las especies vegetales uniforme, mientras que en las muestras 1 y 6 la utilización de recursos es heterogénea (0.56 y 0.25 respectivamente).

Cuadro 3. Número de taxones determinados por muestra, índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') e índice de equidad de Pielou (J').

| Análisis estadísticos | <i>Melipona beecheii</i> | | | <i>Scaptotrigona mexicana</i> | | |
|----------------------------|--------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----------|
| | Muestra 1 marzo | Muestra 2 agosto | Muestra 3 agosto | Muestra 4 agosto | Muestra 5 agosto | Muestra 6 |
| Número de taxones | 25 | 33 | 38 | 39 | 39 | 19 |
| Shannon-Weaver (H') | 1.81 | 2.68 | 2.66 | 2.63 | 2.73 | 0.74 |
| Equidad de Pielou (J') | 0.56 | 0.76 | 0.73 | 0.71 | 0.74 | 0.25 |

En el Cuadro 4 se observan las características fisicoquímicas y de color de las muestras analizadas, el porcentaje de humedad es semejante en las mieles y solo la muestra 1 presenta un valor más elevado (26.98). La conductividad eléctrica alcanzó un valor de 0.22 mScm⁻¹ en las mieles 1 y 6 y el porcentaje de cenizas en esas mismas muestras fue de 0.0472, valores mayores que en el resto de las mieles analizadas. El pH en las muestras de *M. beecheii* alcanzaron valores de 3.36 a 3.43, superiores a los de *Scaptotrigona mexicana*. En cuanto al color, en el rubro de claridad L* es mayor a 50 por lo que las mieles son claras, en el color a* tiene valores menores a 0 por lo que tiende a tonalidades verdosas, excepto la muestra 6 con a* mayor a 0 presenta colores rojizos; en cuanto a b* todos los valores son superiores a 0 mostrando tonalidades amarillas.

Cuadro 4. Características fisicoquímicas y de color de las muestras de *Melipona beecheii* (muestras 1 a 3) y *Scaptotrigona mexicana* (muestras 4 a 6) de Teocelo, Veracruz, México. El color se expresa como L*, luminosidad; a* y b*, colorimetría.

| Muestra | %Humedad | Conductividad eléctrica (en mScm ⁻¹) | % de cenizas | pH | Color | | |
|---------|----------|--|--------------|------|-------|-------|-------|
| | | | | | L* | a* | b* |
| 1 | 26.98 | 0.22 | 0.0472 | 3.43 | 85.25 | -1.97 | 52.12 |
| 2 | 25.25 | 0.15 | 0.0072 | 3.39 | 87.62 | -5.10 | 46.67 |
| 3 | 25.25 | 0.15 | 0.0069 | 3.36 | 85.74 | -4.41 | 48.86 |
| 4 | 25.50 | 0.15 | 0.0061 | 3.20 | 87.63 | -3.70 | 46.05 |
| 5 | 25.25 | 0.15 | 0.0082 | 3.34 | 88.21 | -4.22 | 45.68 |
| 6 | 25.50 | 0.22 | 0.0472 | 3.36 | 63.62 | 19.13 | 80.48 |

DISCUSIÓN

Análisis melisopalinológico

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 1) los taxones con mayor representación en cuanto al polen presente en las muestras para *Melipona beecheii* son: *Piper* sp. y *Miconia* sp.; mientras que para *Scaptotrigona mexicana* son: *Heliocarpus appendiculatus* y *Cecropia* sp., estas plantas se observan en la vegetación de la zona. Rodríguez *et al.* (2008) mencionan que la familia Piperaceae fue la más visitada por otras especies de meliponinos en un bosque seco tropical en Venezuela. Castellano-Potenciano *et al.* (2012) y Martínez-Hernández *et al.* (1994) citado por Castellano-Potenciano *et al.* (2012) encontraron que el género *Piper* es pecoreado por especies como *Apis mellifera*, *Scaptotrigona mexicana* y *Trigona (Tetragonisca) angustula*. López-Roblero, *et al.* (2021) encuentran que *Miconia* es un recurso importante para *M. beecheii* y *S. mexicana* en el sureste de México con porcentajes superiores al 10 % en varias muestras. Respecto al género *Heliocarpus*, este se encuentra en bosques tropicales alterados, así como en bosques mesófilos; florece en la época más seca del año durante tres a cinco meses dependiendo de la especie, produce densas panículas con flores de tamaño reducido y abundante polen y néctar por lo que es un recurso importante para las abejas (Villegas *et al.*, 2000; Lagos Burbano y Benavides Arteaga, 2014). Este taxón es abundante en la zona de estudio y como se observa en el Cuadro 1, está presente en todas las muestras analizadas, pero sólo en una es el tipo polínico dominante la cual corresponde a la muestra 6 de *S. mexicana*. Autores como Fonte *et al.* (2012) señalan una selectividad en el pecoreo de *M. beecheii* por *Bursera simaruba* y *Psidium guajava*, ambas especies también se encuentran en la zona de estudio, pero no fueron importantes para las especies de abejas consideradas. Respecto a *Bursera simaruba* es importante mencionar que en el lugar donde se recolectaron las muestras de miel, esta especie ha sido talada de forma intensiva para la introducción de cafetales, lo cual podría explicar el por qué no es un taxón de gran importancia en las muestras. Ramírez-Arriaga y Martínez-Hernández (2007) encontraron que para *S. mexicana* el polen de *Coffea arabica* es de importancia; sin embargo, en las mieles analizadas solo se encontró en una muestra de *S. mexicana* en muy bajo porcentaje, no obstante que hay una gran cantidad de cafetales en la zona que se encontraban en floración, por lo que su presencia podría deberse al transporte de polen por el viento o al manejo que le da el meliponicultor a las mieles como menciona Yuca-Rivas (2017). Arcila (2007) y Jaramillo (2012) citados por Cepeda-Valencia *et al.* (2014) mencionan que el café es un recurso importante para las abejas, sin embargo, presenta una floración de tres días y sólo el primero es atractivo para estos organismos. Los resultados obtenidos (Cuadro 1) permiten vislumbrar que las abejas sin aguijón visitan un número considerable de taxones. Estas abejas son consideradas como buenos polinizadores, con diferentes tamaños de acuerdo con la especie, por lo que son capaces de polinizar una mayor diversidad de flores con formas y tamaños variados, que además muestran periodos de floración breve (Arnold *et al.*, 2018) y son de importancia nectaro-polinífera (Villegas, 2008).

Respecto a la caracterización botánica de las mieles (Cuadro 2) se encontró que tanto para *M. beecheii* como para *S. mexicana* predominan las mieles multiflorales, en particular en la cosecha de agosto de 2019, con varias especies con porcentajes menores al 10%; resultados semejantes fueron obtenidos por Vit *et al.* (2006) para *M. beecheii*, estos autores determinaron una miel multifloral con gran diversidad de tipos polínicos, pero muchos de ellos con bajas frecuencias relativas. Por el contrario, Espinoza-Toledo, y colaboradores (2018) para las mieles del Soconusco, Chiapas caracterizan como mieles monoflorales las de *M. beecheii* y multiflorales las de *S. mexicana*. En este trabajo solo se caracterizaron dos mieles como monoflorales (Cuadro 2), la muestra 1 de *M. beecheii*, con el polen de *Piper* sp como dominante y la muestra 6 de *S. mexicana*, con el polen de *Heliocarpus appendiculatus* como dominante.

En cuanto a la calidad de la miel, las muestras analizadas corresponden a la categoría V de Maurizio, (1949). En estos casos se sospecha que pudieron incluirse en las muestras celdas de almacenamiento de polen o que las abejas recurrieron a fuentes de polen extremadamente ricas. A diferencia de los panales de *Apis mellifera*, los potes de miel de los meliponinos y los de

polen no difieren significativamente lo que implica que, en algunas ocasiones, según la manera en que se coseche, el contenido de ambos se puede mezclar (Arnold *et al.*, 2018) lo que podría explicar en parte la gran cantidad de polen presente en las muestras.

Respecto a los análisis estadísticos, como se observa en el Cuadro 3, el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') en las mieles analizadas varía de 0.7 a 2.7. La diversidad en las muestras depende del tipo de vegetación y del periodo en el que florecen las plantas. La muestra de marzo corresponde a un periodo seco en donde se tiene un menor número de plantas en floración, de ahí que el índice de diversidad es menor; mientras que las muestras de agosto fueron en un periodo de mayor floración, y es donde los valores de diversidad son mayores. En cuanto a la forma de utilización de los recursos (Índice de Pielou) en el Cuadro 3 se observa que las muestras uno y seis tienen los valores más bajos, lo que indica que al haber menor disponibilidad de plantas que ofrecen polen y néctar las abejas utilizan principalmente uno de esos taxones, por el contrario, al tener más plantas disponibles se realiza un pecoreo más homogéneo, de ahí que en el resto de las muestras no hay un taxón dominante. Los meliponinos forrajean en un intervalo de vuelo corto alrededor de su nido siendo por lo general de 100 m (Lindauer y Kerr, 1960; Kerr y Esch, 1965; Oliveira, 1973; Ramalho *et al.* (1985) citados por Ramírez-Arriaga y Martínez-Hernández, 2007). por lo que las abejas aprovechan las plantas a las que pueden acceder fácilmente y que les proporcionan el polen y/o néctar que requieren.

Análisis fisicoquímico y de color

Humedad

La humedad de la miel es un parámetro que varía por diferentes factores como son la humedad original del néctar, la zona geográfica de donde proceden las mieles, las prácticas de extracción, entre otros (Díaz, 2003 citado por Victoriano, 2019). Las muestras de *M. beecheii* y *S. mexicana* presentaron un porcentaje de humedad superior al 25%, al comparar los valores obtenidos en este trabajo con los establecidos en la Norma Mexicana para la miel de Abeja (NMX-F-036-981) y el Codex Alimentarius (CODEX STAN 12-1981) se encontró que sobrepasan los límites permitidos por ambas normas, las cuales señalan como máximo 20 % de humedad para mieles de *Apis mellifera*. Sin embargo, al contrastar los resultados obtenidos con los de otros autores que analizan mieles de meliponinos, se encuentra que Fonte *et al.* (2013), para *M. beecheii* determinó una humedad de 24 %, valor cercano a los registrados en el presente trabajo para la miel de esta especie. Vit (2009), encontró para *Scaptotrigona* sp. 20.1% de humedad, porcentaje menor a los encontrados para *S. mexicana* en este estudio. Vit *et al.* (2004) proponen para mieles de abejas sin aguijón un máximo de 30 % de humedad, por lo que los valores obtenidos para las mieles de Teocelo, Veracruz, estarían dentro de los propuestos por dichos autores. Se ha encontrado que las mieles de meliponinos en general tienen un porcentaje mayor de humedad que las mieles de *Apis mellifera*, de ahí que la miel de las abejas sin aguijón es más líquida y menos viscosa, propiciando una rápida fermentación causada por levaduras osmotolerantes, dándole un sabor amargo (Castro, 2015 citado por Victoriano, 2019).

Conductividad eléctrica y porcentaje de cenizas

La conductividad eléctrica y el porcentaje de cenizas son dos parámetros muy relacionados que están en función de los minerales presentes en la miel, que ayudan a conocer tanto el origen floral como el origen geográfico de ellas (Gamboa, 2014 citado por Victoriano, 2019). Como se observa en el Cuadro 4, el contenido de cenizas en las muestras de miel oscila entre 0.0061 a 0.00472, mientras que la conductividad eléctrica varió de 0.150 a 0.222; al analizar estos datos podemos apreciar que las mieles monoflorales (uno y seis) tienen los valores más altos en cenizas y en conductividad eléctrica, aun cuando fueron colectadas por diferentes especies; en cambio, las mieles multiflorales tienen registros bajos de cenizas que se relacionan también con la baja conductividad encontrada.

Al comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con el de otros autores se observa que la cantidad de cenizas es menor a la reportada para mieles de meliponinos en otras localidades (Dardón y Enríquez, 2008; Vit, 2009). Sólo se encontraron coincidencias con el

dato que da Alarcón e Ibañez (2008) citado en Victoriano (2019) para *Melipona beecheii* de 0.0467 y el que señalan Vit *et al.* (2006) de 0.02 para una miel de Guatemala de la misma especie. Sin embargo, cabe hacer notar que los registros de porcentaje de ceniza obtenidos en esta investigación están dentro de los límites que marcan Vit *et al.* (2004) para *Melipona* y *Scaptotrigona* de 0.5 g/100 g como límite máximo para este parámetro. El porcentaje de cenizas también se encuentra en los valores permitidos por el *Codex Alimentarius* para miel de *Apis mellifera* (Vit *et al.*, 2004).

Entre los autores que determinaron la conductividad eléctrica, Grajales-Conesa *et al.* (2018) determinaron valores altos para mieles de *M. beecheii* (0.5 a 0.66 mS cm⁻¹) y *Scaptotrigona mexicana* (0.47 a 0.76 mS cm⁻¹) para la región del Soconusco, Chiapas; para esta misma región Espinoza-Toledo, *et al.* (2018) obtuvieron valores mayores para mieles de *M. beecheii* (114 y 141 mS/cm) y de *S. mexicana* (372 a 1211 mS/cm), a diferencia de los de este estudio (Cuadro 4) que presentaron entre 0.15 y 0.22 mS/cm para ambas especies. Estos valores son similares a los resultados obtenidos por Martínez (2016), para *M. beecheii* de 0.20 y 0.23 mS/cm y para *S. mexicana* de 0.285 mS/cm, en la Cuenca del Balsas, Michoacán. Se requieren más estudios de este tipo en diferentes estados del país que permitan diferenciar regiones con base a este parámetro y relacionarlo con el origen botánico de las mieles.

pH

El pH es una característica importante en el proceso de extracción y almacenamiento, que ayuda a controlar el desarrollo de microorganismos, además de modificar características físicas, textura y viscosidad de las mieles (Correa, 2015 citado por Victoriano, 2019). Este parámetro varía en función de los ácidos presentes en las mieles como el glucónico, acético, butírico, láctico, entre otros (Rodríguez, 2014 citado por Victoriano, 2019), además del contenido de cenizas presentes. Los valores de pH en las muestras analizadas variaron entre 3.20 a 3.43 (Cuadro 4). El registro menor lo presenta una miel de *S. mexicana*, que también coincide con el valor menor de cenizas; mientras que el valor mayor corresponde a una muestra de *M. beecheii* y coincide con uno de los registros más altos de % de cenizas. Resultados semejantes los encontraron, en mieles del Soconusco, Chiapas, Grajales-Conesa *et al.* (2018) que en muestras de *S. mexicana* reportan pH de 3.65 a 4.05 y para las de *M. beecheii* de 3.64 a 4.50, aunque en ambas especies los valores son mayores a los determinados en este estudio. Por el contrario, para la misma región, Espinoza-Toledo *et al.* (2018) para las mieles de *S. mexicana* señalan un pH mayor (3.5 a 4.86) y para las de *M. beecheii* números menores (2.81 y 3.27). En el análisis de mieles de Guatemala, Dardón y Enríquez (2008) presentan resultados semejantes a los anteriores, en la miel de *S. mexicana* registraron un pH de 4.04 y para la de *M. beecheii* de 3.67. En particular para la miel de *M. beecheii* Mendieta Carrillo (2002), en Honduras, señala un valor de pH de 3.37, semejante a los obtenidos en este trabajo para la misma especie, a diferencia de Fonte *et al.* (2013) y Vit *et al.* (2006) que mencionan datos mayores de pH (3.6 y 4.07 respectivamente). Como se puede ver, los valores de pH obtenidos para las mieles de *M. beecheii* y *S. mexicana* por los diferentes autores de diferentes regiones de México y de otros países no muestran marcadas diferencias.

Color

El color de las mieles está relacionado con el origen botánico, siendo de gran relevancia la composición del néctar que liban las abejas; sin embargo, esta característica puede verse modificada por el proceso de obtención de la miel, la temperatura, así como por el tiempo de almacenamiento (Missio *et al.*, 2016 citado por Martínez, 2020). El color de la miel puede presentar variaciones que van desde tonos blancos hasta pardos oscuros, existen mieles rojizas, amarillentas o verdosas, predominando los tonos castaños claros o ambarinos (Marroquín, 2012 citado por Victoriano, 2019). Como se observa en el Cuadro 4, los resultados obtenidos permiten ubicar a las mieles analizadas por su luminosidad (L*) como mieles claras ya que los valores obtenidos son superiores a 50, en particular la muestra 5 de *Scaptotrigona mexicana* es la más clara (88.21). En cuanto a los valores de a* y b* que indican la colorimetría dada por pigmentos como las antocianinas, carotenoides y xantofilas; en el caso de a* las muestras 1 a la

5 tienden al verde pues muestran valores negativos y sólo la muestra 6 tiende al rojo ya que registra un valor superior a 0. En particular la muestra 6 tiene un valor muy superior al de las muestras restantes, esta miel fue la que tuvo menos tipos polínicos y como dominante a *Heliocarpus appendiculatus*. De acuerdo con (Szabó *et al.* (2016) el contenido de polen influye directamente en la coloración de la miel por lo que probablemente sea *H. appendiculatus* el responsable del color de esta. En cuanto a los resultados de b^* al ser mayores a 0 tienden a tonalidades amarillas, nuevamente es la muestra número 6 la que presenta el dato más alto (80.48). Los resultados obtenidos permiten determinar que las mieles analizadas son de origen floral, pues la coloración está dada por compuestos como polifenoles, flavonoides, aminoácidos y el contenido mineral presente en las plantas (Szabó *et al.*, 2016). Aunque el color es un parámetro importante para la caracterización de las mieles y de forma indirecta señalar su origen floral, no se registra en todos los trabajos como ocurre con el de Mendieta (2002); Dardón y Enríquez (2008); Marroquín (2012); Cahuich *et al.* (2015). En algunos estudios en donde se menciona Rodríguez (2014) (citada en Victoriano, 2019) se calcula con otra escala (Pfund); sin embargo, también concluyen que la miel de *M. beecheii* es muy clara.

CONCLUSIONES

El análisis polínico muestra la gran diversidad de recursos florales utilizados por *Melipona beecheii* y *Scaptotrigona mexicana*, tanto por polen como por néctar, siendo los más importantes *Spondias* sp. (Anacardiaceae), *Heliocarpus appendiculatus* (Malvaceae), *Piper* sp. (Piperaceae) y *Salix* sp. (Salicaceae). En marzo se tienen mieles monoflorales, mientras que en agosto son multiflorales, lo que se relaciona con la disponibilidad de recursos vegetales. Algunas de las características fisicoquímicas de las muestras de Teocelo no se ajustan a las señalados por la Norma Mexicana para la Miel de Abeja y el Codex Alimentarius para mieles de *Apis mellifera*; sin embargo, si corresponden a los encontrados por otros autores y las normas propuestas para los meliponinos. El color de las mieles es influenciado por los recursos vegetales utilizados por las abejas. Es necesario realizar estándares propios para las mieles de meliponinos lo cual permitirá darles un valor agregado a estas y por ende beneficiar a los meliponicultores para un comercio de tipo local o regional.

LITERATURA CITADA

- Alarcón Sorto, R. C., & Ibañez Salazar, L. C. (2008). Determinación de las características fisicoquímicas de la miel producida por las especies de abejas sin aguijón: *Melipona beecheii* (Jicota) y *Tetragonisca angustula* (Chumelo) de Meliponicultores de la zona norte del Departamento de Chalatenango. (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- Arcila, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En H. F. Ospina, & S. M. Marín, *Sistemas de producción de café en Colombia* (págs. 21-60). Cenicafe: Chinchiná.
- Arnold, N., Zepeda, R., Vásquez Dávila, M. A., & Aldasoro Maya, E. M. (2018). *Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México. Con catálogo de especies*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ayala, R. (2010). Abejas nativas de México. La importancia de su conservación. *Ciencia y Desarrollo*, 8-13.
- Biluca, F. C., Santos de Gois, J., Schulz, M., Braghini, F., Valdemiro Gonzaga, L., França Maltez, H., Fett, R. (2017). Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*(63), 89-97.
- Bonet Ferrer, M. E. (2016). Biodiversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) de la flora acompañante en un cafetal con manejo rústico y ecológico de la región subcaribeña

- (México, Mesoamérica) (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.
- Cahuich Kumul, R., Ruiz Ruiz, J. C., Ortiz Vázquez, E., & Segura Campos, M. R. (2015). Potencial antioxidante de la miel de *Melipona beecheii* y su relación con la salud: una revisión. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1432-1442.
- Castellano-Potenciano, B. P., Ramírez-Arriaga, E., & Zaldivar-Cruz, J. M. (2012). Análisis del contenido polínico de mieles producidas por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: apidae) en el estado de Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(1), 13-36.
- Castro Cruz, E. M. (2015). Evaluación de indicadores para la diferenciación de mieles provenientes de la zona cafetera de la sierra nevada de Santa Marta. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Cepeda-Valencia, J., Gómez, D., & Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes del café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 241-250.
- Dardón, M. J., & Enríquez, E. (2008). Caracterización fisicoquímica y antimicrobiana de la miel de nueve especies de abejas sin aguijón (Meliponini) de Guatemala. *Interciencia*, 33(12), 916-922.
- Díaz Caamaño, C. A. (2003). Determinación del origen floral y caracterización física y química de mieles de abeja (*Apis mellifera* L.), etiquetadas como "miel de ulmo" (*Eucryphia cordifolia* Cav.). Tesis Licenciado en Agronomía. Escuela de Agronomía. Universidad Austral de Chile.
- Erdtman, G. (1960). The acetolysis method. A revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 54(4), 561-564.
- Espinoza-Toledo, C., Vázquez-Ovano, A., Torres de los Santos, R., López-García, A., Albores-Flores, V., & Grajales-Conesa, J. (2018). Stringless bee honeys from Soconusco, Chiapas: a complementary approach. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1536-1546.
- Flores, F. F., & Sánchez, A. C. (2010). Primeros resultados de la caracterización botánica de mieles producidas por *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponinae) en Los Naranjos, Salta, Argentina. *Boletín de la Sociedad Botánica de Argentina*, 45(1-2), 81-91.
- Fonte, L., Díaz, M., Machado, R., Demedio, J., García, A., & Blanco, D. (2013). Caracterización físico-química y organoléptica de miel de *Melipona beecheii* obtenida en sistemas agroforestales. *Pastos y Forrajes*, 36(3), 345-349.
- Fonte, L., Milera, M., Demedio, J., & Blanco, D. (2012). Selectividad de pecoreo de la abeja sin aguijón *Melipona beecheii* Bennett en la EEPF "Indio Hatuey", Matanzas. 35(3), 333-342.
- Gamboa Abril, M. V. (2014). Estudio e identificación de características de composición y bioactividad propias de miel de mielato de *Apis mellifera*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Grajales-Conesa, J., Vandame, R., Santiesteban-Hernández, A., López-García, A., & Guzmán-Díaz, M. (2018). Propiedades fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de abejas sin aguijón del sur de Chiapas, México. *IBCIENCIAS*, 1(1), 1-7.
- Gutiérrez, M. G., Enríquez, E., Lusco, L., Rodríguez, A., Persano, L., & Vit, P. (2008). Caracterización de mieles de *Melipona beecheii* y *Melipona solani* de Guatemala. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 50(1), 2-6.
- Huang, T. (1972). *Pollen flora of Taiwan*. National Taiwan University, Botany Dept. Press.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. (s.f.). Teocelo, Veracruz de Ignacio de la Llave. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>
- Jaramillo Delgado, A. (2012). Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (*Coffea Arabica*: Rubiaceae) en tres sistemas de producción en el departamento de Antioquia. Tesis Magister en entomología. Universidad Nacional sede Medellín.
- Kapp, R. (1969). *How to know pollen and spores*. Dubuque, Iowa, United States of America: WM. C. Brown Company Publishers.
- Kerr, W. E., & Esch, H. (1965). Comunicação entre as abelhas sociais brasileiras e sua contribuição para o entendimento da sua evolução. *Cienc. Cult.* 17(4), 529-538.

- Lagos Burbano, T. C., & Benavides Arteaga, K. E. (2014). Biología reproductiva del balso blanco (*Heliocarpus americanus* L.). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas*, 18(2), 28-44.
- Lieux, M. H. (1972). A melissopalynological study of 54 Louisiana (U.S.A.) honeys. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 13(2), 95-124.
- Lindauer, M., & Kerr, E. (1960). Communication between the workers of stingless bees. *Bee World*(41), 29-41.
- López-Roblero, E., Espinoza-Toledo, C., López-García, J. A., Grajales-Conesa, J., & Quiroz-García, D. L. (2021). Floral resources collected by four native bees species in southern Mexico. *Grana*, 60(1), 57-68.
- Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of Melissopalynology. *Bee World*, 59(4), 139-157.
- Marroquín Navarro, T. A. (2012). Características biológicas de las abejas sin aguijón de las provincias de Chanchamayo y Satipo de la región- Junín. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
- Martínez López, J. D. (2016). Determinación por métodos analíticos de la calidad de la miel de abejas nativas sin aguijón (Apidae:Meliponini) en la Cuenca del Balsas, Michoacán, México. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez-Hernández, E., Cuadriello-Aguilar, J. I., Ramírez-Arriaga, E., Medina-Camacho, M., Sosa-Nájera, M. S., & Melchor-Sánchez, J. E. (1994). Foraging of *Nannotrigona testaceicornis*, *Trigona* (Tetragonisca) *angustula*, *Scaptotrigona mexicana* and *Plebeia* sp. in Tacaná region, Chiapas, Mexico. *Grana*(33), 205-217.
- Maurizio, A. (1949). Pollenanalytische Untersuchungen an Honing und Pollenhöshen. . *Beih. Schweiz. Bienen Zeit.*, 2(18), 320-445.
- Mendieta Carrillo, J. R. (2002). Comparación de la composición química de la miel de tres especies de abejas (*Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* y *Melipona beecheii*) de El Paraíso, Honduras. (Tesis de Licenciatura) Zamorano, Honduras.
- Missio, P., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Oliveira, A. C., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*(196), 309-323.
- Oliveira, M. C. (1973). Algumas observações sobre a atividade externa de *Plebeia saiqui* e *Plebeia droryana* (Hymenoptera, Meliponinae), MSc Thesis, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 79 pp.
- Palacios, R., Ludlow, B., & Villanueva, R. (1991). *Flora palinológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. Chetumal, Quintana Roo, México: Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Quezada-Euán, J. J. (2005). *Biología y uso de las abejas nativas sin aguijón de la península de Yucatán, México (Hymenoptera: meliponini)*. Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Ramalho, M., Imperatriz Fonseca, V. L., Kleinert-Giovannini, A., & Cortopassi-Laurino, M. (1985). Exploitation of floral resources by *Plebeia remota* Holmberg (Apidae, Meliponinae). *Apidologie*, 16(3), 307-330.
- Ramírez-Arriaga, E., & Martínez-Hernández, E. (2007). Melitopalynological Characterization of *Scaptotrigona mexicana* Guérin (Apidae: Meliponini) and *Apis mellifera* L. (Apidae: Apini) Honey Samples in Northern on Puebla State, Mexico. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(4), 377 - 391.
- Reyes-González, A. (2011). Conocimiento local y prácticas de manejo de las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en el municipio de Nocupétaro, Michoacán: Aportes desde la etnoecología para su conservación y manejo sustentable. (Tesis de licenciatura). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Morelia, Michoacán, México. doi:10.13140/2.1.1193.2966
- Rodríguez Suazo, G. E. (2014). Caracterización física, química y microbiológica de la miel de *Melipona beecheii*. (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Rodríguez, S., Manrique, A., & Velásquez, M. (2008). Diversidad de la comunidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera:Apidae:Meliponina) en bosque seco tropical en Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 26(4), 523-530.

Recibido:
1/marzo/2022

Aceptado:
13/julio/2022

- Roubik, D., & Moreno, J. (1991). Pollen and Spores of Barro Colorado Island. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*(36), 1-268.
- Stockmarr, J. (1971). Tablet with spores used in absolute pollen analysis. *13*(4), 615-621.
- Szabó, R., Mézes, M., Szalai, T., Zajác, E., & Weber, M. (2016). Colour identification of honey and methodical development of its instrumental measuring. *Columella Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *3*(1), 29-36.
- Victoriano, R. N. (2019). Revisión bibliográfica de las características microbiológicas, físicas y químicas de la miel del género *Melipona* que apoyan su uso medicinal en México. (Tesis de licenciatura). Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.
- Villanueva Gutiérrez, R. (2005). Subproyecto Néctar: En: Pozo de la Tijera, M del C y S. Calmé. (2005). Uso y monitoreo de los recursos naturales en el Corredor Biológico Mesoamericano (áreas focales Xpujil-Zoh Laguna y Carrillo Puerto). El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Informe final Subproyecto Néctar SNIB-CONABIO BJ002. México D. F.
- Villegas Durán, G., Bolaños Medina, A., Miranda Sánchez, J. A., & Zenón Abarca, A. J. (2000). Flora nectarífera y polínifera del Estado de Chiapas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Villegas, D. (2008). Plantas de importancia apícola registradas en México. (Tesina): Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. D.F. México.
- Vit, P. (2009). Caracterización fisicoquímica de mieles de abejas sin aguijón (meliponini) de Venezuela. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, *40*(2), 7-12.
- Vit, P., Enriquez, E., Barth, M., Matsuda, A., & Almeida, L. (2006). Necesidad del control de calidad de la miel de abejas sin aguijón. *MedULA, Revista de Facultad de Medicina, Universidad de Los Andes*, *15*(2), 89-95.
- Vit, P., González, I., Sorroza, L., & Pedro, S. R. (2016). Caracterización fisicoquímica de miel de angelita *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) producida en Esmeraldas, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, *9*(20), 77-84.
- Vit, P., Gutiérrez, M. G., Rodríguez-Malaver, A. J., Aguilera, G., Fernández-Díaz, C., & Tricio, A. E. (2009). Comparación de mieles producidas por la abeja yateí (*Tetragonisca fiebrigi*) en Argentina y Paraguay. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, *43*(2), 219-226.
- Vit, P., Medina, M., & Enríquez, M. E. (2004). Quality standarts for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico and Venezuela. *Bee World*, *85*(1), 2-5.
- Yuca-Rivas, R. (2017). Espectro polínico producido de la miel producida en Cuyo Grande (Valle Sagrado de los Incas, Cusco, Perú). *Ecología Aplicada*, *16*(1), 31-38.

COMPARACIÓN ANATÓMICA DE LA LÁMINA FOLIAR DE CINCO ESPECIES LEÑOSAS NATIVAS DEL NORESTE DE MÉXICO DURANTE LA ÉPOCA HÚMEDA Y SECA

LEAF BLADE ANATOMICAL COMPARISON OF FIVE NATIVE WOODY SPECIES OF NORTHEASTERN MEXICO DURING THE WET AND DRY SEASON

Filio-Hernández, E.; H. González-Rodríguez; I. Cantú-Silva; T.G. Domínguez-Gómez; J.G. Marmolejo-Monsivais y M.V. Gómez-Meza.

COMPARACIÓN ANATÓMICA DE LA LÁMINA FOLIAR DE CINCO ESPECIES LEÑOSAS NATIVAS DEL NORESTE DE MÉXICO DURANTE LA ÉPOCA HÚMEDA Y SECA.

LEAF BLADE ANATOMICAL COMPARISON OF FIVE NATIVE WOODY SPECIES OF NORTHEASTERN MEXICO DURING THE WET AND DRY SEASON.



COMPARACIÓN ANATÓMICA DE LA LÁMINA FOLIAR DE CINCO ESPECIES LEÑOSAS NATIVAS DEL NORESTE DE MÉXICO DURANTE LA ÉPOCA HÚMEDA Y SECA.

LEAF BLADE ANATOMICAL COMPARISON OF FIVE NATIVE WOODY SPECIES OF NORTHEASTERN MEXICO DURING THE WET AND DRY SEASON.

Filio-Hernández, E.;
H. González-Rodríguez;
I. Cantú-Silva;
T.G. Domínguez-Gómez;
J.G. Marmolejo-Monsivais
y M.V. Gómez-Meza.

COMPARACIÓN ANATÓMICA
DE LA LÁMINA FOLIAR DE
CINCO ESPECIES LEÑOSAS
NATIVAS DEL NORESTE DE
MÉXICO DURANTE LA
ÉPOCA HÚMEDA Y SECA.

LEAF BLADE
ANATOMICAL
COMPARISON OF FIVE
NATIVE WOODY SPECIES
OF NORTHEASTERN
MEXICO DURING THE WET
AND DRY SEASON.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 171-183 Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.11

E. Filio-Hernández

*Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Carr. Morelos S/N,
km 1.2, San Miguel el Grande, Tlaxiaco, Oaxaca, México.*

H. González-Rodríguez

I. Cantú-Silva

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carr. Nac. No. 85, km 145, CP 67700, Linares, Nuevo León, México.*

T.G. Domínguez-Gómez / gustavo_dguezg@hotmail.com

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto/División de Estudios
de Posgrado e Investigación. Mesa del Tecnológico S/N, Col. La Forestal.
El Salto, CP 34942, Durango, México. Tel: +52 (443)2029486.*

J.G. Marmolejo-Monsivais

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carr. Nac.
No. 85, km 145, Linares, CP 67700, Nuevo León, México.*

M.V. Gómez-Meza

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Economía, Calle Triste Esq.
Lázaro Cárdenas S/N, Las Torres, Monterrey, CP 64930, Nuevo León, México.*

RESUMEN: En México, los ecosistemas áridos y semiáridos conforman más del 50% de la superficie del país, donde los periodos de sequía limitan el crecimiento y la supervivencia de las plantas. El objetivo del presente estudio fue determinar los rasgos anatómicos de la lámina foliar de *Diospyros texana* (Ebenaceae), *Celtis laevigata* (Cannabaceae), *Bumelia celastrina* (Sapotaceae), *Condalia hookeri* (Rhamnaceae) y *Havardia pallens* (Fabaceae) en condiciones de su hábitat natural, durante la época húmeda y seca. Estas especies arbustivas tienen una gran importancia en los sistemas agroforestales y servicios ecosistémicos en la región noreste de México. Los resultados observados durante la época húmeda indicaron que *D. texana* presentó el mayor GCAD (5.21 μm), AE (23.54 μm) y LE (31.08 μm); por su parte, la especie *C. laevigata* mostró un mayor GES (18.07 μm), GPE (77.63 μm) y DE (523; No. de estomas $\cdot\text{mm}^{-2}$). Por otro lado, durante la época de seca, el mayor GCAD (10.41 μm), GCAB (6.90 μm), GPES (95.24 μm) y GTF (201.82 μm) se observaron en *B. celastrina*. Los valores máximos para el GEAD (19.75 μm), GEAB (9.95 μm) y GPE (80.85 μm) se presentaron en *C. laevigata*. La mayor correlación que se manifestó en las cinco especies fue entre el GTF con el GPE y el GPES, la cual, fue estadísticamente significativa ($p < 0.001$). *B. celastrina* y *H. pallens* son las especies que presentaron las mayores modificaciones anatómicas que son clave para tolerar periodos largos de sequía.

Palabras clave: ecosistemas áridos, características anatómicas, *Bumelia celastrina*, *Havardia pallens*.

ABSTRACT: In Mexico, the arid and semiarid ecosystems encompass more than 50% of the country surface, where the dry periods limit plant growth and survival. The objective of present study was focused to determine the leaf blade anatomical traits of *Diospyros texana* (Ebenaceae), *Celtis laevigata* (Cannabaceae), *Bumelia celastrina* (Sapotaceae), *Condalia hookeri* (Rhamnaceae) and *Havardia pallens* (Fabaceae) under natural habitat conditions during the wet and dry season. These woody plant species have a great role in the agroforestry systems as well as in the ecosystems services that they offer in the northeastern region of Mexico. The observed results during the wet season indicated that *D. texana* showed the highest ADCT (5.21 μm), SW (23.54 μm) and SL (31.08 μm). On the other hand, the species *C. laevigata* acquired a higher ADET (18.07 μm), TPP (77.63 μm) and SD (523; stomata- mm^{-2}). With respect to the dry season, the higher ADCT (10.41 μm), ABCT (6.90 μm), MT (95.24 μm) and TLT (201.82 μm) were achieved in *B. celastrina*. Maximum values for ADET (19.75 μm), ABET (9.95 μm) and TPP (80.85 μm) were observed in *C. laevigata*. The higher correlations observed in the five studied species were shown between TLT with TPP and MT, which was significant ($p < 0.001$). The species *B. celastrina* and *H. pallens* exhibited the higher anatomical traits differences which played a major role to withstand long periods of drought.

Key words: arid ecosystems, anatomical traits, *Bumelia celastrina*, *Diospyros texana*, *Havardia pallens*

INTRODUCCIÓN

En el noreste de México, se ubica el Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), un ecosistema semiárido el cual se desarrolla dentro de un régimen de precipitación promedio anual de 650 mm (González-Medrano, 2012), donde se desarrollan especies arbóreas y arbustivas (González-Rodríguez & Cantú-Silva, 2001), con características, mecanismos y estructuras anatómicas de adaptación a condiciones de secano (Qin, Shangguan, & Xi, 2018). Una de las principales adaptaciones es la modificación de los rasgos morfológicos y anatómicos foliares (Palchetti, Barboza, & Cosa, 2014). Por ello, las hojas son indicadores de la variabilidad climática que se hacen presentes en el ecosistema donde se desarrollan las plantas (Striker, 2012). Las especies arbóreas y arbustivas nativas que coexisten en regiones áridas y semiáridas, presentan características anatómicas de adaptación en el tejido foliar bajo condiciones de escasa humedad, algunas de estas características son laminas foliares gruesas, cutícula que recubre la periferia de la epidermis adaxial, modificación en los grosores del tejido esponjoso y de empalizada (Rotondi, Rossi, Asunis, & Cesaraccio, 2003). En este sentido, se han realizado estudios comparativos entre los rasgos anatómicos foliares de especies del MET, y su relación con su adaptación a la escasez de humedad en el suelo, en el noreste de México (Rodríguez, Maiti, & Kumari, 2016). Por tanto, el objetivo fue determinar los rasgos anatómicos de la lámina foliar de cinco especies arbóreas (*Diospyros texana*, *Celtis laevigata*, *Bumelia celastrina*, *Condalia hookeri* y *Havardia pallens*) durante la época húmeda y de sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó en una parcela experimental del MET, en el noreste de México, en las coordenadas geográficas 24°46'43" LN y 99°31'39" LO a 370 msnm. Cuenta con un clima semiárido (BSh). La precipitación media anual es 695 mm, las cuáles se presentan en verano en los meses de agosto y septiembre (García, 1988). La temperatura promedio anual varía de 14.7 °C a 22.3 °C con una mínima de 5 °C y con máxima de hasta 45 °C (verano) (García, 1998).

Selección de especies

De acuerdo con su importancia ecológica y económica, se eligieron las especies leñosas arbóreas, *Diospyros texana* Scheele. (Ebenaceae), *Celtis laevigata* Willd. (Cannabaceae),

Bumelia celastrina Kunth. (Sapotaceae), *Condalia hookeri* M.C. Johnst. (Rhamnaceae) y *Havardia pallens* Britton & Rose. (Fabaceae). De cada especie, fueron seleccionados cuatro individuos (repeticiones) con características fenotípicas y dasométricas similares.

Obtención del material vegetal foliar

Por cada individuo, se obtuvieron cuatro hojas maduras por orientación cardinal (Norte, Sur, Este, y Oeste) (Araque, Jaimez, Azócar, Espinoza, & Tezara, 2009). Las hojas fueron depositadas en bolsas de papel kraft para su traslado al laboratorio y llevar a cabo las determinaciones anatómicas de la lámina foliar. El estudio se realizó en dos condiciones ambientales; uno, durante la época húmeda (Octubre 31 de 2017) y el otro, durante la seca (Agosto 31 de 2018).

Preparación del material foliar

De cada hoja colectada, se extrajo la parte central, la cual se depositó en frascos etiquetados con una solución (65%, v/v) de FAA (formaldehído: ácido acético glacial: alcohol etílico (95%) (5:5:90) durante 48 horas (Johansen, 1940). Para medir el grosor de la cutícula y la epidermis en ambas caras, los parénquimas esponjoso y en empalizada, y el grosor total foliar de cada muestra, se realizaron cinco cortes transversales de forma manual con una navaja de afeitar, utilizando un estereoscopio (Leica, Modelo EZ4 HD), con un rango de aumento de 20x a 40x, los cuales fueron aclarados en una solución de cloro al 10 % (v/v) durante 20 minutos, para posteriormente ser colocados en un portaobjetos con una o dos gotas de glicerina fenolada al 50 % (v/v) y cubiertos con un cubreobjetos (Jensen, 1962). La determinación del largo y ancho de la estoma, así como la densidad estomática (número de estomas·mm⁻²), se empleó el método de impresiones, el cual consiste, en colocar una capa delgada de barniz de uñas transparente en la epidermis abaxial, dejándola secar entre 15 y 20 minutos, la cual se desprendió con una aguja de disección y se colocó en un portaobjetos. Posteriormente, se agregó glicerina fenolada al 50 % (v/v) y se cubrió con un cubreobjetos (Alfaro & Kohashi, 1976).

Observaciones y mediciones anatómicas

Con un microscopio (Carl Zeiss, Modelo AxioStar Plus), con ocular izquierdo micrométrico y con el objetivo de 40x de aumento, se midieron en los cortes el grosor (μm) de la cutícula adaxial (GCAD), la epidermis adaxial (GEAD), del parénquima esponjoso (GPES), del parénquima en empalizada (GPE), de la epidermis abaxial (GEAB), la cutícula abaxial (GCAB) y el grosor total foliar (GTF). Además, de las impresiones de la epidermis abaxial, se midió el largo (LE) y ancho (AE) de los estomas (μm) y se determinó la densidad estomática (DE, No. de estomas·mm⁻²).

Análisis estadístico

Dado que los supuestos de distribución normal e igualdad de varianzas de los datos no se cumplieron para cada una de las variables estudiadas en cada época, se usó la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$) para detectar diferencias significativas entre las especies (Ott, 2001). Asimismo, se empleó la prueba de correlación de Spearman por rangos (ρ , rho) ($p \leq 0.05$) para determinar el grado de asociación entre los rasgos anatómicos de cada especie (Ott, 2001). Además, se utilizó la prueba de Mann-Whitney U con la corrección de Bonferroni ($p \leq 0.05$) para comparar las medias de los distintos rasgos anatómicos foliares entre la época húmeda y seca (Ott, 2001). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, por sus siglas en inglés, versión 22. SPSS Inc., IL, USA).

RESULTADOS

Anatomía de la lámina foliar en época húmeda

Durante la época húmeda, la especie *D. texana* presentó el mayor GCAD (5.21 μm), AE (23.54 μm) y LE (31.08 μm). Por otro lado, *C. laevigata* mostró un mayor GEAD (18.07 μm), GPE

(77.63 μm) y DE (523; No. de estomas· mm^{-2}). Finalmente, el mayor GEAB (9.80 μm), GPES (103.05 μm) y GTF (206.57 μm) se observaron en *B. celastrina*. En cambio, *D. texana* mostró el menor GPE (76.60 μm) y DE (159; No. de estomas· mm^{-2}). La especie *C. laevigata* presentó el menor GPES (45.78 μm). Asimismo, la especie *C. hookeri* reflejó el menor GTF (137.50 μm), AE (12.56 μm) y LE (22.20 μm). En cambio, el menor GCAD (3.22 μm), GCAB (3.52 μm), GEAD (5.05 μm) y GEAB (6.28 μm) se observó en *H. pallens* (Figs. 1 y 2). Se detectaron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las especies para todos los rasgos anatómicos estudiados (Cuadro 1). Respecto a la época húmeda, en *D. texana*, el GTF se correlacionó significativamente con el GCAD ($\rho = 0.555$, $p = 0.025$), GPE ($\rho = 0.806$, $p < 0.001$) y el GPES ($\rho = 0.627$, $p = 0.009$). Para la especie *C. laevigata*, el GTF mostró correlación negativa con el GEAD ($\rho = -0.599$, $p = 0.014$) y positiva con el GPE ($\rho = 0.705$, $p = 0.002$), el GPES ($\rho = 0.893$, $p < 0.001$) y el AE ($\rho = 0.661$, $p = 0.005$). Por otro lado, el AE se correlacionó positivamente con el GEAD ($\rho = 0.640$, $p = 0.008$), GPES ($\rho = 0.529$, $p = 0.035$) y el LE ($\rho = 0.756$, $p = 0.001$). Para la especie *B. celastrina*, se detectó correlación positiva y significativa entre el GEAB y el GCAD ($\rho = 0.516$, $p = 0.041$), el GPES y el GPE ($\rho = 0.594$, $p = 0.015$). Así mismo, el GTF se correlacionó positiva y significativamente con el GPE ($\rho = 0.815$, $p < 0.001$) y con el GPES ($\rho = 0.901$, $p < 0.001$). En lo que respecta a *C. hookeri*, se observaron correlaciones positivas entre el GTF con el GPE ($\rho = 0.776$, $p < 0.001$), GPES ($\rho = 0.666$, $p = 0.005$) y la DE ($\rho = 0.536$, $p = 0.032$). Similarmente, se detectó una correlación positiva entre el AE y el GEAD ($\rho = 0.530$, $p = 0.035$) y la DE con el GPES ($\rho = 0.271$, $p = 0.025$). Finalmente, en la especie *H. pallens* el GPE se encontraron correlaciones positivas y significativas con el GPES ($\rho = 0.521$, $p = 0.038$) y el GTF ($\rho = 0.965$, $p < 0.001$). Así mismo, el GPES se correlacionó positivamente con GTF ($\rho = 0.688$, $p = 0.003$) y negativamente con el AE ($\rho = -0.533$, $p = 0.033$).

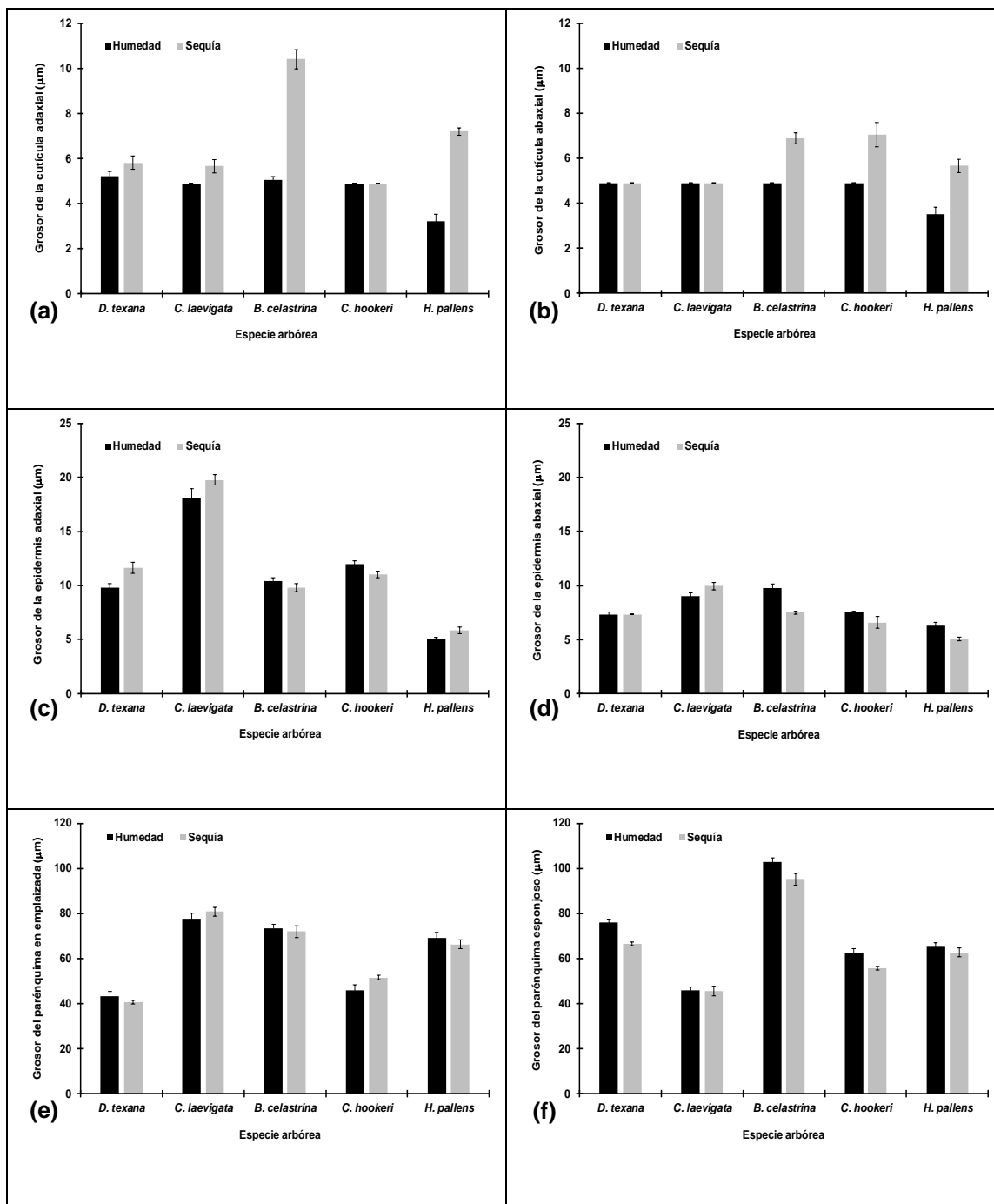


Fig. 1. Grosor de la cutícula adaxial (a) y abaxial (b), grosor de la epidermis adaxial (c) y abaxial (d), grosor del parénquima en empalizada (e) y esponjoso (f) en el tejido foliar en la época húmeda (barra negra) y época de sequía (barra gris). Cada valor graficado representa la media \pm error estándar (n=16).

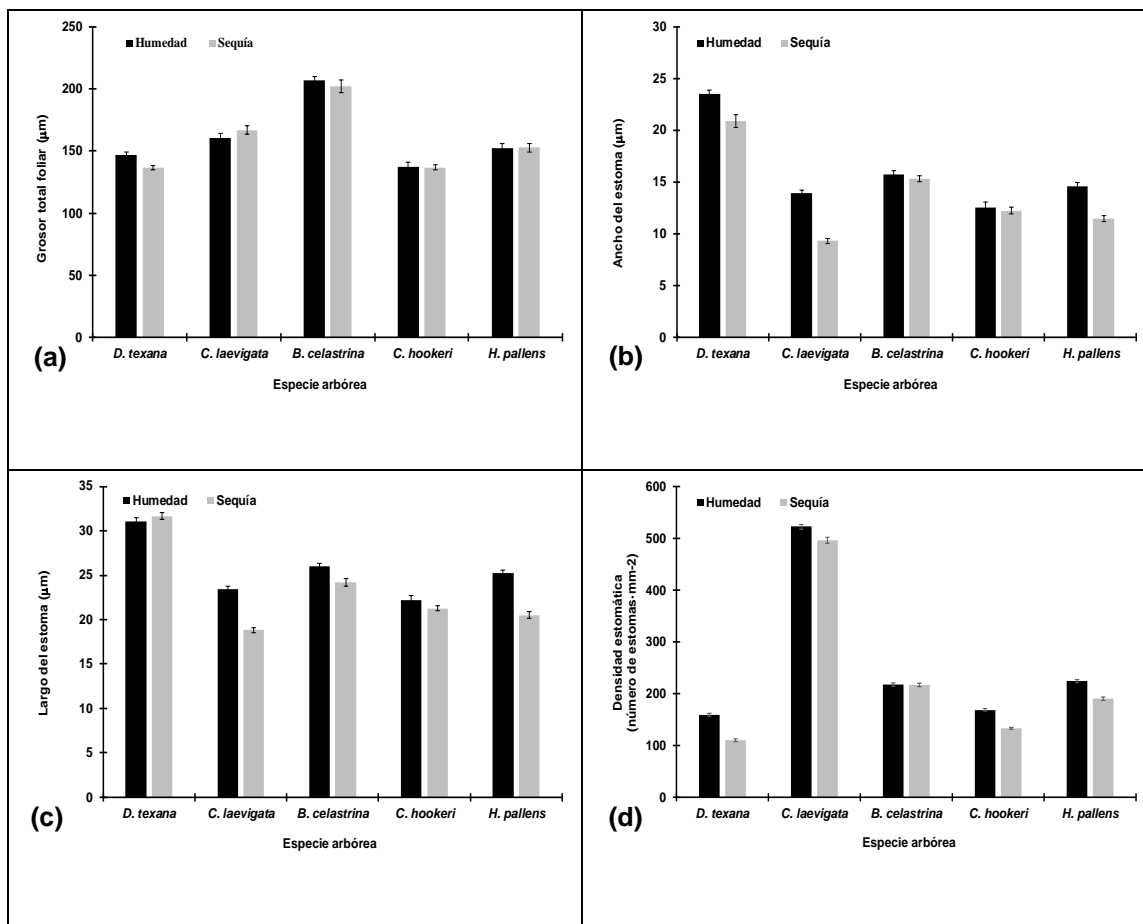


Fig. 2. Grosor total foliar (a), ancho del estoma (b), largo de la estoma (c) y densidad estomática (d) durante la época húmeda (barra negra) y época de sequía (barra gris). Cada valor graficado representa la media \pm error estándar (n=16).

Cuadro 1. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias estadísticas en los rasgos anatómicos entre las cinco especies de plantas arbóreas durante la época húmeda y de sequía.

| Rasgo Anatómico | Época húmeda | | Época de sequía | |
|-----------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| | χ^2 | Valor <i>p</i> | χ^2 | Valor <i>p</i> |
| GCAD | 43.764 | <0.001 | 57.642 | <0.001 |
| GCAB | 40.056 | <0.001 | 34.230 | <0.001 |
| GEAD | 67.402 | <0.001 | 64.859 | <0.001 |
| GEAB | 49.145 | <0.001 | 52.114 | <0.001 |
| GPE | 54.098 | <0.001 | 64.818 | <0.001 |
| GPES | 66.815 | <0.001 | 59.132 | <0.001 |
| GTF | 48.322 | <0.001 | 60.153 | <0.001 |
| AE | 56.038 | <0.001 | 71.133 | <0.001 |
| LE | 61.232 | <0.001 | 65.919 | <0.001 |
| DE | 69.381 | <0.001 | 74.512 | <0.001 |

GCAD (grosor de cutícula adaxial), GCAB (grosor de la cutícula abaxial), GEAD (grosor de la epidermis adaxial), GEAB (grosor de la epidermis abaxial), GPE (grosor del parénquima en empalizada), GPES (grosor del parénquima esponjoso), GTF (grosor total foliar), AE (ancho del estoma), LE (largo del estoma) y DE (densidad estomática).

Anatomía de la lámina foliar en época seca

El mayor GCAD (10.41 μm), GCAB (6.90 μm), GPES (95.24 μm) y GTF (201.82 μm) se presentó en la especie *B. celastrina*; mientras que, los valores máximos para el GEAD (19.75 μm), GEAB (9.95 μm) y GPE (80.85 μm) se observaron en *C. laevigata*. La mayor longitud del AE (20.91 μm) y LE (31.68 μm) se presentaron en *D. texana*. En cambio, *D. texana* mostró el menor GPE (66.48 μm) y DE (110; No. de estomas·mm⁻²) siendo diferente a *C. laevigata*, quien presentó el menor LE (18.83 μm) y AE (9.34 μm). Por otro lado, la especie *C. hookeri* mostró el menor GCAD (4.90 μm), GCAB (7.04 μm) y GTF (136.89 μm). Finalmente, la especie *H. pallens* presentó el menor GEAD (7.20 μm) y GEAB (5.67 μm) (Fig. 1). La variación de las longitudes en los rasgos anatómicos permitió que se detectaran diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las especies (Cuadro 1). Por otro lado, durante la época de sequía, para la especie *D. texana*, el GTF se correlacionó estadística y positivamente con el GPES ($\rho = 0.841$, $p < 0.001$), así como la DE mostró una correlación negativa y significativa con la LE ($\rho = -0.660$, $p = 0.005$). Respecto a la especie *C. laevigata*, el GTF mostró una correlación con el GPE ($\rho = -0.715$, $p = 0.002$) y el GPE ($\rho = 0.787$, $p < 0.001$). Similarmente, el GEAB se correlacionó positivamente con el GEAD ($\rho = 0.497$, $p = 0.050$). Para la especie *B. celastrina*, se detectó una correlación negativa entre el GEAB y el GCAB ($\rho = -0.537$, $p = 0.032$) y una asociación positiva entre el GPES y el GPE ($\rho = 0.561$, $p = 0.024$), mientras que el GTF se correlacionó positivamente con el GEAD ($\rho = 0.499$, $p = 0.049$), el GPE ($\rho = 0.839$, $p < 0.001$) y con el GPES ($\rho = 0.881$, $p < 0.001$). En *C. hookeri*, el GEAB mostró correlación negativa y significativa entre el GCAB ($\rho = -0.885$, $p < 0.001$) y el AE ($\rho = -0.575$, $p = 0.020$). El AE mostró correlación positiva entre el GCAB ($\rho = 0.580$, $p = 0.018$) y negativa con el GEAD ($\rho = -0.500$, $p = 0.049$), al igual que, el GTF se correlacionó positivamente con el GPES ($\rho = 0.811$, $p < 0.001$). Finalmente, en la especie *H. pallens*, el GCAB mostró correlación negativa con el GEAD ($\rho = -0.522$, $p = 0.038$). Así mismo, el GTF se correlacionó positivamente con GPE ($\rho = 0.676$, $p = 0.004$) y el GPES ($\rho = 0.707$, $p = 0.002$). Durante la época de sequía, las especies mostraron un incremento en diferentes rasgos anatómicos; *D. texana*, *C. laevigata*, *B. celastrina* y *H. pallens*, en el GCAD (Figura 1a); *B. celastrina*, *C. hookeri* y *H. pallens*, en el GCAB (Fig. 1b); *D. texana*, *C. laevigata* y *H. pallens*, en el GEAD (Fig. 1c); *C. laevigata*, en el GEAB (Fig. 1d); *C. laevigata* y *C. hookeri*, en el GPE (Fig. 1e); *C. laevigata*, en el GTF (Fig. 2a); y *D. texana*, en el LE (Fig. 2c). Por el contrario, se observó una reducción en el grosor de siete rasgos en las diferentes especies: *B. celastrina* y *C. hookeri*, en el GEAD (Fig. 1c); *B.*

celastrina, *C. hookeri* y *H. pallens*, en el GEAB (Fig. 1d); *D. texana* y *H. pallens*, en el GPE (Fig. 1e); *D. texana*, *B. celastrina*, *C. hookeri* y *H. pallens*, en el GPES (Fig. 1f); *D. texana* y *B. celastrina*, en el GTF (Fig. 2a); *D. texana*, *C. laevigata* y *H. pallens* en el AE (Fig. 2b); *C. laevigata*, *B. celastrina*, *C. hookeri* y *H. pallens*, en el LE (Fig. 2c); y *D. texana*, *C. laevigata*, *C. hookeri* y *H. pallens* en la DE (Fig. 2d). En relación con lo anterior, las especies que mostraron diferencias entre la época húmeda y de sequía, tal es el caso para *D. texana*, quien mostró diferencias en el GEAD ($p=0.029$), GPES ($p<0.001$), GTF ($p=0.015$), AE ($p<0.001$) y la DE ($p=0.001$). Por otro lado, la especie *C. laevigata* mostró diferencias en los rasgos como el AE ($p<0.001$), LE ($p<0.001$) y la DE ($p<0.001$). Las diferencias para *B. celastrina* se mostraron en GCAD ($p<0.001$), GCAB ($p<0.001$), GEAB ($p<0.001$), GPES ($p=0.023$) y en el LE ($p=0.007$); para *C. hookeri*, los rasgos que mostraron diferencias fueron el GCAB ($p=0.006$), GPES ($p=0.019$) y la DE ($p<0.001$); por último, *H. pallens* mostró diferencias significativas en el GCAD ($p<0.001$), GCAB ($p<0.001$), GEAB ($p=0.015$), AE ($p<0.001$), LE ($p<0.001$) y en la DE ($p<0.001$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores Z y p de la prueba de Mann-Whitney U para detectar diferencias significativas entre la época húmeda y de sequía para diferentes rasgos anatómicos de cinco especies arbóreas.

| Rasgo anatómico | Estadístico | Especie arbórea | | | | |
|-----------------|-------------|------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| | | <i>D. texana</i> | <i>C. laevigata</i> | <i>B. celastrina</i> | <i>C. hookeri</i> | <i>H. pallens</i> |
| GCAD | Valor Z | -1.607 | -2.396 | -5.118 | 0.000 | -5.128 |
| | Valor p | 0.239 | 0.138 | <0.001 | 1.000 | <0.001 |
| GCAB | Valor Z | 0.000 | 0.000 | -4.605 | -3.436 | -3.779 |
| | Valor p | 1.000 | 1.000 | <0.001 | 0.006 | <0.001 |
| GEAD | Valor Z | -2.429 | -1.922 | -1.202 | -2.010 | -2.104 |
| | Valor p | 0.029 | 0.073 | 0.341 | 0.073 | 0.138 |
| GEAB | Valor Z | 0.000 | -1.873 | -4.471 | -1.837 | -3.003 |
| | Valor p | 1.000 | 0.128 | <0.001 | 0.102 | 0.015 |
| GPE | Valor Z | -0.758 | -1.335 | -0.248 | -1.852 | -0.891 |
| | Valor p | 0.468 | 0.196 | 0.809 | 0.073 | 0.381 |
| GPES | Valor Z | -3.768 | -0.268 | -2.257 | -2.358 | -0.609 |
| | Valor p | <0.001 | 0.809 | 0.023 | 0.019 | 0.564 |
| GTF | Valor Z | -2.417 | -1.208 | -0.585 | -0.264 | -0.170 |
| | Valor p | 0.015 | 0.239 | 0.564 | 0.809 | 0.867 |
| AE | Valor Z | -3.469 | -5.112 | -1.099 | -0.590 | -4.499 |
| | Valor p | 0.001 | <0.001 | 0.381 | 0.616 | <0.001 |
| LE | Valor Z | -1.242 | -5.019 | -2.909 | -1.358 | -4.997 |
| | Valor p | 0.287 | <0.001 | 0.007 | 0.224 | <0.001 |
| DE | Valor Z | -4.845 | -3.170 | -0.038 | -4.855 | -4.660 |
| | Valor p | <0.001 | <0.001 | 0.985 | <0.001 | <0.001 |

GCAD (grosor de la cutícula adaxial), GCAB (grosor de la cutícula abaxial), GEAD (grosor de la epidermis adaxial), GEAB (grosor de la epidermis abaxial), GPE (grosor del parénquima en empalizada), GPES (grosor del parénquima esponjoso), GTF (grosor total foliar), AE (ancho del estoma), LE (largo del estoma) y DE (densidad estomática).

DISCUSIÓN

Las diferentes condiciones ambientales prevaecientes durante la época húmeda (condiciones favorables) y de sequía (condiciones adversas) propició que existieran modificaciones en el grosor de los rasgos anatómicos foliares de las cinco especies estudiadas, mostrando un comportamiento típico de plantas xeromórficas. Estas alteraciones son adaptaciones a las condiciones climáticas del ecosistema donde se desarrollan, cuyo factor principalmente es la baja disponibilidad de agua en el suelo causada por las bajas precipitaciones (Qin, Shangguan,

& Xi, 2018). En este sentido, la presencia de una cutícula gruesa en la parte adaxial y abaxial para *B. celastrina* y *H. pallens* durante la época de sequía, infiere que estas especies pueden mostrar la capacidad de evitar la desecación (Ramirez & Goyes, 2005). Este engrosamiento se puede deber, en parte, a que en la temporada de baja precipitación y humedad edáfica se acumulan ceras epicuticulares que recubren las células epidérmicas (Rodríguez, Maiti, & Kumari, 2016), reduciendo la pérdida de agua de los tejidos internos de la hoja (Rueda, 2003), provocada por la excesiva radiación solar y altas temperaturas (Marín, Rengifo, Herrera, & Tezara, 2005), permitiendo a estas especies mantener una regulación de su balance hídrico. En este contexto, resultados similares han sido reportados en el género *Calatropis* en temporadas de escasa precipitación (Colombo, Marin, Irazábal, & Tezara, 2007). Por su parte, el grosor de la epidermis adaxial y abaxial de *C. laevigata*, difiere a lo encontrado en *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm, donde la especie mostró valores en el rango de 32.7 μm a 22.3 μm un ecosistema similar al Matorral Espinoso Tamaulipeco (Nughes, Colares, Hernández, & Arambarri, 2013). Lo anterior, pueden estar relacionado a que *C. laevigata* utiliza como estrategia a la desecación, la abscisión foliar en condiciones de sequía (Qin, Shangguan, & Xi, 2018). No obstante, sus hojas siguen mostrando a las de la época favorable, características anatómicas y morfológicas típicas de ambientes semiáridos (Castro & Granada, 2012). Estos resultados, concuerdan a lo reportado para plantas caducifolias como *Cedrela odorata* L., *Cordia thaisiana* G. Agostini, *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC. y *Swietenia macrophylla* King (Araque, Jaimez, Azócar, Espinoza, & Tezara, 2009) cuyos valores de la epidermis adaxial y abaxial están dentro de los rangos observados en el presente estudio. En general, durante la época húmeda y de sequía, *C. laevigata*, mostró mayor grosor en el parénquima en empalizada, lo que hace suponer que esta especie, tiene un mayor número de células fotosintetizantes o podrían ser más largas (Oguichi, Onoda, Terashima, & Tholen, 2018), que de acuerdo con lo observado sería la razón por la cual son plantas de dimensiones mayores en cuanto a sus variables dasométricas como diámetro y altura que el resto de las especies evaluadas. Sin embargo, al contar con un bajo espesor del parénquima esponjoso en relación al de empalizada, esta especie pudiera estar en desventaja, ya que puede presentar un rápido intercambio de gases, el cual puede ser perjudicial en condiciones de periodos largos de sequía, causando deshidratación excesiva de sus tejidos y por ende la senescencia (Oguichi, Onoda, Terashima, & Tholen, 2018). Por otro lado, *D. texana*, *B. celastrina* y *C. hookeri* presentaron un mayor grosor del parénquima esponjoso que el parénquima en empalizada, que quizá les permita reducir el intercambio de vapor de agua por el flujo transpiracional (Rodríguez, Maiti, & Kumari, 2016). Este proceso se puede asociar con su lento crecimiento y a las variables dasométricas mínimas en cuanto a diámetro y altura en comparación con la especie *C. laevigata*. En este sentido (Delbón *et al.*, 2010), en un estudio realizado en diferentes especies arbustivas en la región semiárida de Sierras Chicas de Córdoba, Argentina, se encontró que las características anatómicas foliares presentaron un mayor espesor del parénquima en empalizada, reducción del tejido esponjoso, un alto grado de xeromorfismo, mayor intercambio de gases y alta eficiencia en la fotosíntesis. En el presente trabajo, durante la época de sequía, se observó una disminución de las dimensiones de los estomas (largo y ancho) en *D. texana*, *C. laevigata* y *H. pallens*, lo cual está estrechamente relacionada con la resistencia estomática al proceso de la transpiración (Toral, Manriquez, Navarro, Tersi, & Naulin, 2010). En este contexto, la disminución del tamaño de las estomas juega un papel importante en el proceso de aclimatación de las especies vegetales a condiciones de déficit hídrico, haciéndose presente una relación inversa entre las dimensiones del estoma y el estrés hídrico (Aasamaa, Sober, & Rahi, 2001), lo que hace suponer que *D. texana*, *C. laevigata* y *H. pallens* pueden tener la capacidad de tolerar períodos largos de baja disponibilidad de agua en el suelo. Por tanto, la morfología de los estomas de diferentes especies vegetales son rasgos importantes que les faculta controlar la pérdida excesiva de agua, lo que les ha permitido adaptarse a los cambios de las condiciones ambientales extremas del sitio donde se desarrollan (Pivovarovoff, Cook, & Santiago, 2018). La disminución de las dimensiones de las estomas de las especies estudiadas, coincide con lo reportado en *Sequoia sempervirens* D. Don) Endl donde existió una disminución de las dimensiones estomáticas en relación a mayor densidad aparente y menor profundidad del suelo, así como a una menor humedad atmosférica y de precipitación en las diferentes localidades de

estudio, lo cual permitió una mayor plasticidad fenotípica y de aclimatación a condiciones ambientales contrastantes (Toral, Manriquez, Navarro, Tersí, & Naulin, 2010). Por otro lado, una alta densidad estomática observada en *C. laevigata*, *B. celastrina* y *H. pallens* durante la época húmeda respecto a *D. texana* y *C. hookeri* indicó que estas especies tendrían una mayor conductancia al CO₂ y por ende, mayor eficiencia fotosintética (Nughes, Colares, Hernández, & Arambarri, 2013). Sin embargo, la reducción del número de estomas por área foliar en condiciones de déficit hídrico sería una desventaja, ya que incrementaría la resistencia estomática y reduciría la transpiración evitando que las especies puedan absorber CO₂ para su fijación durante el proceso fotosintético (Nakata & Okada, 2013). En este sentido, los valores del área foliar (cm²) de las cinco especies estudiadas (*D. texana*, 7 cm²; *C. laevigata*, 27 cm²; *B. celastrina*, 5 cm²; *C. hookeri*, 4 cm² y *H. pallens*, 15 cm²) (Rodríguez *et al.*, 2015), la reducción de la densidad estomática y la dimensión de los estomas durante la época seca pueden estar relacionadas con los altos potenciales hídricos al mediodía reportados en *B. celastrina* y *C. hookeri* (González Rodríguez *et al.*, 2016), cuando las condiciones ambientales de los componentes de demanda evaporativa fueron elevadas; resultado donde a mayor área foliar se presenta menor control estomático (Sperry, Hacke, Oren, & Comstock, 2002), por lo que una disminución en esta característica morfológica podría ayudar a reducir eficazmente el área de la transpiración (Librija Trejo, Perez García, Meave, Bongers, & Poorter, 2010). Con respecto a los resultados obtenidos para el grosor total foliar, se encontró que en la especie *B. celastrina* mantiene un espesor foliar mayor durante la época húmeda y seca, esto, debido a un mayor grosor de los tejidos que conforman el mesófilo (Colombo, Marin, Irazábal, & Tezara, 2007). Lo anterior puede dar respuesta a las correlaciones existentes entre los rasgos anatómicos durante la época húmeda y de sequía para las cinco diferentes especies, donde la mayor correlación existió entre el GTF con el GPE y el GPES. Estos resultados son similares a los obtenidos en *Cedrela odorata*, *Cordia thaisiana*, *Tabebuia rosea* y *Swietenia macrophylla*, donde encontraron valores del grosor total foliar de 279 µm, 214 µm, 189 µm y 221 µm, respectivamente (Araque, Jaimez, Azócar, Espinoza, & Tezara, 2009). La reducción del grosor total foliar durante la época de sequía en comparación a la época húmeda en *D. texana* puede indicar que un grosor mayor puede estar ligado a la disponibilidad hídrica en el suelo durante la época húmeda (Onoda, Richards, & Westoby, 2012). Asimismo, la correlación positiva existente entre la DE con el LE y AE solo en *C. hookeri* difiere con lo reportado en *Pereskia guamacho* (Edwards & Díaz, 2006), donde la densidad estomática y el tamaño de los estomas en las plantas mostraron una relación negativa y significativa. Las cinco especies estudiadas revelan rasgos anatómicos foliares que les permite hacer frente a períodos de sequía que se presentan en los ecosistemas semiáridos, como el MET en el noreste de México, lo que les permite sobrevivir, crecer y desarrollarse. No obstante, *B. celastrina* y *H. pallens* son las especies más responsivas en cuanto a las modificaciones de las variables antes mencionadas.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que efectivamente las especies presentan modificaciones en sus características anatómicas foliares que les ha permitido adaptarse a las condiciones de sequía prevaleciente en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, concediéndoles sobrevivir en este tipo de ecosistema. El menor grosor del parénquima esponjoso, cutícula adaxial y abaxial en *C. laevigata* y *D. texana*, pueden ser características desfavorables que no les permitan hacer frente a períodos largos de sequía, sin embargo, la reducción de su densidad estomática y dimensiones de sus estomas, pueden ser responsables de que estas especies mantengan su crecimiento y desarrollo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. De acuerdo con los resultados observados, la disminución del número de estomas por área de las cinco especies, así como sus dimensiones durante la época de sequía, son respuestas adaptativas que permite a las especies evadir esta condición desfavorable. Finalmente, de acuerdo con las características evaluadas, se puede inferir que las especies arbóreas *B. celastrina* y *H. pallens* están mejor adaptadas y pueden tolerar períodos más largos de sequía, dado que presentaron modificaciones en su estructura anatómica, la cual les permite evitar en gran medida la deshidratación de sus tejidos.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación, de los proyectos con clave A1-S-44878 y 250732.

LITERATURA CITADA

- Aasamaa, K., Sober, A., & Rahi, M. (2001). Leaf anatomical characteristics associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. *Functional Plant Biology*, 28(8), 765-774. doi:10.1071/PP00157
- Alfaro, C., & Kohashi, J. (1976). Distribución de estomas en la primera hoja de plántulas de cuatro razas de maíz (*Zea mays*). *Agrociencia*, 24, 3-22.
- Araque, O., Jaimez, R., Azócar, C., Espinoza, W., & Tezara, W. (2009). Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. *Interciencia*, 34(10), 725-729. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913147008.pdf>
- Castro, M., & Granada, W. (2012). Anatomía foliar de especies de *Bursera* Jacq. (Burseraceae) presentes en Venezuela, sus implicaciones taxonómicas y ecológicas. *Ernstia*, 20(2), 89-106. Obtenido de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_erns/article/view/1743/1621
- Colombo, R., Marin, O., Irazábal, S., & Tezara, W. (2007). Relaciones hídricas, fotosíntesis, y anatomía foliar de dos especies del género *Calotropis*. *Interciencia*, 32(11), 791-796. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442007001100014&lng=es&nrm=iso
- Delbón, N., Cortez, M. A., Castello, L., Rios, J. C., Risso, M. J., . . . Cosa, M. T. (2010). Anatomía foliar y estrategias adaptativas en especies arbustivas de las Sierras Chicas de Córdoba, Argentina. *Arnaldoa*, 17(1), 41-49. Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/125891#page/46/mode/1up>
- Edwards, E. J., & Díaz, M. (2006). Ecological physiology of *Pereskia guamacho*, a cactus with leaves. *Plant, Cell and Environment*, 29(2), 247-256. doi:10.1111/j.1365-3040.2005.01417.x
- García, E. (1998). *Modificaciones al sistema Köppen-García (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. D.F: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- González Rodríguez, H., Himmelsbach, W., Sarquis Ramírez, J. I., Cantú Silva, I., Ramirez Lozano, R., & Lopez Hernández, J. M. (2016). Seasonal water relations in four co-existing native shrub species from Northeastern Mexico. *Arid Land Research and Management*, 30(4), 375-388. doi:10.1080/15324982.2015.1133726
- González-Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Obtenido de <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/218>
- González-Rodríguez, H., & Cantú-Silva, I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 5(4), 454-461. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/891/>
- Jensen, W. A. (1962). *Botanical histochemistry: principles and practice*. San Francisco: Freeman. doi:10.1126/science.140.3567.634-a
- Johansen, D. (1940). *Plant microtechnique*. New York, USA: McGraw-Hill Book. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2004839](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2004839)

Recibido:
28/septiembre/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- Librija Trejo, E., Perez García, E. A., Meave, J. A., Bongers, F., & Poorter, L. (2010). Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. *Ecology*, *91*(2), 386-398. doi:10.1890/08-1449.1
- Marín, O., Rengifo, E., Herrera, A., & Tezara, W. (2005). Seasonal changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy of two species growing along a natural CO₂ gradient. *Interciencia*, *30*(1), 33-38. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33910007.pdf>
- Nughes, L., Colares, M., Hernández, M., & Arambarri, A. (2013). Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (Celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia*, *22*(2), 159-170. doi:10.30972/bon.2221245
- Oguchi, R., Onoda, Y., Terashima, I., & Tholen, D. (2018). Leaf anatomy and function. In: *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis*. Springer, Cham, 97-139. doi:10.1007/978-3-319-93594-2_5
- Onoda, Y., Richards, L., & Westoby, M. (2012). The importance of leaf cuticle for carbon economy and mechanical strength. *New Phytologist*, *196*(2), 441-447. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04263.x
- Ott, R. L. (2001). *An introduction to statistical methods and data analysis* (5th ed.). Belmont California: Duxbury Press. Obtenido de <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/ECD363/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1/Statistical%20Methods%20and%20Data%20Analysis%205Ed.pdf>
- Palchetti, V., Barboza, E., & Cosa, T. (2014). Anatomía foliar en especies de *Capsicum* (Solanaceae) de diferentes ambientes biogeográficos Sudamericanos. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, *49*(3), 417-436. doi:10.31055/1851.2372.v49.n3.9473
- Pivovarov, A. L., Cook, V. M., & Santiago, L. S. (2018). Stomatal behaviour and stem xylem traits are coordinated for woody plant species under exceptional drought conditions. *Plant, Cell and Environment*, *41*(11), 2617-2626. doi:10.1111/pce.13367
- Qin, J., Shangguan, Z., & Xi, W. (2018). Seasonal variations of leaf traits and drought adaptation strategies of four common woody species in South Texas, USA. *Journal of Forestry Research*, *30*(3), 715-725. doi:10.1007/s11676-018-0742-2
- Ramirez, B., & Goyes, A. (2005). *Botánica. Generalidades, morfología y anatomía de las plantas superiores*. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca. Obtenido de https://www.academia.edu/42708928/BOT%3%81NICA_GENERALIDADES_MORFOLOG%3%8DA_Y_ANATOM%3%8DA_DE_PLANTAS_SUPERIORES
- Rodriguez, H., Maiti, R., & Kumari, A. (2016). Research advances on leaf and wood anatomy of woody species of a Tamaulipan thorn scrub forest and its significance in taxonomy and drought resistance. *Forest Research*, *5*(3), 183. doi:10.4172/2168-9776.10
- Rodriguez, H., Maiti, R., Dueñas, A., Gonzalez, L., Isabel, M., Gonzalez, J., & Kumari, A. (2015). Variation in leaf traits of 34 trees and shrubs in summer season in Linares, North-Eastern Mexico. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, *6*(6), 707-718. doi:10.5958/0976-4038.2015.00109.8
- Rotondi, A., Rossi, F., Asunis, C., & Cesaraccio, C. (2003). Leaf xeromorphic adaptations of some plants of a coastal Mediterranean Macchia Ecosystem. *Journal of Mediterranean Ecology*, *4*(3-4), 25-35. Obtenido de Disponible en: <http://www.jmecology.com/wp-content/uplo>
- Sperry, J. S., Hacke, U. G., Oren, R., & Comstock, J. P. (2002). Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and Environment*, *25*(2), 251-263. doi:10.1046/j.0016-8025.2001.00799.x
- Striker, G. (2012). Time is on our side: the importance of considering a recovery period when assessing flooding tolerance in plants. *Ecological Research*, *27*(5), 983-987. doi:10.1007/s11284-012-0978-9
- Toral, M., Manriquez, A., Navarro, R., Tersí, D., & Naulin, P. (2010). Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque (Valdivia)*, *31*(2), 157-164. doi:10.4067/S0717-92002010000200009

ESTUDIO ANATÓMICO E HISTOQUÍMICO DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS DE *Piper aduncum* L. (PIPERACEAE)

ANATOMICAL AND HISTOCHEMICAL STUDY OF THE VEGETATIVE ORGANS OF *Piper aduncum* L. (PIPERACEAE)

Arroyo, J.; P. Bonilla, M. Marín, G. Tomás, J. Huamán, G. Ronceros, E. Raez[†],
L. Moreno y W. Hamilton.

ESTUDIO ANATÓMICO E HISTOQUÍMICO DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS DE
Piper aduncum L. (PIPERACEAE).

ANATOMICAL AND HISTOCHEMICAL STUDY OF THE VEGETATIVE ORGANS
OF *Piper aduncum* L. (PIPERACEAE).



**ESTUDIO ANATÓMICO E HISTOQUÍMICO DE LOS ÓRGANOS VEGETATIVOS
DE *Piper aduncum* L. (PIPERACEAE).**

**ANATOMICAL AND HISTOCHEMICAL STUDY OF THE VEGETATIVE ORGANS
OF *Piper aduncum* L. (PIPERACEAE).**

Arroyo, J.; P. Bonilla,
M. Marín, G. Tomás,
J. Huamán, G. Ronceros,
E. Raez[†], L. Moreno,
y W. Hamilton.

ESTUDIO ANATÓMICO E
HISTOQUÍMICO DE LOS
ÓRGANOS VEGETATIVOS
DE *Piper aduncum* L.
(PIPERACEAE).

ANATOMICAL AND
HISTOCHEMICAL STUDY
OF THE VEGETATIVE
ORGANS OF *Piper aduncum*
L. (PIPERACEAE).

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 185-202. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.12

J. Arroyo

Instituto de Investigaciones Clínicas, Facultad de Medicina. UNMSM, Perú.

P. Bonilla

*Instituto de Ciencias Farmacéuticas y Recursos Naturales,
Facultad de Farmacia y Bioquímica. UNMSM, Perú.*

M. Marín / mmarinb@unmsm.edu.pe

*Instituto de Ciencias Biológicas Antonio Raimondi,
Facultad de Ciencias Biológicas. UNMSM, Perú.*

G. Tomás

J. Huamán

*Laboratorio de Química Orgánica,
Facultad de Química e Ingeniería Química. UNMSM, Perú.*

G. Ronceros

Instituto de Investigaciones Clínicas, Facultad de Medicina. UNMSM, Perú.

E. Raez[†]

Instituto de Patología, Facultad de Medicina. UNMSM, Perú.

L. Moreno

*Instituto de Ciencias Farmacéuticas y Recursos Naturales,
Facultad de Farmacia y Bioquímica. UNMSM, Perú.*

W. Hamilton

Herbario San Marcos (USM), Museo de Historia Natural. UNMSM, Perú.

RESUMEN: *Piper aduncum* L. (Piperaceae) es una especie ampliamente utilizada en la medicina tradicional peruana. Ante la escasez de información anatómica de especímenes de *P. aduncum* que crecen en la selva peruana, establecemos como objetivos la caracterización anatómica e histoquímica de los órganos vegetativos y el estudio fitoquímico preliminar del extracto etanólico de las hojas, para la obtención de caracteres diagnósticos de dicha especie. Se realizaron cortes a mano alzada, tinción histológica y reacciones histoquímicas de raíces, tallos y hojas, macerados del tallo y diafanizados foliares. Con el extracto etanólico de las hojas se realizaron procedimientos fitoquímicos para el reconocimiento de metabolitos secundarios. Los resultados han verificado caracteres histológicos ya reportados para la especie como el tallo primario con una doble hilera de haces vasculares, así como la hoja bifacial hipostomática con idioblastos secretores, los rafidios de oxalato cálcico, tricomas tectores y glandulares. Se han caracterizado los rasgos histológicos distintivos para *P. aduncum* como los almidones poliédricos simples e idioblastos secretores en las raíces; vasos de xilema escaleriformes, punteados y elementos esclerenquimáticos en el tallo, así como el número de estomas, los índices estomático y del parénquima en empalizada para la hoja. Las pruebas fitoquímicas evidencian la presencia de alcaloides,

flavonoides, compuestos fenólicos y saponinas en el extracto etanólico, mientras que con las pruebas histoquímicas se reconocieron alcaloides para las raíces, esteroides y triterpenos para los tallos, esteroides y taninos para las hojas. Se concluye que los datos morfométricos a nivel foliar y caulinar son los más relevantes y de importancia diagnóstica y pueden ser utilizados en la identificación de la especie.

Palabras clave: *Piper*, histología, histoquímica, fitoquímica, idioblastos.

ABSTRACT: *Piper aduncum* L. (Piperaceae) is a species widely used in traditional Peruvian medicine. Due to lack the of anatomical information on specimens of *P. aduncum* that grow in the Peruvian Amazon, we set as objectives the anatomical and histochemical characterization of the vegetative organs and the preliminary phytochemical study of the ethanolic extract of the leaves, to obtain diagnostic characters of the mentioned species. Freehand sections, histological staining and histochemical reactions of roots, stems and leaves, stem macerations and leaf clearing were performed. Phytochemical procedures were carried out for the recognition of secondary metabolites with the ethanolic extract of the leaves. The results have verified histological characters already reported for the species such as the primary stem with a double row of vascular bundles as well as the hypostomatic bifacial leaf with secretory idioblasts, calcium oxalate raphides, tector and glandular trichomes. Distinctive histological features for *P. aduncum* such as simple polyhedral starches and secretory idioblasts in the roots, xylem vessels scalariform and pitted, sclerenchyma elements in the stem as well as the number of stomata, stomatal index and palisade parenchyma index for the leaf have been characterized. Phytochemical tests show the presence of alkaloids, flavonoids, phenolic compounds and saponins in the ethanolic extract, while histochemical tests showed alkaloids for the roots, sterols and triterpenes for the stems, sterols and tannins for the leaves. It is concluded that the morphometric data at the foliar and stem level are the most relevant and of diagnostic importance and can be used in the identification of the species.

Key words: *Piper*, histology, histochemistry, phytochemistry, idioblasts.

INTRODUCCIÓN

El género *Piper* (Piperaceae) es un género pantropical de amplia distribución en el Neotrópico (Jaramillo & Manos, 2001; Quijano-Abril *et al.*, 2013). En la flora peruana existen más de 700 especies de dicho taxón distribuidos principalmente en la selva peruana (Brako & Zarucchi, 1993). El género presenta una amplia variedad de componentes químicos, como sesquiterpenos, monoterpénos, fenilpropanoides, benzenoides, flavonoides y alcaloides (Maia *et al.*, 1987; Martins *et al.*, 1998; Parmar *et al.*, 1998; Pessini *et al.*, 2003; Lock & Rojas, 2004; Soto-Vásquez, 2015), por lo que son medicinalmente importantes y han mostrado tener actividades antibacteriana, antioxidante y antifúngica (Tirillini *et al.*, 1996; Lentz *et al.*, 1998; Kloucek *et al.*, 2005). En el Perú, una de las especies más utilizadas en la medicina tradicional de la Amazonia peruana es *Piper aduncum* L., conocida con los nombres vulgares de “matico” o “cordoncillo” (Soukup, 1987), es un pequeño árbol de 4 m de altura de tallo verde, glabro, hojas alternas, simples de forma ovada, oblicuamente atenuada en la base, con nervadura pinnada y asimétrica. Inflorescencia en espigas de forma alargada y curvada hacia el ápice de las ramas, de color blanco y fruto tipo drupa (Mejía & Rengifo, 2018). La especie tiene una amplia distribución en una variedad de ambientes de la selva del país, desde los 50 hasta los 2800 m y se comercializa en los mercados locales del país (Mejía & Rengifo, 2018; Silva-Alarcón *et al.*, 2019), tiene propiedades como neuroprotectora (Zaa *et al.*, 2012), gastroprotectora, antitumoral (Arroyo *et al.*, 2013, 2014) y cicatrizante (Paco *et al.*, 2016). *P. aduncum* contiene una variada composición en alcaloides, compuestos fenólicos, especialmente flavonoides, taninos y aceites esenciales (Lock & Rojas, 2004; Soto-Vásquez, 2015). Son importantes los aportes de los estudios anatómicos especializados en las especies de valor medicinal del género *Piper*, incluyendo el reconocimiento microquímico de sustancias (Nascimento & Vilhena-Potiguara, 1999; Silva & Machado, 1999; Pessini *et al.*, 2003; Souza *et al.*, 2004; Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Albiero *et al.*, 2006; dos Santos *et al.*, 2015, 2018; de

Oliveira Machado *et al.*, 2017). Para *P. aduncum* se tiene un primer reporte de Vianna y Akisue (1997, citado por (Pessini *et al.*, 2003) quienes tratan la morfología y estructura interna de la especie. Dousseau *et al.* (2014), en un estudio referido a plantas umbrófilas de ambientes boscosos, caracterizaron anatómicamente la hoja de *P. aduncum* como bifacial e hipoestomática, con presencia de estomas tetracíticos e idioblastos oleíferos, realizando algunas pruebas histoquímicas de las hojas. En ambos trabajos no se realizaron mediciones morfométricas de los tejidos foliares y sus resultados difieren en algunos detalles de la estructura interna foliar descrita como la naturaleza de la capa subepidérmica, además de no incluir el estudio de la anatomía caular y radical de la especie. No hay estudios anatómicos de los órganos vegetativos de especímenes de *P. aduncum* procedentes de su hábitat natural en la Amazonía peruana. Los estudios anatómicos revelan la influencia que puede ejercer el medio ambiente en la morfología y estructura interna de las plantas (Artiaga de Santiago *et al.*, 2001; Dousseau *et al.*, 2014). Se requiere verificar las características diagnósticas de nuestros ejemplares nativos de *P. aduncum* debido a que estas son especialmente relevantes para el reconocimiento farmacognóstico e identidad de la especie y evidencia su potencial como fitomedicamento. El objetivo del presente estudio fue determinar las características histológicas e histoquímicas en los órganos vegetativos, raíces, tallos y hojas de especímenes de *P. aduncum* que crecen en la selva peruana, que puedan servir para su reconocimiento y ser incorporadas en un futuro control de calidad de la droga vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material

Material fresco consistente en cinco muestras de las raíces laterales y cinco ramas de tallos con hojas de *Piper aduncum* fueron recolectadas de 3 especímenes procedentes de áreas abiertas de la cuenca baja del río Tulumayo, Distrito de la Merced, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, a una altitud promedio de 1259,6 m y entre las coordenadas geográficas 11° 21' 59.6" latitud sur, 75 °16' 15.04" longitud Oeste y 11° 18' 17.61' latitud sur, 75° 18' 22.70" longitud Oeste. La identificación de la especie se realizó mediante la consulta de la literatura especializada (Trelease, 1950; Vásquez *et al.*, 1997) y la comparación con muestras existentes en el Herbario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (USM).

Estudio histológico

Cinco muestras representativas de la parte media de raíces laterales, entrenudos de tallos y hojas adultas intermedias de tres individuos de la especie, se fijaron en FAA (formaldehído, ácido acético glacial, etanol al 96% y agua 10:5:35:50) conservándose posteriormente en etanol al 70%. Se realizaron cortes a mano alzada, transversales y longitudinales radiales de tallos y raíces, cortes transversales y paradermales de hojas, todos ellos fueron aclarados en hipoclorito de sodio 50%, lavados, colocados en hidrato de cloral 5%, lavados y teñidos ya sea con safranina o con azul de toluidina, ambos al 1% (D' Ambrogio de Argüeso, 1986). Para el reconocimiento de elementos vasculares y esclerenquimáticos del tallo se empleó el método de Jeffrey, sumergiendo fragmentos de tallos en una mezcla a 50° C en partes iguales de ácido nítrico y ácido crómico al 10%, lavados y teñidos con safranina al 1% (D' Ambrogio de Argüeso, 1986). Para la observación de la epidermis y la vascularización foliar se realizaron diafanizados de hojas utilizando hidróxido de sodio al 5% (Dizeo de Strittmatter, 1973), los que fueron teñidos con azul de toluidina al 1%. Para el cálculo del índice de empalizada, que determina la cantidad de células del parénquima en empalizada subyacentes a grupos de cuatro células epidérmicas (Albrecht *et al.*, 2005), en las hojas diafanizadas se hizo el recuento por triplicado de células parenquimáticas clorofilianas en empalizada comprendidas en grupos de 4 células epidérmicas y el valor es expresado en número de células del parénquima por célula epidérmica. Para la determinación en las hojas del número medio de estomas por milímetro cuadrado de epidermis foliar y el índice de estomas, que es el porcentaje de células epidérmicas transformadas en estomas (Evans, 1991), fueron en medidas en 10 campos visuales a 400 aumentos por triplicado. Para la caracterización morfométrica de las estructuras internas de los

órganos vegetativos se hicieron por individuo 10 mediciones microscópicas de los tejidos por triplicado, con datos promedios y desviación estándar. Se tomaron microfotografías a 100 y 400 aumentos en microscopio con cámara incorporada Leica modelo CME (Leica-Microsystem, Wetzlar, Germany). La descripción del patrón de nervadura foliar según la literatura especializada (Hickey, 1973; Ash *et al.*, 1999).

Reconocimiento fitoquímico preliminar y pruebas microquímicas en tejidos

Para la preparación del extracto etanólico procedentes de las hojas, se colectaron 5 kg de material fresco, se estabilizaron en estufa a 40 °C por cinco días (Lock, 1994), una vez secos y trozados, 50 g del material fueron puestos a macerar en etanol al 96% por ocho días. Con el residuo del extracto filtrado y desecado en estufa a 40 °C (5g), se procedió a la aplicación de diferentes pruebas químicas para el reconocimiento preliminar de metabolitos secundarios: alcaloides (pruebas de Dragendorff y Mayer), flavonoides (prueba de Shinoda), saponinas (prueba de espuma), taninos (pruebas de cloruro férrico y gelatina), quinonas (prueba de Bornträger), esteroides (prueba de Liebermann) y aceites esenciales (aroma), todas estas pruebas se realizaron según Lock (1994). Para el reconocimiento histoquímico de metabolitos de interés en tejidos de raíces, tallos y hojas al estado fresco, se realizaron cortes transversales de los mismos y se ensayaron los reactivos de Lugol (almidón), floroglucinol (lignina), cloruro férrico 1% (taninos), ácido sulfúrico (esteroides), Sudán III (lípidos) y Dragendorff (alcaloides), todos los ensayos según D'Ambrogio (1986) y Lock (1994).

RESULTADOS

Anatomía radical

La raíz lateral presenta una estructura secundaria en transición marcada por el desarrollo del tejido vascular secundario, una capa epidérmica suberizada en la superficie externa y una zona cortical con agrupaciones variables de braquiesclereidas de forma irregular ubicadas hacia la parte externa de la corteza (Fig. 1B). Parénquima cortical con escasos almidones simples de forma poliédrica de 18 µm de diámetro. Idioblastos secretores de formas oblongas a elipsoidales y de 100 µm de diámetro mayor, de contenido amarillento y aromáticos, estos se presentan abundantes en la corteza y otros de menor tamaño, pero escasos son visibles en el floema secundario (Fig. 1 C). El tejido vascular es delimitado externamente por una delgada capa endodérmica, presenta un floema secundario con pequeñas agrupaciones de fibras floemáticas y escasos idioblastos, de menor tamaño que los corticales; el cambium vascular siguiendo un contorno ondulado y un fuerte desarrollo del xilema secundario, con predominio de vasos de amplio diámetro. En sentido radial, hacia la zona medular, se presentan radios pluriseriados de una amplitud variable, 4 a 8 filas de células correspondientes al parénquima xilemático, de carácter reservante con abundantes almidones simples de forma poliédrica. Escasos vasos del xilema primario se presentan reducidos y colapsados en el límite interno con la médula. En el centro de la raíz, la zona medular es estrecha y sus células presentan rasgos de lignificación en sus paredes (Fig. 1 D).

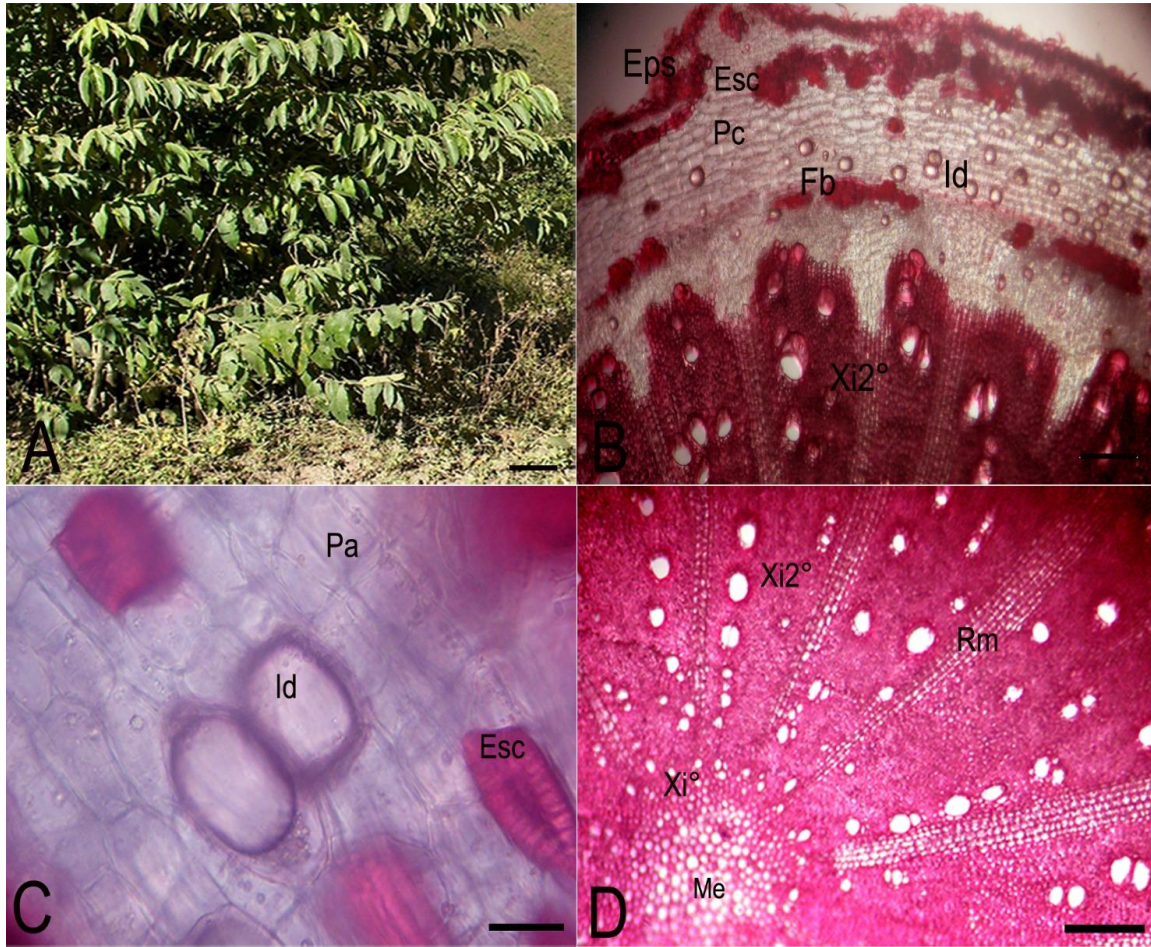


Fig. 1. Anatomía radical de *Piper aduncum*: A, vista general de la planta. B, Sección transversal de la raíz secundaria. C, idioblastos y braquiesclereidas en la corteza radical. D, detalle del xilema secundario y la zona medular. Epidermis suberizada (Eps); parénquima (Pa); braquiesclereidas (Esc); idioblasto (Id); fibras floemáticas (Fb); xilema secundario (Xi^{2°}); xilema primario (Xi[°]); radio medular (Rm). Barra A, 20 cm. B-D, 20 μ m.

Anatomía caulinar

El tallo presenta en sección transversal una forma cilíndrica y estructura primaria con desarrollo atípico del tejido vascular, en la forma de doble hilera de haces vasculares colaterales (Fig. 2 A). Epidermis uniestratificada de paredes externas de contorno convexo y con una gruesa cutícula su pared externa, Con tricomas tectores pluricelulares escasos. Corteza con varias capas de parénquima clorofiliano, escasos idioblastos secretores e idioblastos con rafidios de oxalato cálcico. Almidones simples y pequeños se observan hacia el interior de la corteza. Paquetes alargados de células colenquimáticas, con engrosamiento en las aristas celulares Agrupaciones alargadas de fibras de esclerénquima, subyacentes al colénquima en la corteza interna (Fig. 2 B). Tejido vascular en doble hilera, uno externo, compuesto de grandes haces vasculares colaterales periféricos, alargados que alternan en tamaño y otro interno, formado numerosos haces vasculares internos mas pequeños, hacia la zona medular. En el tejido vascular externo el floema se dispone en la parte externa, con escasos agrupamientos de fibras floemáticas, esclereidas e idioblastos secretores más parénquima floemático. Presencia de una delgada capa de tejido meristemático y desarrollo de una gruesa zona de xilema primario con fibras xilemáticas, de un contorno sinuoso hacia la parte interna, en la periferia con la zona

medular. Radios medulares pluriseriados, de 5 células parenquimáticas, lignificadas y de 300 μm de diámetro en el anillo periférico principal y de 7 a 9 células parenquimáticas y 227,2 μm de diámetro en los haces medulares. Haces vasculares medulares dispuestos en forma de un anillo periférico interno hacia el límite de la zona medular y con vasos xilemáticos de un mayor diámetro comparado con los vasos de los haces vasculares externos (Fig. 2 C). La zona medular es muy amplia, con presencia de células parenquimáticas de paredes delgadas, escasos idioblastos cristalíferos ubicados entre las células del parénquima medular, conteniendo finos cristales aciculares (rafidios) de oxalato cálcico de 4 μm de longitud e idioblastos secretores, de paredes engrosadas y 72,5 μm de diámetro (Fig. 2 D).

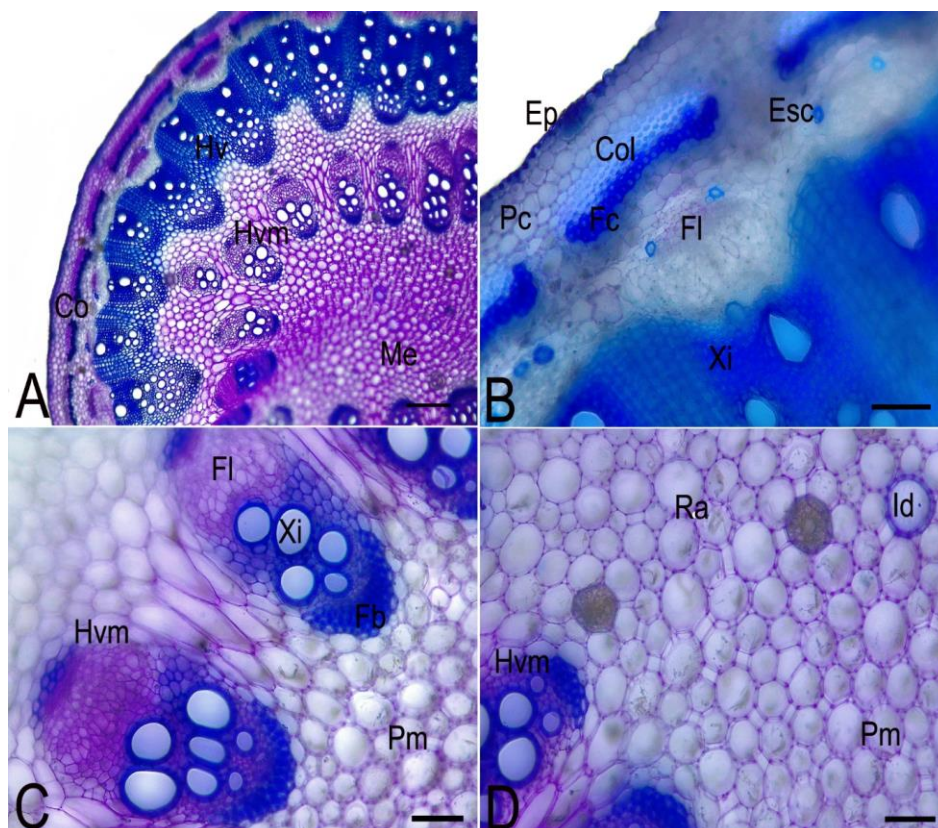


Fig. 2. Anatomía caular de *Piper aduncum*: A, Sección transversal del tallo. B, detalle de la porción externa del tallo. C, haces vasculares medulares (Hvm). D, zona medular del tallo. Epidermis (Ep); corteza (Co); colénquima (Col); fibras corticales (Fc); braquiesclereidas (Esc); haz vascular principal (Hv); floema (Fl); xilema (Xi); idioblasto secretor (Id); rafidios (Ra); parénquima medular (Pm). Barra, A-D, 20 μm .

En los macerados del tallo se reconocieron elementos esclerenquimáticos de tipo braquiesclereida, de paredes secundarias engrosadas y punteaduras ramificadas (Fig. 3 A). Dos tipos de fibras, unas de corta longitud, de paredes delgadas y abundantes puntuaciones (Fig. 3 B) y otras de gran longitud, gruesas paredes y escasas puntuaciones (Fig. 3 C), siendo la primera destacable por su mayor abundancia en los macerados. Vasos uniperforados de xilema de tipo anillados, espiralados, escaleriformes y punteados (Figs. 3 D-F), siendo abundantes los tres últimos. Las dimensiones morfométricas de los principales elementos esclerenquimáticos y xilemáticos en el macerado del tallo se presentan en la Tabla 1.

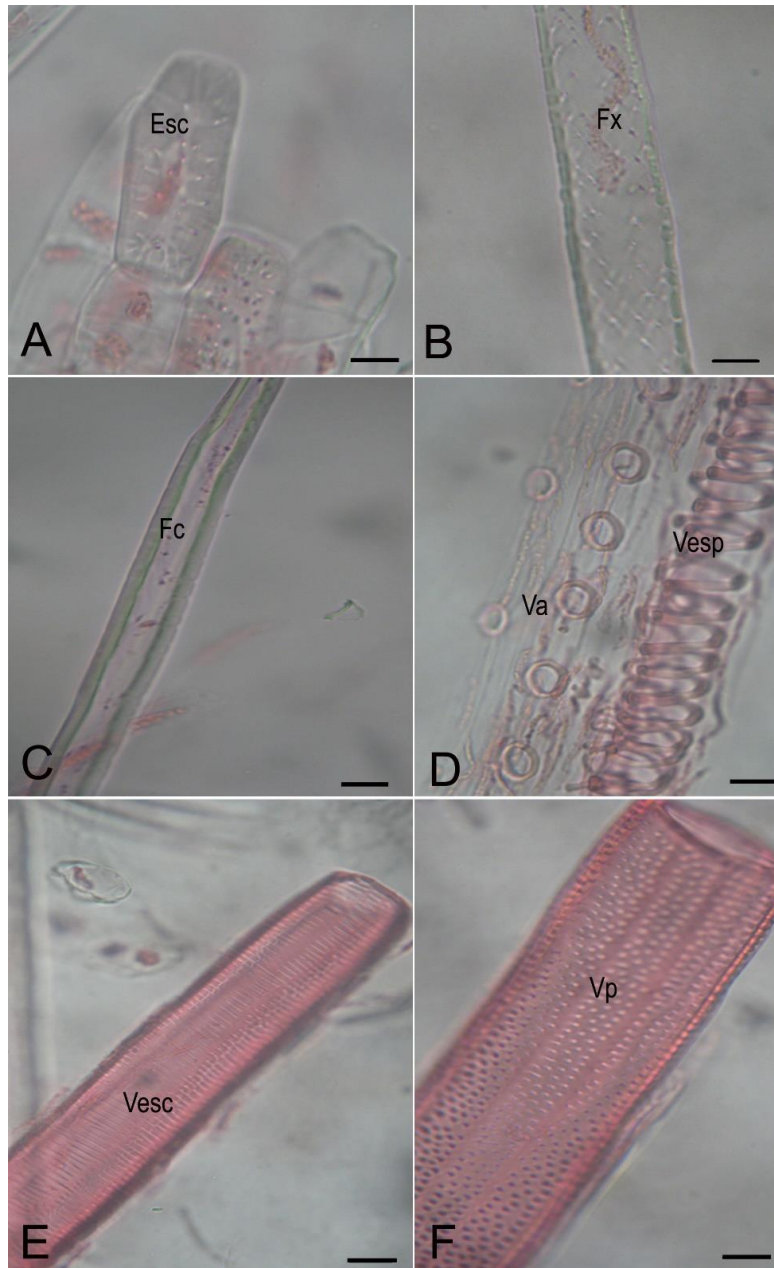


Fig. 3. Elementos celulares en el macerado del tallo de *Piper aduncum*: A, braquiesclereidas (Esc). B, fibra xilemática (Fx). C, fibra cortical (Fc). D, vasos anillados (Va) y espiralado (Vesp). E, vaso escaleriforme (Vesc). F, vaso punteado (Vp). Barra A-F, 20 µm.

Tabla 1. Mediciones de los principales elementos celulares en el macerado del tallo de *Piper aduncum*. (Promedio $\mu\text{m} \pm \text{D.E.}$; n = 30).

| Elementos celulares | Ancho | Longitud |
|-----------------------|----------------|--------------------|
| Vasos reticulados | 64,1 \pm 8,2 | 911,4 \pm 61,2 |
| Vasos escaleriformes | 38,2 \pm 6,4 | 1083,3 \pm 121,1 |
| Fibras corticales | 15,0 \pm 2,7 | 2364,0 \pm 594,9 |
| Fibras xilemáticas | 12,2 \pm 2,1 | 2300,0 \pm 578,8 |
| Vasos espiralados | 25,9 \pm 7,9 | - |
| Esclereidas | - | 50,6 \pm 18,5 |
| Parénquima xilemático | - | 109,6 \pm 16,2 |
| Idioblastos | - | 38,3 \pm 5,8 |

Anatomía foliar

En corte transversal la lámina foliar presenta una estructura bifacial de 212,5 μm de espesor, con una cutícula delgada (1,8 μm) y una epidermis uniestratificada con células de formas variables; las células epidérmicas adaxiales de formas alargadas y estrechas, de mayor tamaño (10,3 μm) que las células abaxiales de forma cuadrangulares alargadas (6,7 μm). Presencia de tricomas pluricelulares en ambas superficies foliares: tectores y glandulares; los primeros de forma cónica, tamaño variable y predominantes a nivel de la nervadura central (Fig. 4 B); los segundos, de forma globosa o sacciformes, se presentan escasamente en la lámina (Fig. 4 E). Capas subepidérmicas de células, sin plastidios, ubicadas hacia ambas superficies: la superior, situada por debajo de la epidermis adaxial, formado por una doble hilera de células cuadrangulares de 11,8 μm de ancho. La inferior, adyacente a la epidermis abaxial, está formada por una hilera de células alargadas y de tamaño irregular. Estomas presentes sólo en la superficie abaxial y están a ubicados mismo nivel que las células epidérmicas. El mesófilo está compuesto por una doble capa de parénquima clorofiliano en empalizada hacia el lado superior y dos a tres estratos de parénquima clorofiliano esponjoso hacia el lado inferior. Haces conductores colaterales cerrados en el medio del mesófilo. Idioblastos secretores de 22,7 μm de diámetro, con un contenido amarillento, se localizan en la parte media e inferior del mesófilo (Fig. 4 C). La nervadura principal presenta hacia ambas superficies externas refuerzos subepidérmicos de colénquima angular y en la parte central se disponen de 2 a 3 haces conductores colaterales de forma convexa rodeados de escasas fibras; cristales aciculares de oxalato cálcico se presentan abundantes en el parénquima de la nervadura central (Fig. 4 B).

En la vista paradermal, las células epidérmicas adaxiales son de formas poligonales y 20,1 μm de diámetro (Fig. 4 D). Células epidérmicas abaxiales tienen forma de polígonos irregulares de 19,8 μm de longitud (Fig. 4 E). Los estomas tuvieron 15 μm de diámetro mayor y fueron de 2 tipos: a) anomocítico y b) tetracítico. El número medio de estomas fue de 760 estomas/ mm^2 y el índice estomático de 7,84. El índice del parénquima en empalizada fue de 13,3. Los principales caracteres morfométricos de la lámina foliar se resumen en la Tabla 2. El patrón de nervaduras es pinnatinervio, de tipo eucamptodromo (Fig. 4 A). Las ramificaciones se presentan en forma anastomosada, con ramificaciones de 1° al 5° orden. Las venas secundarias alternas a la vena primaria y curvada hacia el ápice del limbo, con un espaciamiento entre ellas que decrece gradualmente hacia la base. Venas secundarias basales llegan a ser marginales hacia el exterior de la lámina, recurviéndose y formando bucles. Venas terciarias discurren paralelamente entre ellas y son perpendiculares a la vena principal, estas venas cruzan transversalmente a las venas

secundarias y sin llegar a ramificarse, forman con las venas de 4to orden aréolas poligonales bien definidas. Vénulas de 5° orden finamente ramificadas e inconclusas, no llegan a los límites de las areolas formadas (Fig. 4 F).

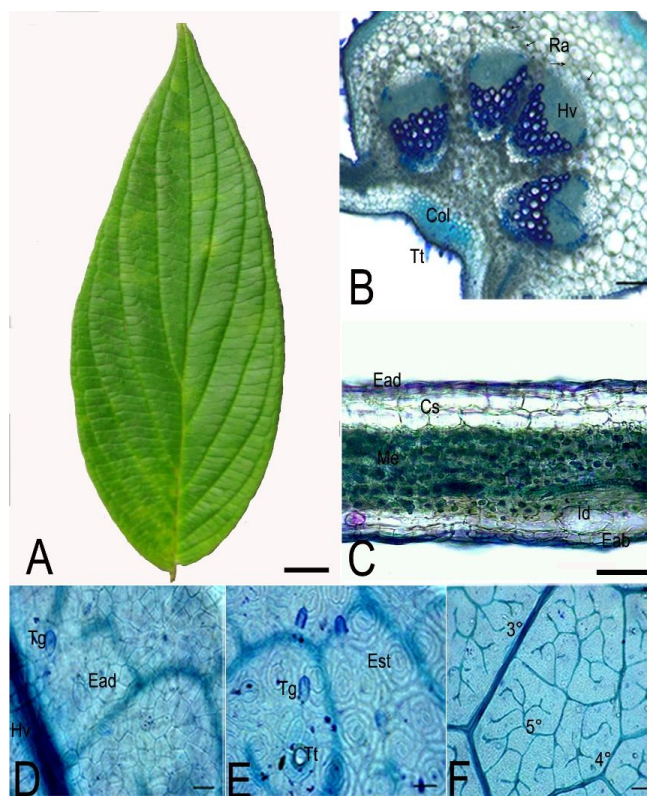


Fig. 4. Anatomía foliar de *Piper aduncum*: A, vista general de la hoja. B-C, corte transversal de la lámina. D-E, vista paradermal de la lámina. B, nervadura principal de la lámina. C, Mesófilo. D, superficie adaxial. E, superficie abaxial. F, detalle de la nerviación anastomosada y venas de 3° a 5°. Rafidios (Ra); Haz vascular (Hv); colénquima (Col); tricoma tector (Tt); epidermis adaxial (Ead); epidermis abaxial (Eab); estoma (Est); mesófilo (Me); capa subepidpérmica (Cs); idioblasto secretor (Id); tricoma glandular (Tg); estoma (Est). Barra, A, 1 cm. B-F, 20 μ m.

Tabla 2. Caracteres morfométricos foliares de *Piper aduncum*. (Promedio \pm D.E; n = 30)

| Parámetros epidérmicos | Diámetro |
|--|------------------|
| Células epidérmicas adaxiales (μ m) | 20,1 \pm 3,6 |
| Células epidérmicas abaxiales (μ m) | 19,8 \pm 4,3 |
| Células oclusivas del estoma (μ m) | 15,0 \pm 1,2 |
| Número de estomas (estomas/mm ²) | 760,0 \pm 74,3 |
| Índice estomático | 7,84 \pm 0,63 |
| Índice de empalizada | 13,3 \pm 2,2 |

Reconocimiento fitoquímico y microquímico preliminar

En las pruebas fitoquímicas del extracto etanólico de las hojas se reconocieron alcaloides como finos precipitados color naranja (prueba de Dragendorff) o blanquecino (prueba de Mayer). Flavonoides se reconocieron por cambios de coloración rosada efervescente (prueba de Shinoda). Se detectaron cantidades apreciables de esteroides (coloración verde oscura con la prueba de Lieberman), saponinas (cantidad de espuma), aceites (olor sui generis) y taninos (fino precipitado marrón oscuro con el tricloruro férrico); mientras que la prueba para quinonas fue negativa (Tabla 3). En la prueba microquímica con el Lugol se reconocieron finos granos de almidón de color azul en las células corticales y en los radios medulares de raíces (Fig. 5 A), así como en el parénquima cortical del tallo (Figura 5 B). Con la prueba de floroglucinol se reconocieron positivamente de color rosado en raíces los elementos lignificados: fibras de esclerénquima, braquiesclereidas y elementos del xilema secundario, con la misma prueba en el tallo se reconocieron las fibras corticales y elementos lignificados del xilema; en la zona medular las paredes engrosadas de los idioplastos secretores dieron positivo a la reacción (Fig. 5 C). La prueba de Sudán III fue negativa para sustancias lipídicas en tallos y raíces mientras que para hoja sirvió para reconocer la cutícula de un color rojizo. Con la prueba de Dragendorff se reconocieron positivamente alcaloides como finas precipitaciones de color naranja en los idioplastos de la zona cortical de raíces (Fig. 5 D) e idioplastos del mesófilo y nervadura central de la hoja, mientras que en los tallos la prueba fue negativa. Con el tricloruro férrico se reconocieron taninos como precipitados de coloración oscura en el mesófilo foliar (Fig. 5 E), siendo la prueba negativa para tallos y raíces. Con la prueba del ácido sulfúrico se reconocieron esteroides de un color verdoso en el parénquima cortical de raíces, células corticales y parénquima xilemático de tallos (Fig. 5 F) y en el mesófilo de las hojas (Fig. 5 G); con la misma prueba se reconocieron triterpenoides de un color rojizo-naranja en los idioplastos de la corteza de la raíz (Fig. 5 H).

Tabla 3. Fitoquímica del extracto alcohólico de las hojas de *Piper aduncum*.

| Prueba | Metabolito secundario | Cantidad |
|------------------|-----------------------|----------|
| Dragendorff | Alcaloides | ++ |
| Mayer | Alcaloides | +++ |
| Shinoda | Flavonoides | +++ |
| Índice de espuma | Saponinas | + |
| Cloruro férrico | Fenólicos | ++ |
| Olor | Aceites | + |
| Gelatina | Taninos | - |
| Liebermann | Esteroides | + |
| Bornträger | Quinonas | - |

| | | | | | |
|------|---|------------------|-------|---|--------------------|
| (-) | = | Ausente | (+) | = | Poca cantidad |
| (++) | = | Regular cantidad | (+++) | = | Abundante cantidad |

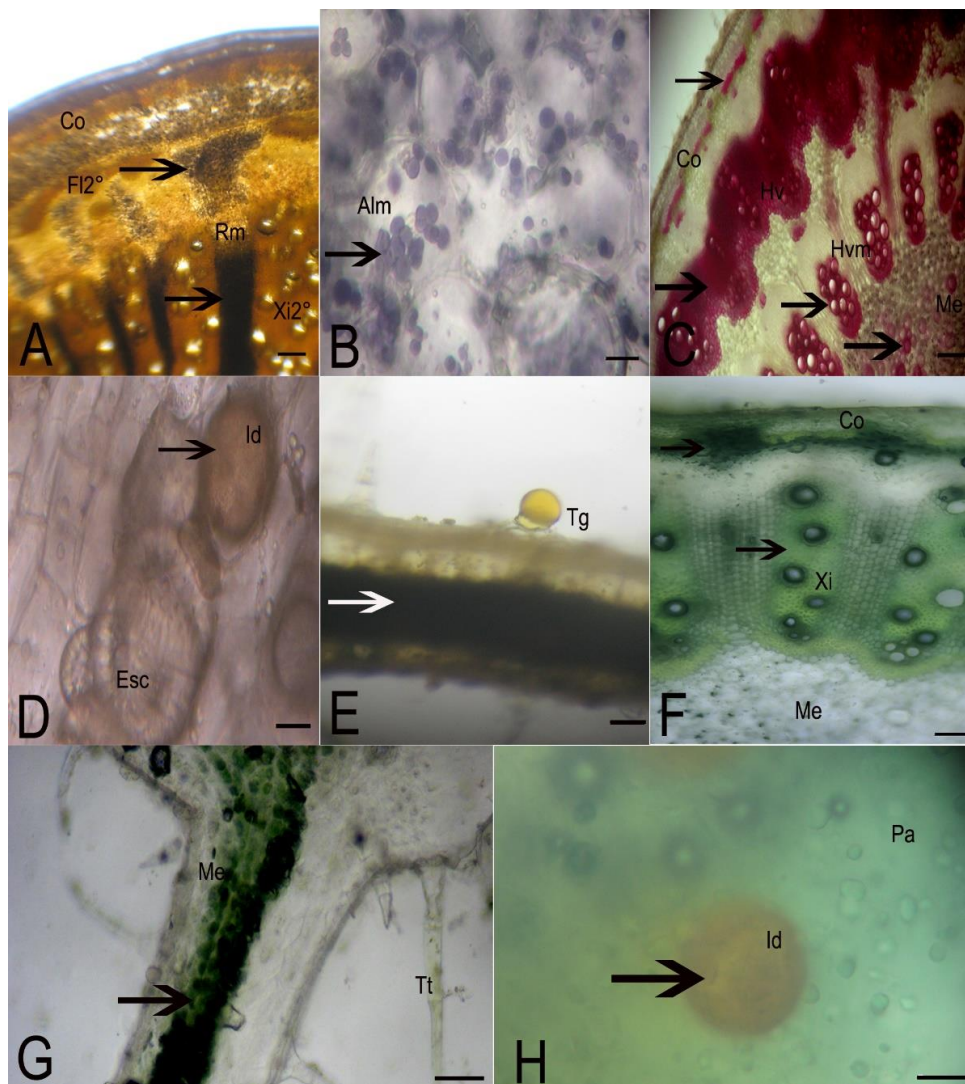


Fig. 5. Reconocimiento microquímico en los órganos vegetativos de *Piper aduncum*: A, almidones en la raíz. B, almidones en la corteza del tallo. Elementos lignificados en la estructura del tallo. D, alcaloides en idioblasto de la raíz. E, taninos en el mesófilo foliar. F, esteroides en el tallo. G, esteroides en la hoja. H, triterpenoides en idioblasto del tallo. Corteza (Co); floema secundario (Fl2°); xilema secundario (Xi2°); xilema primario (Xi); radio medular (Rm); almidón (Alm); haz vascular principal (Hv); haz vascular medular (Hvm); médula (Me); mesófilo (Me); idioblasto (Id); braquiesclerida (Esc); tricoma glandular (Tg); tricoma tector (Tt); parénquima (Pa). Barra, A-H, 20 μ m.

DISCUSIÓN

El desarrollo secundario de las raíces de *Piper aduncum* tiene la característica de presentar una epidermis con rasgos suberizados. Esta característica hallada es también mencionada por Vianna y Akisue para la misma especie (1997, citado por (Albiero *et al.*, 2006). Si bien señalan para las Piperaceae la presencia común de peridermis (Metcalf & Chalk, 1957), en las raíces secundarias, en raíces de *P. hispidinervium* *Piper regnelli* y *P. crassinervium* no se ha reportado su presencia (Nascimento & Vilhena-Potiguara, 1999; Pessini *et al.*, 2003; Albiero *et al.*, 2006). La presencia de una epidermis suberizada en la corteza puede observarse en el desarrollo secundario de algunos tipos de raíces secundarias (Esau, 1977). Las braquiescleridas de las raíces son constantes para *P. aduncum*, como lo confirma el reporte de Vianna y Akisue para

las raíces de la especie (1997, citado por (Pessini *et al.*, 2003). Los idioblastos secretores en la raíz, con su contenido de color amarillo claro y el aroma característico, están asociados a la presencia de compuestos terpénicos como los reportados por Dousseau *et al.* (2014) para la hoja de la misma especie. El desarrollo y almacenamiento del almidón así como los radios medulares pluriseriados son comunes en las raíces secundarias de especies arbustivas del género *Piper* (Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Albiero *et al.*, 2006), en *P. aduncum* comprobamos que, a diferencia de la corteza, son los radios medulares los que adquieren un carácter marcadamente reservante de almidones simples, cuyas formas poliédricas y dimensiones registradas pueden ser de carácter diagnóstico si los comparamos con otras especies del género. No se encontraron cristales de oxalato cálcico en los tejidos de la raíz, condición que comparte *P. aduncum* con algunas especies como *P. regnelli* y *P. hispidum* (Pessini *et al.*, 2003; Albiero *et al.*, 2006), en tanto otras especies como *P. crassinervium* si las presentan (Albiero, Paoli, *et al.*, 2005).

A nivel del tallo, uno de los rasgos histológicos más relevantes de *P. aduncum* lo constituyen los haces vasculares en la zona medular del tallo, los cuales son considerados una evidencia de un crecimiento atípico propio de las Piperaceae y otras familias botánicas (Metcalfe & Chalk, 1957). Las Piperaceae son conocidas anatómicamente por la disposición de su sistema vascular primario en la forma de un doble anillos de haces vasculares que semeja a los tallos de monocotiledóneas y por ello su temprana consideración como una angiosperma basal (Jaramillo & Manos, 2001). Si bien el patrón de doble hilera de haces vasculares es común en los tallos de las especies del género *Piper*, encontramos que el número de los haces medulares observado en *P. aduncum* es diferente a los observados para los tallos de especies afines como *P. crassinervium*, *P. gaudichaudianum* y *P. hispidum* (Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero *et al.*, 2006); sin embargo, no podría considerarse un carácter diagnóstico debido a que las diferencias en el desarrollo caulinar son atribuidos al grado de madurez y el mayor engrosamiento de los tallos (Evert & Esau, 2008). La presencia de paquetes de fibras corticales observados en *P. aduncum* resultan constantes en la estructura caulinar de varias especies del género *Piper*. Albiero *et al.* (2005) afirman para el tallo de *P. gaudichaudianum* que estas fibras proceden de la lignificación progresiva de las células colenquimáticas adyacentes. Son también características comunes de *P. aduncum* con respecto a las especies del clado Enckea, la presencia del colénquima angular, las esclereidas de la zona floemática y los rafidios de oxalato cálcico (Quijano-Abril *et al.*, 2013). En las especies de *Piper* son comunes en la estructura caulinar la presencia de idioblastos secretores, en *P. aduncum* este tipo de células ubicadas en la médula presentan sus paredes lignificadas, como lo comprueba la reacción positiva de floroglucinol.

Entre los elementos celulares del macerado del tallo de *P. aduncum* destacan por sus mayores dimensiones los vasos del xilema punteados y escaleriformes. Entre los elementos esclerenquimáticos se reconocieron a las fibras xilemáticas como aquellas que se presentaron en mayor cantidad y se distinguieron por su menor longitud, menor ancho y mayor cantidad de punteaduras comparadas con las fibras corticales, de tamaño mas largo y mas gruesas. En particular las fibras xilemáticas son típicas del xilema de las plantas y son consideradas caracteres diagnósticos para muchas especies (Evans, 1991; Evert & Esau, 2008). Las escasas braquiesclereidas registradas corresponde a las ubicadas en el floema de la sección transversal del tallo y su presencia es común en la estructura caulinar de las especies del género *Piper* (Quijano-Abril *et al.*, 2013). No encontramos reportes de este tipo de elementos celulares del tallo por lo que constituyen un primer registro para *P. aduncum*.

Los tricomas tectores fueron los más abundantes, alcanzando un tamaño variable en su desarrollo, mientras que los glandulares fueron más escasos y uniformes en su forma globosa, esto último concuerda con Dousseau *et al.* (2014) quien afirma además que los tricomas sacciformes pueden llegar a ser de tipo pedunculados. Los tricomas tectores y glandulares hallados son comunes para varias especies del género (Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero, Paoli, *et al.*, 2005). Es de especial importancia los tricomas glandulares, que conjuntamente con

los idioblastos secretores del mesófilo, están en relación a la presencia de compuestos terpénicos, responsables del aroma característico de la especie y que han sido reportados por Dousseau *et al.* (2014). La hoja bifacial de *Piper aduncum* es característica de las Piperaceae (Metcalf & Chalk, 1957). El reporte del parénquima en empalizada biestratificado es consistente con lo reportado para la misma especie por Gogosz *et al.* (2012), sin embargo, contrasta con Dousseau *et al.* (2014) quienes mencionan como característico de *P. aduncum* la presencia de una capa de parénquima en empalizada y le atribuyen mas bien una mayor variabilidad al número de capas del parénquima esponjoso. Especies afines como *Piper hispidinervium*, *P. crassinervium*, *P. gaudichaudianum*, *P. hispidum* y *P. solmsianum* presentan una o dos capas celulares en el parénquima en empalizada (Nascimento & Vilhena-Potiguara, 1999; Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero *et al.*, 2006; Bertocco *et al.*, 2017), esta diferencia puede ser atribuida a la calidad de la luminosidad en los diferentes hábitats en que se desarrollan las especies y que influyen en la conformación del mesófilo foliar (Gogosz *et al.*, 2012), en ese sentido el registro del índice de empalizada, expresado como la relación del número de células del parénquima clorofiliano en empalizada en función de las células epidérmicas (Evans, 1991), es señalada como una medida morfométrica que puede diferenciar a *P. aduncum* de las especies afines del género. Metcalf & Chalk (1957) reportan para las Piperaceae hasta tres tipos de cristales de oxalato cálcico. Para las especies del género *Piper*, predominan los rafidios (Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Bertocco *et al.*, 2017). *P. aduncum* presenta rafidios a nivel de la nervadura central de la hoja y por ello confirmamos los reportes de Vianna y Akisue (1997, citado por (Dousseau *et al.*, 2014) y Dousseau *et al.* (2014).

La presencia de las capas sub-epidérmicas hialinas en ambas superficies foliares es una característica de *P. aduncum*, destacando por su mayor envergadura la capa sub-epidérmica adaxial que es biestratificada. Estas capas sub-epidérmicas han sido descritas tempranamente como una hipodermis para las especies del género *Piper* (Metcalf & Chalk, 1957) y su naturaleza uni o biestratificada es registrada por diversos autores que han tratado la anatomía foliar de las especies del género (Nascimento & Vilhena-Potiguara, 1999; Albiero, Paoli, *et al.*, 2005; Albiero, de Souza, *et al.*, 2005; Albiero *et al.*, 2006; Bertocco *et al.*, 2017). En base a un estudio anatómico de ontogenia foliar de especies de *Piper*, incluyendo *P. aduncum*, Nakamura *et al.* (2015) proponen la denominación de hipodermis. A diferencia de nuestro reporte, Dousseau *et al.* (Dousseau *et al.*, 2014) describe para *P. aduncum* una capa sub-epidérmica (hipodermis) uniestratificada. Esta capa sub-epidérmica es considerada variable en su desarrollo debido a la influencia que ejerce el medio ambiente (Duarte & Siebenrock, 2010; dos Santos *et al.*, 2015, 2018) y también le atribuyen un carácter diagnóstico para las especies de *Piper* (Nakamura *et al.*, 2015).

En la superficie foliar, la disposición de los estomas hacia la cara abaxial y la presencia de los tipos de estomas anomocíticos y tetracíticos coincide con las observaciones reportadas para *P. Aduncum* por Vianna y Akisue (1997, citado por (Dousseau *et al.*, 2014), otros reportes para la misma especie sólo reportan estomas tetracíticos. (Dousseau *et al.*, 2014) solo reportan estomas tetracíticos para la especie. Otros tipos de estomas como los ciclocíticos y anisocíticos han sido reportados para las especies del género *Piper* como *P. diospyrifolium*, y *P. hispidinervium* (Nascimento & Vilhena-Potiguara, 1999; Souza *et al.*, 2004). Todo ello revelan una variabilidad que lo hacen difícil de considerar como carácter diagnóstico. El número estomático en la superficie abaxial de la hoja de *P. aduncum* (760.0 est/mm²), refleja la alta densidad estomática que presenta esta especie y está en relación a su hábitat húmedo, propio de los bosques secundarios donde se desarrolla habitualmente, sin embargo este valor suele ser afectado por el medio ambiente (Gogosz *et al.*, 2012), por lo que el registro del índice estomático y el índice de empalizada se señalan como características constantes y pueden ser útiles para la identificación microscópica (Evans, 1991). No hay reportes previos de estas medidas morfométricas foliares para *P. aduncum*, por lo que este estudio constituye su primer registro y permitirá diferenciarlas de las especies afines del género.

El número de haces colaterales de la nervadura central disminuye desde la base hacia el ápice, esto concuerda con las observaciones de Dousseau *et al.* (2014). El patrón de nervadura eucamptodroma (Ash *et al.*, 1999), a nivel de la nerviaciones de 1° y 2° orden, es consistente en las muestras de hojas estudiadas en varias de las especies del género *Piper* (Tebbs, 1993), sin embargo es notable en *P. aduncum* la variabilidad observada a nivel de las nervaduras terciarias, donde el patrón formado por este tipo de nervaduras, dispuestas en ángulo recto con respecto a la vena primaria y cercanamente paralelos entre ellas, es similar a lo reportado para *P. aduncum* subespecie *Ossanum* (Abreu Guirado *et al.*, 2012) y marcadamente diferente a lo observado para la misma especie por Dousseau *et al.* (2014). Se requiere profundizar en los estudios sobre la arquitectura foliar en las especies del género debido a que se reconoce que la morfología en la familia Piperaceae puede llegar a ser muy compleja (Jaramillo & Callejas, 2004).

En este estudio fue verificado el perfil fitoquímico para las hojas y tallos de *Piper aduncum* con el reconocimiento de alcaloides, esteroides, terpenos, flavonoides y taninos (Tabla 3) lo que concuerda con estudios previos de la especie (Lock & Rojas, 2004; Soto-Vásquez, 2015). Histoquímicamente se corroboró también la presencia de alcaloides en los tejidos de tallos y raíces así como de esteroides y compuestos terpenicos en tallos y hojas, en estos últimos de una forma muy clara y en concordancia con lo reportado por otros autores (Dousseau *et al.*, 2014). Compuestos triterpenoides fueron reconocidos en idioblastos de tallos y raíces, aunque no en las hojas. Los almidones reconocidos fueron de tipo simple y se registraron abundantes en la raíz y en menor cantidad en el tallo. La presencia de elementos esclerenquimáticos y vasos xilemáticos fueron reconocidos positivamente con la prueba de floroglucinol en raíces y tallos. Así mismo con este reactivo se verificó la naturaleza lignificada de las paredes engrosadas de los idioblastos secretores del parénquima medular. La presencia de idioblastos de paredes lignificadas no han sido reportados para *P. aduncum*, sin embargo (Evert & Esau, 2008) menciona que es este tipo de células suelen presentarse en la medula de tallos.

CONCLUSIONES

En este estudio establecemos, en base a las descripciones y mediciones morfométricas realizadas, el reporte de las características histológicas para los órganos vegetativos de especímenes de *Piper aduncum* que se desarrollan en la Amazonia peruana, consistente en la presencia de almidones simples de forma poliédrica e idioblastos secretores en las raíces, elementos xilemáticos y esclerenquimáticos en los macerados del tallo así como los índices estomático y del parénquima de empalizada determinados para la hoja, todos los cuales constituyen caracteres diagnósticos que pueden ser empleados en la diferenciación de *P. aduncum* con otras especies afines del género.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología (FINCyT), Contrato N°005- FINCyT-PIBAP-2008 y a la Cátedra de Farmacognosia y Laboratorio de Farmacognosia y Productos Naturales de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM.

LITERATURA CITADA

Abreu Guirado, O. A., Rodríguez T. A. A., Morgado M. M., & Cao. V. L. B. (2012). Farmacognosia, farmacobotánica, farmacogeografía y farmacotimología del platanillo de Cuba (*Piper aduncum* subespecie *ossanum*). In *Revista Cubana de Plantas Medicinales* (Vol. 17, Issue 2). <http://scielo.sld.cu/http://scielo.sld.cu>

- Albiero, A. L. M., de Souza, L. A., Mourão, K. S. M., García De Almeida, O. J., & Lopes, W. A. L. (2005). Morfo-anatomia do caule e da folha de *Piper gaudichaudianum* Kuntze (Piperaceae). *Acta Farmaceutica Bonaerense*, 24(4).
- Albiero, A. L. M., Paoli, A. A. S., Souza, L. A., & Mourão, K. S. M. (2005). Morfoanatomia dos órgãos vegetativos de *Piper crassinervium* H.B. & K. (Piperaceae). *Acta Botanica Brasilica*, 19(2), 305–312. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000200013>
- Albiero, A. L. M., Paoli, A. A. S., Souza, L. A., & Mourão, K. S. M. (2006). Morfoanatomia dos órgãos vegetativos de *Piper hispidum* Sw. (Piperaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 16(3), 379–391. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000300016>
- Albrecht, R. A., Bassols, G. B., & Gurni, A. A. (2005). *Aplicación de Parámetros Cuantitativos en el Estudio de Aloysia citrodora Palau (Verbenaceae)*. *Acta Farmaceutica Bonaerense* 24(2). https://www.researchgate.net/publication/266355608_Aplicacion_de_Parametros_Cuantitativos_en_el_Estudio_de_Aloysia_citrodora_Palau_Verbenaceae
- Arroyo, J., Bonilla, P., Moreno-Exebio, L., Ronceros, G., Tomás, G., Huamán, J., Raez, E., Quino, M., Rodríguez, J., Peru, R., Exp, M., Publica, S., & Original, A. (2013). Efecto gastroprotector y antisecretor de un fitofármaco de hojas de matico (*Piper aduncum*) Gastroprotective and antisecretory effect of phytochemical made from Matico leaves (*Piper aduncum*). In *Rev Peru Med Exp Salud Publica* (Vol. 30, Issue 4).
- Arroyo, J., Herrera-Calderón, O., Chávez-Asmat, R., Ventura, E., Buendía, J., Pacheco, J., & Palomino, R. (2014). *Efecto antitumoral in vitro del aceite esencial de Piper aduncum L. (matico) y su toxicidad oral en ratones*.
- Artiaga de Santiago, J. E., Pereira P. E., Mauro C. E., Alvez L. O., Oliveira C. H. E., & Losada G.M. (2001). Aspectos da anatomia foliar da pimenta-longa (*Piper hispidinervium* C.DC.) sob diferentes condições de luminosidade. *Ciênc. Agrotec., Lavras*, 25 (5), 1035–1042.
- Ash, A., Ellis, B., Hickey, L. J., Johnson, K., Wilf, P., & Wing, S. (1999). *Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms by Leaf Architecture Working Group. Smithsonian Institution, Washington, DC, USA. 65 pp.* Smithsonian Institution, Washington, DC, USA. . <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3674.5282>
- Bertocco, A. R. P., Migacz, I. P., Santos, V. L. P., Franco, C. R. C., Silva, R. Z., Yunes, R. A., Cechinel-Filho, V., & Budel, J. M. (2017). Microscopic diagnosis of the leaf and stem of *Piper solmsianum* C.DC. *Microscopy Research and Technique*, 80(8), 831–837. <https://doi.org/10.1002/jemt.22870>
- Brako, L., & Zarucchi, J. L. (1993). Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. *Monogr. Sist. Bot. Missouri Botanical Garden.*, 1286.
- D' Ambrogio de Argüeso, A. (1986). Manual de técnicas en histología vegetal. In *Editorial Hemisferio sur*.
- de Oliveira Machado, N. S., Pereira, F. G., de Queiroz, G. A., Guimarães, E. F., & Costa, C. G. (2017). Morfoanatomia comparativa das folhas de *Piper arboretum* Aubl. e *Piper tuberculatum* Jacq. *Iheringia - Serie Botanica*, 72(1), 106–113. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201772109>
- Dizeo de Strittmatter, C. (1973). Nueva Técnica de Diafanización. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*.
- dos Santos, V. L. P., Franco, C. R. C., Amano, E., Messias-Reason, I. J., & Budele, J. M. (2015). Anatomical investigations of piper amalago (Jaborandi-manso) for the quality control. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(2), 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.03.001>
- dos Santos, V. L. P., Raman, V., Bobek, V. B., Migacz, I. P., Franco, C. R. C., Khan, I. A., & Budel, J. M. (2018). Anatomy and microscopy of piper caldense, a folk medicinal plant from Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.11.004>
- Dousseau, S., de Souza C, I., de Castro, M., Alves A, A., Alves, E., Pereira, P, B. E J, Silva, J. J. M., & Pereira, V. B. (2014). Caracterización del limbo de *Piper aduncum* L.

- (Piperaceae): Análisis estructurales, histoquímicos y de sus aceites esenciales. *Gayana Bot*, 71(1), 147–162.
- Duarte, M. D. R., & Siebenrock, M. C. N. (2010). Caracteres anatômicos de folha e caule de *Piper mikanianum* (Kunth) Steud., Piperaceae. *Latin American Journal of Pharmacy*, 29(1).
- Esau, K. (1977). Anatomy of Seed Plants, 2nd Edition. *Anatomy of Seed Plants, 2nd Edition*.
- Evans, W. Charles. (1991). *Trease y Evans Farmacognosia* (13a. ed.). Interamericana-McGraw-Hill,.
- Evert, R. Franklin., & Esau, K. (2008). *Esau anatomía vegetal: meristemas, células y tejidos de las plantas: su estructura, función y desarrollo*.
- Gogosz, A. M., Boeger, M. R. T., Negrelle, R. R. B., & Bergo, C. (2012). Anatomia foliar comparativa de nove espécies do gênero *Piper* (Piperaceae). *Rodriguésia*, 63(2). <https://doi.org/10.1590/s2175-78602012000200013>
- Hickey, L. J. (1973). Classification of the Architecture of Dicotyledonous Leaves. *American Journal of Botany*, 60(1). <https://doi.org/10.2307/2441319>
- Jaramillo, M. A., & Callejas, R. (2004). Current Perspectives on the Classification and Phylogenetics of the Genus *Piper* L. In *Piper: A Model Genus for Studies of Phytochemistry, Ecology, and Evolution*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30599-8_10
- Jaramillo, M. A., & Manos, P. S. (2001). Phylogeny and patterns of floral diversity in the genus *Piper* (Piperaceae). In *American Journal of Botany* (Vol. 88, Issue 4).
- Kloucek, P., Polesny, Z., Svobodova, B., Vlkova, E., & Kokoska, L. (2005). Antibacterial screening of some Peruvian medicinal plants used in Callería District. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(2), 309–312. <https://doi.org/10.1016/J.JEP.2005.01.062>
- Lentz, D. L., Clark, A. M., Hufford, C. D., Meurer-Grimes, B., Passreiter, C. M., Cordero, J., Ibrahim, O., & Okunade, A. L. (1998). Antimicrobial properties of Honduran medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 63(3), 253–263. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(98\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00100-7)
- Lock, O. (1994). *Investigación Fitoquímica: Métodos en el Estudio de Productos Naturales* (2a. ed.). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lock, O., & Rojas, R. (2004). *Química y Farmacología del Piper aduncum* L. (“Matico”).
- Maia, J. G. S., Silva, M. L., Luz, A. I. R., Zogbi, M. G. B., & Ramos, L. S. (1987). Espécies de *Piper* da Amazônia ricas em safrol. *Química Nova*, 10(3), 200–204. http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4902
- Martins, A. P., Salgueiro, L., Vila, R., Tomi, F., Cañigual, S., Casanova, J., Proença Da Cunha, A., & Adzet, T. (1998). Essential oils from four *Piper* species. *Phytochemistry*, 49(7), 2019–2023. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00391-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00391-4)
- Mejia, K., & Rengifo, E. (2000). *Plantas Medicinales de uso Popular en la Amazonia Peruana*. 2da. ed. Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana.
- Metcalf, C. R., & Chalk, L. (1957). *Anatomy of the Dicotyledons, 2 Vols., 1st ed.* Clarendon Press.
- Nakamura, A. T., Simão, E., Silva, L., & Torres, G. A. (2015). Origin of the subepidermal tissue in *Piper* L. Leaves. *Brazilian Journal of Biology*, 75(2), 368–371. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.13713>
- Nascimento, M. E., & Vilhena-Potiguara, R. C. (1999). Aspectos anatômicos dos órgãos vegetativos de *Piper hispidinervium* C.DC. (Piperaceae) e suas estruturas secretoras. Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica, 15 (1). <https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/619>
- Paco, K., Ponce-Soto, L. A., Lopez-Illasaca, M., & Aguilar, J. L. (2016). Determination of the healing effect of *Piper aduncum* (spiked pepper or matico) on human fibroblasts. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 33(3), 438–447. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2016.333.2329>
- Parmar, V. S., Jain, S. C., Gupta, S., Talwar, S., Rajwanshi, V. K., Kumar, R., Azim, A., Malhotra, S., Kumar, N., Jain, R., Sharma, N. K., Tyagi, O. D., Lawrie, S. J., Errington, W., Howarth, O. W., Olsen, C. E., Singh, S. K., & Wengel, J. (1998).

Recibido:
13/octubre/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- Polyphenols and alkaloids from piper species. *Phytochemistry*, 49(4), 1069–1078. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00208-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00208-8)
- Pessini, G. L., Albiero, A. L. M., Mourão, K. S. M., Nakamura, C. V., Dias Filho, B. P., & Cortez, D. A. G. (2003). Análise Farmacognóstica de *Piper regnellii* (Miq.) C. DC. var. *pallescens* (C. DC.) Yunck: Aspectos Botânicos e Enfoque Físico-químico Preliminar. *Acta Farmaceutica Bonaerense*, 22(3).
- Quijano-Abril, M. A., Silva-Sierra, D., & Callejas-Posada, R. (2013). Caracterización anatómica de los ejes caulinares en las especies de *Piper* (L.) Clado Enckea (Piperaceae). In *Actual Biol* (Vol. 35, Issue 99).
- Silva, E. María., & Machado, S. R. (1999). Estrutura e desenvolvimento dos tricomas secretores em folhas de *Piper regnellii* (Miq.) C. DC. var. *regnellii* (Piperaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, 22(2), 117–124. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000200002>
- Silva-Alarcón, J., Cabrera Meléndez, J., Trujillo Villaruel, O. v., & Reyes-Mandujano, I. F. (2019). Características de las plantas medicinales comercializadas en diferentes mercados de Lima Metropolitana y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud pública. *Horizonte Médico (Lima)*, 19(4), 63–69. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2019.v19n4.09>
- Soto-Vásquez, M. R. (2015). Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper peltatum* L. y *Piper aduncum* L. procedentes de la región Amazonas. In *Crescendo*, 6(1). <https://doi.org/10.21895/incre.2015.v6n1.04>
- Soukup, J. (1987). *Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y Catálogo de los géneros*. Editorial Salesiana.
- Souza, L. A., Moscheta, I. S., & Oliveira, J. H. G. (2004). Comparative Morphology and Anatomy of the Leaf and Stem of *Peperomia dahlstedtii* C.DC., *Ottonia martiana* Miq. and *Piper diospyrifolium* Kunth (Piperaceae). *Gayana Bot*, 61(1), 6–17.
- Tebbs, M. C. (1993). Revision of *Piper* (Piperaceae) in the New World 3. The taxonomy of *Piper* sections *Lepianthes* and *Radula*. *Bulletin of the Natural History Museum. Botany Series*, 23, 2–51.
- Tirillini, B., Velasquez, E. R., & Pellegrino, R. (1996). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Piper angustifolium*. *Planta Medica*, 62(4), 372–373. <https://doi.org/10.1055/S-2006-957911/BIB>
- Trelease, W. (1950). *The Piperaceae of northern South America*. University of Illinois Press.
- Vásquez, R. (Vásquez M., Rudas Lleras, A., Taylor, C. M. (Charlotte M., John D. and Catherine T. MacArthur Foundation., & Missouri Botanical Garden. (1997). *Flórula de las reservas biológicas de Iquitos, Perú: Allpahuayo-Mishana, Explornapo Camp, Explorama Lodge* (Vol. 63). Missouri Botanical Garden.
- Zaa, C., Valdivia, M., & Marcelo, Á. (2012). Efecto neuroprotector del extracto hidroalcohólico de *Piper aduncum* “matico” en un modelo *in vitro* de neurodegeneración. *Revista Peruana de Biología*, 19(3). <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i3.997>

**EVALUATION OF THE
HYPOGLYCEMIC EFFECT OF *Tectaria
heracleifolia* (Willd.) UNDERW. IN MICE
WITH INDUCED TYPE 2 DIABETES**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO
HIPOGLUCEMIANTE DE *Tectaria
heracleifolia* (Willd.) UNDERW. EN
RATONES CON DIABETES INDUCIDA
TIPO 2**

Luna-Rodríguez, A.K.; M.A. Zenil-Zenil; S. Cristians; A.M. Osuna-Fernández y H.R. Osuna-Fernández.

EVALUATION OF THE HYPOGLYCEMIC EFFECT OF *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. IN MICE WITH INDUCED TYPE 2 DIABETES.

EVALUACIÓN DEL EFECTO HIPOGLUCEMIANTE DE *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. EN RATONES CON DIABETES INDUCIDA TIPO 2.



EVALUATION OF THE HYPOGLYCEMIC EFFECT OF *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. IN MICE WITH INDUCED TYPE 2 DIABETES.

EVALUACIÓN DEL EFECTO HIPOGLUCEMIANTE DE *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. EN RATONES CON DIABETES INDUCIDA TIPO 2.

Luna-Rodríguez, A.K.;
M.A. Zenil-Zenil;
S. Cristians;
A.M. Osuna-Fernández
y H.R. Osuna-Fernández.

EVALUATION OF THE
HYPOGLYCEMIC EFFECT
OF *Tectaria heracleifolia*
(Willd.) Underw. IN MICE
WITH INDUCED TYPE 2
DIABETES.

EVALUACIÓN DEL EFECTO
HIPOGLUCEMIANTE DE
Tectaria heracleifolia (Willd.)
Underw. EN RATONES CON
DIABETES INDUCIDA
TIPO 2.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 203-217. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.13

A.K. Luna-Rodríguez

M.A. Zenil-Zenil

Laboratorio de Estructura y Fisiología de Plantas,
Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico

S. Cristians

Laboratorio de Etnobotánica Integrativa Jardín Botánico, Instituto de Biología,
Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico

A.M. Osuna-Fernández

Laboratorio de Biología Vegetal, Departamento el Hombre y su Ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Mexico City, Mexico

H.R. Osuna-Fernández / hrof@ciencias.unam.mx

Laboratorio de Estructura y Fisiología de Plantas,
Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico.

ABSTRACT: Diabetes mellitus (DM) is a major global health concern. About 463 million people worldwide live with DM. Type 2 DM (T2DM) is the most common in 90% of cases; is a complex metabolic disorder in which beta cells do not produce enough insulin and/or the body is resistant to insulin action. Oral antidiabetic drugs are part of the treatment to reduce and control this metabolic disorder; however, they have side effects. People with DM use medicinal plants as complementary treatment or alternative before medication is prescribed or together with the medication. *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. is a fern that has been reported in ethnobotanical studies to treat renal disorders, acne, and diabetes. This study is the first to evaluate the *in vivo* hypoglycemic effect of *T. heracleifolia* in mice with nicotinamide/streptozotocin (NA/STZ) induced T2DM using the commercial oral hypoglycemic agent glibenclamide as a positive control and 0.9% saline solution as negative control. Tests were conducted using normoglycemic mice and hyperglycemic mice. Both control and doses of 30, 100, and 300 mg/kg of the aqueous extract of *T. heracleifolia* were orally administered to mice and glucose assessment was performed at the following time points: 0, 1.5, 3, 5, and 7 h after extract administration. Acute toxicity tests were performed based on Lorke's methodology. Qualitative tests were performed to detect the main groups of secondary metabolites such as alkaloids, glycosides, terpenes, and flavonoids. In the hyperglycemic animals, a statistically significant difference ($p < 0.05$) was observed in the groups that received 100 mg/kg and 300 mg/kg of the aqueous extract when compared to the negative control. The presence of glycosides, phenolic compounds, and flavonoids in the aqueous extract could be related with the hypoglycemic activity. The extract is considered safe as the acute toxicity test showed a median lethal dose value (LD_{50}) of 5065.177 mg/kg. The findings of the study support the traditional use of *T. heracleifolia* as a hypoglycemic agent in T2DM.

Key words: Acute toxicity, Antidiabetic effect, "Hierba del sapo", Medicinal fern.

RESUMEN: La diabetes mellitus (DM) es una de las principales preocupaciones sanitarias a nivel mundial. Unos 463 millones de personas en todo el mundo padecen DM. La DM de tipo 2 (DMT2) es la más común en el 90% de los casos; es un trastorno metabólico complejo en el que las células beta no producen suficiente insulina y/o el organismo es resistente a la acción de la insulina. Los fármacos antidiabéticos orales forman parte del tratamiento para reducir y controlar este trastorno metabólico; sin embargo, tienen efectos secundarios. Las personas con DM utilizan las plantas medicinales como tratamiento complementario o alternativo antes de que se les prescriba la medicación o junto con ella. *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. es un helecho del que se ha informado en estudios etnobotánicos para tratar trastornos renales, acné y diabetes. Este estudio es el primero que evalúa el efecto hipoglucémico *in vivo* de *T. heracleifolia* en ratones con DMT2 inducida por nicotinamida/estreptozotocina (NA/STZ), utilizando el agente hipoglucémico oral comercial glibenclamida como control positivo y solución salina al 0.9% como control negativo. Las pruebas se realizaron con ratones normoglucémicos e hiperglucémicos. Tanto el control como las dosis de 30, 100 y 300 mg/kg del extracto acuoso de *T. heracleifolia* se administraron por vía oral a los ratones y la evaluación de la glucosa se realizó en los siguientes puntos temporales 0, 1.5, 3, 5 y 7 h después de la administración del extracto. Las pruebas de toxicidad aguda se realizaron según la metodología de Lorke. Se realizaron pruebas cualitativas para detectar los principales grupos de metabolitos secundarios, como alcaloides, glucósidos, terpenos y flavonoides. En los animales hiperglucémicos, se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en los grupos que recibieron 100 mg/kg y 300 mg/kg del extracto acuoso en comparación con el control negativo. La presencia de glucósidos, compuestos fenólicos y flavonoides en el extracto acuoso podría estar relacionada con la actividad hipoglucémica. El extracto se considera seguro, ya que la prueba de toxicidad aguda mostró un valor de dosis letal media (DL_{50}) de 5065.177 mg/kg. Los resultados del estudio apoyan el uso tradicional de *T. heracleifolia* como agente hipoglucemiante en la DMT2.

Palabras clave: Efecto antidiabético, Helecho medicinal, “Hierba del Sapo”, Toxicidad aguda.

INTRODUCTION

Diabetes mellitus (DM) is a global health emergency. In 2019, about 463 million people were reported to have DM, and a yearly increase in the number of cases was estimated (IDF, 2019). Diabetes is a severe and long-term heterogeneous metabolic disorder that occurs because of hyperglycemia caused by impaired insulin secretion, defective insulin action, or both. Developing diabetes results from a combination of many environmental and genetic factors (Ekoó, 2019; IDF, 2019; Powers *et al.*, 2018; Punthakee *et al.*, 2018). Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is the most common type of diabetes accounting for about 90% of the cases of diabetes worldwide (IDF, 2019).

T2DM is a complex metabolic disorder in which beta cells do not produce enough insulin and/or the body is resistant to insulin action. Hyperglycemia occurs because of reduced insulin secretion or insulin resistance and increased hepatic production of glucose (Jean-Marie, 2018; Powers *et al.*, 2018; Punthakee *et al.*, 2018). If diabetes is left untreated, it can lead to cardiovascular complications (e.g., cardiovascular disease), nerve injuries (e.g., neuropathy), kidney diseases (e.g., nephropathy), eye disorders (e.g., retinopathy, vision loss, and blindness), and amputations. These types of complications contribute to increased premature mortality and lower quality of life for the patient (Cristians *et al.*, 2015; IDF, 2019; Hu & Jia, 2019; Surya *et al.*, 2014).

According to the IDF (2019), one in seven adults has DM. The North America and the Caribbean region, which Mexico is a part of, has the highest prevalence of abnormal glucose tolerance (more than 12%), a condition that is commonly associated with prediabetes or the risk of developing T2DM. In addition, this region accounts for 43% of the world's healthcare expenditure. It is estimated that the expenditure for diabetes of one person per year in Mexico is US\$1328.5 (IDF, 2019). In 2019, 438,393 new cases of T2DM were reported in Mexico with a higher incidence in the age group of 50-59 years (Secretaría de Salud, 2019).

Currently, oral antidiabetic drugs are used to treat diabetes. For example, sulfonylureas (e.g., glibenclamide), biguanides (e.g., metformin), glinides (e.g., repaglinide, nateglinide and mitiglinide), thiazolidinediones (pioglitazone and rosiglitazone), α -glucosidase inhibitors (e.g., acarbose and miglitol), GLP-1 RAs and DPP-4 inhibitors, SGLT2 inhibitors (Hu & Jia, 2019; Surya *et al.*, 2014). Although oral antidiabetic drugs are widely used in the control of hyperglycemia, they have undesirable side effects that reduce the quality of life of patients. Therefore, their use is limited (Gulmez & Kulak, 2021; Salehi *et al.*, 2019; Seetaloo *et al.*, 2019; Surya *et al.*, 2014). For example sulfonylurea and glinides (glinides) may cause weight gain and hypoglycemia; biguanides may induce weakness, and lactic acidosis; metformin may cause stomach problems; α -glucosidase inhibitors may cause diarrhea; the main adverse effects of SGLT2 inhibitors are urinary tract infection and genital infection and nasopharyngitis is the most frequently reported adverse event associated with DPP-4 inhibitors (Hu & Jia, 2019; Seetaloo *et al.*, 2019; Surya *et al.*, 2014).

Most of the world's population relies on herbal medicines for their health care needs (Gupta *et al.*, 2018; Surya *et al.*, 2014). Plant species produce secondary metabolites that are biologically active constituents with therapeutic and prophylactic applications in humans (Anwar *et al.*, 2019; Durazzo *et al.*, 2018). In plant research on T2DM treatment, the most mentioned secondary metabolites are alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, phenolic compounds, glycosides, terpenoids, polyphenols, terpenes, quinones, coumarins, anthocyanin (Castro *et al.*, 2014; Hu & Jia, 2019; Salehi *et al.*, 2019; Shehadeh *et al.*, 2021). The potential mechanisms of natural products against T2DM occur through several therapeutic targets and signaling pathways, either individually or synergistically (Castro *et al.*, 2014; Gupta *et al.*, 2018; Hu & Jia, 2019).

The utilization of herbs and spices that can act on carbohydrate and lipid metabolism, could contribute to the regulation of blood glucose has been reported (Hu & Jia, 2019; Seetaloo *et al.*, 2019). Medicinal plants with antidiabetic properties may be a useful source for the development of safer and more effective oral hypoglycemic agents (Gulmez & Kulak, 2021; Surya *et al.*, 2014). For example, in Mexico, the use of medicinal plants for the treatment of diabetes is frequent (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005; Castro *et al.*, 2014; Gupta *et al.*, 2018). Traditional knowledge is a key source of information in the development of new plant-based drugs. For example, metformin, derived from the plant *Galega officinalis* L., is one of the most widely used antidiabetics (Seetaloo *et al.*, 2019).

In Mexico diabetic patients, having or not having been prescribed antidiabetic drugs by their physicians, often use medicinal plants (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005). Some patients even stop using allopathic medicine and opt for medicinal plants because of their low cost and easy accessibility. In this scenario, studies that support the use of medicinal plants for treating T2DM are crucial (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005; Gulmez & Kulak, 2021; Mata-Torres *et al.*, 2020; Mata *et al.*, 2013).

Pteridophytes are not as widely used in traditional medicine as angiosperms (Ho *et al.*, 2011). However, several types of pteridophytes are used in alternative medicine systems such as Ayurvedic, Unani, and homeopathic (Ho *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2020). Some uses of pteridophytes are deeply rooted in cultural minorities or tribes such as those in India (Rao *et al.*, 2007; Tanzin *et al.*, 2013). Thanks to phytochemical and pharmacological research, the anti-inflammatory, diuretic, purgative, and antibacterial properties of some pteridophytes are better known (Ho *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2020).

In traditional Mexican medicine a fern, *Tectaria heracleifolia* (Willd.) Underw. (Dryopteridaceae), is reported in ethnobotanical studies for the treatment of "urine sickness" and diabetes (Fig. 1) (Alonso-Castro *et al.*, 2012; Avelino-Flores *et al.*, 2019). Several plants originally used as antidiabetics are also used for renal complications (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005). *T. heracleifolia* has other uses, for example, it is used to treat "air," wounds, coughs, headache, postpartum pain, vertigo, toothache, heart attack infections, skin imperfections, among other uses (Alonso-Castro *et al.*, 2012; Andrade-Cetto, 2009; Domínguez & Alcorn, 1985; Martínez, 1984; Zamora-Martínez & Nieto de Pascual, 1992). More recently its antioxidant and anti-inflammatory activity has been proven (Castrejón-Arroyo *et al.*, 2016). There is a record of its average effect as molluscicidal and insecticide in bioassays of the

aqueous extract of its rhizome (Domínguez & Alcorn, 1985). In Cazon de Herrera (Veracruz, Mexico) it is known as "hierba del sapo" or "mano de sapo" and it is recommended for cancer and diabetes; for the latter an infusion is prepared with three leaves in a liter of water (Romo, 2013). Because there is no pharmacological report on the hypoglycemic effect of *T. heracleifolia* exists this study aimed to evaluate the hypoglycemic effect *in vivo* of the aqueous extract using a NA/STZ-induced T2DM model, the safety of the extract using the Lorke protocol (Lorke, 1983) and qualitative tests to detect secondary metabolites.



Fig. 1. *T. heracleifolia* frond. **A:** adaxial face. **B:** abaxial face.

METHODS

Plant material

In September 2013, adult fronds of *T. heracleifolia* were collected in ejido "La Encantada", Cazon de Herrera, Veracruz, Mexico. Herbarium specimens were submitted to the IMSS Herbarium (IMSSM, specimen number 16278) and to the Science Faculty Herbarium (FCME, specimen number 41537).

Obtention of the aqueous extract

After collection, the plant material was dried in an oven at 25 °C for one week. The fronds were separated from the petioles. They were fragmented using a manual mill and infused to obtain an aqueous extract. For the infusion, two liters of distilled water were boiled, 40 g of leaf fragments was added, and the heating source was turned off. Subsequently, two filtrations of the aqueous extract were conducted in a laminar flow hood using sterilized material. The first filtration and the second filtration were performed through two sterile gauzes and two discs of Whatman No. 1 filter paper, respectively. The filtrate was added into sterile glass bottles that were protected from light and frozen for subsequent lyophilization.

Qualitative screening for secondary metabolites

Colorimetric and precipitation techniques were performed using 30, 100, and 300 mg of the aqueous extract to determine the presence of main groups of secondary metabolites in the *T. heracleifolia* aqueous extract. The presence of terpenes was determined by the Libermann-Burchard test (positive result: presence of a green - bluish-green color); alkaloids was determined by the Dragendorff test (positive result: orange-brown precipitate); flavonoids by Shinoda test (positive result: effervescence); and glycosides by Mölisch test (positive result: violet ring at the interphase) (Cristians *et al.*, 2015).

Experimental animals

Male ICR mice with a body weight of 25-30 g were used (30 – 25 days old). The assays were performed at the Production and Experimentation Unit of Laboratory Animals of the Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). The internal committee for the care and use of laboratory animals (CICUAL, UAM-X) approved the protocol. Animals were kept under the same conditions of temperature, humidity, and lighting during the treatments. The volume of administration of the substances used for the treatments was calculated based on NOM-062-ZOO-1999 (DOF, 2001).

Acute toxicity

The acute toxicity test was performed in two stages in which different doses of the aqueous extract were tested. Depending on the number of animal deaths observed in the first stage, the second stage was conducted, which was characterized by the administration of the highest doses of the aqueous extract (Lorke, 1983).

In the first stage, three mice were allocated to three groups for each dose evaluated (10, 100, 1000 mg/kg), and three mice were allocated to the control group (0.9% saline solution). Subsequently, all animals fasted for five hours, the aqueous extract was dissolved in a 0.9% saline solution and administered it orally to the mice using an orogastric tube. The total volume of the substance was administered according to NOM-062-ZOO-1999 (0.2 mL/10 g) (DOF, 2001).

Mice were observed at the time of administration and during 1, 2, 6, and 24 hours, as well as daily for a period of 15 days. After the administration of the treatments, the mice had *ad libitum* access to food and water.

The second toxicity test was performed based on the results obtained in the first acute toxicity test. The doses used were 1600, 2900, and 5000 mg/kg, and then were calculated according to the results of the first stage and based on the algorithm proposed by Lorke (1983). The second stage was conducted under the same conditions as those in the first stage and using the same observation schedule.

The calculation of the median lethal dose (LD₅₀) was used as a parameter of the extract toxicity. The LD₅₀ for these cases was calculated using the log-probit regression method (Lorke, 1983). The logistic model of grouped data was adjusted [$\log(\pi/1-\pi)$]. At the end of both stages, the mice were placed in CO₂ chambers to proceed with euthanasia according to the NOM-062-ZOO-1999 followed by the revision of the general state of their organs (DOF, 2001).

Nicotinamide/Streptozotocin-induced diabetic models in male mice.

Forty male ICR mice weighing 25-30 g with a fasting period of 5 hours were used. Nicotinamide (NA 50 mg/kg SIGMA®) was administered by intraperitoneal (IP) injection to all the animals. Subsequently, the animals were IP administered with a dose (120 mg/kg) of streptozotocin (STZ, SIGMA®) to induce DM. This protocol is intended to protect pancreatic beta cells from excessive oxidative damage caused by STZ, thus ensuring the generation of a physiological response similar to that of T2DM (Masiello et al., 1998). The volume used for the IP administration (0.1 mL/10 g) was calculated based on NOM-062-ZOO-1999 (DOF, 2001).

STZ was prepared in a pH 4.5 citrate buffer (concentration: 7.5 mg/mL, dosage: 50 mg/kg mouse). The solution was kept cool and protected from light (Brosius, 2015). One week after NA/STZ administration, blood glucose levels of the mice were measured to ensure agreement with the T2DM conditions (≥ 200 mg/dL). Once the high glucose levels were determined in blood, the evaluation of the acute hypoglycemic activity of the *T. heracleifolia* aqueous extract was conducted (Mata et al., 2013).

Evaluation of the hypoglycemic effect

Doses of 30, 100, and 300 mg/kg of the lyophilized *T. heracleifolia* aqueous extract were evaluated. Saline (0.9%) and 10 mg/kg glibenclamide (SIGMA®) were used as negative and positive control,

respectively. Ten groups of eight mice per group were formed. Five groups were induced to T2DM, while the other five groups were kept normal. All the mice fasted for 5 hours before the experiment. Subsequently, the aqueous extract dissolved in a 0.9% saline solution was orally administered to all mice using an orogastric tube. The volume of administration was calculated according to the NOM-062-ZOO-1999 (0.2 mL/10 g).

Blood glucose was measured with a glucometer and reagent strips (ACCU- CHECK Performa, Roche® Laboratories), through a single cut in the caudal apex, no larger than 1 mm. Glucose assessment was performed at the following time points: 0, 1.5, 3, 5, and 7 h after extract administration (Mata *et al.*, 2013). The percentage of glucose variation was used as a variable to define the changes in the glucose levels. For glucose measurements after the time point 0, the dried blood was removed from the caudal apex using a moistened piece of paper so that a new drop of blood could be taken in the following measurements.

Statistical analysis

The results were analyzed using analysis of variance (ANOVA) with $\alpha = 0.05$ and Dunnett *post hoc* tests using the statistical software Graph Path Prisma 5.0.

For the description of the acute hypoglycemic activity, the test results were plotted as a function of the percentage of glucose variation with respect to the time points 0, 1.5, 3, 5, and 7 h (Mata *et al.*, 2013). The area under the curve (AUC) plots prepared to observe the overall glucose level difference between treatments.

RESULTS

The yield of the aqueous extract was 13.5% (5.4 g). The tests for the identification of secondary metabolites produced positive results for alkaloids, flavonoids, and glycosides (Table 1).

Table 1. Qualitative tests for the identification of secondary metabolites in the *T. heracleifolia* aqueous extract (- negative result, + slightly positive, ++ positive, +++ strongly. positive).

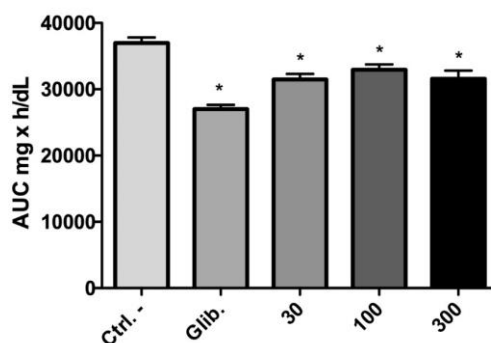
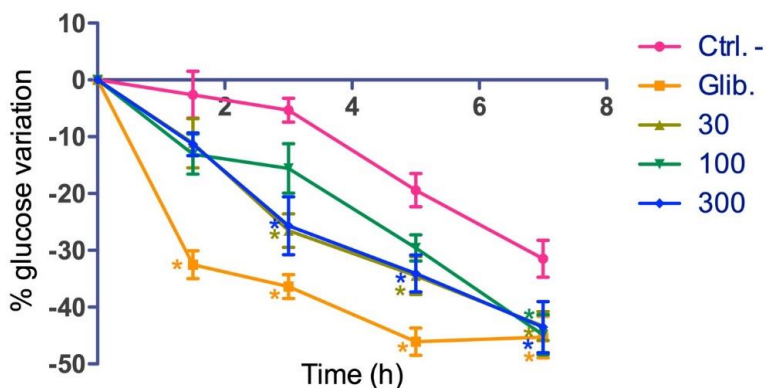
| Concentration (mg/mL) | Terpenes | Alkaloids | Flavonoids | Glycosides |
|-----------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 30 | - | ++ | + | +++ |
| 100 | - | ++ | ++ | +++ |
| 300 | - | ++ | +++ | +++ |

In the acute toxicity test, no physiological or behavioral alterations were produced in the animals up to the dose of 5000 mg/kg where the death of the second individual administered occurred (Déciga-Campos *et al.*, 2007). At necropsy, no alterations in the internal organs were observed either. Therefore, the LD₅₀ of the *T. heracleifolia* aqueous extract was 5065.177 mg/kg (Table 2).

Table 2. Number of deaths of experimental subjects in the acute toxicity test of the *T. heracleifolia* aqueous extract.

| Dose (mg/kg) | Deaths |
|--------------|--------|
| 10 | 0/3 |
| 100 | 0/3 |
| 1000 | 0/3 |
| 1600 | 0/3 |
| 2900 | 0/3 |
| 5000 | 1/3 |

In normoglycemic mice, significant differences were observed in all treatments with respect to the negative control (0.9% saline) (Fig. 2). Differences at 3, 5, and 7 h were observed for the 30 and 300 mg/kg doses, while differences at 7 h were observed for the 100 mg/kg dose (Fig. 3). Glibenclamide showed a significant difference in all the time points and doses evaluated (Fig. 3).

**Fig. 2.** Area Under Curve (AUC) reflecting the overall effect of treatment on glucose levels in normoglycemic mice. Ctrl. - = Negative control. * Indicates significant statistical differences. $p < 0.05$ Dunnett's *post hoc* test.**Fig. 3.** Percentage of blood glucose variation over time in normoglycemic mice. Ctrl. - = Negative control. Each value is the mean \pm SEM. * $p < 0.05$, $n=8$. Dunnett's *post hoc* test.

One week after inducing diabetes with STZ/NA, hyperglycemia, high blood glucose levels (≥ 200 mg/dL), a decrease in weight, frizzled hair, and increased water consumption were observed. Significant differences were observed for the 100 and 300 mg/kg doses of the *T. heracleifolia* aqueous extract and glibenclamide with respect to the control (Fig. 4). For the hypoglycemic effect of the extract and its relationship with the hours after oral administration, significant differences were observed with respect to the control (saline 0.9%). For the hypoglycemic effect of the extract and its relation to the hours after oral administration, significant differences were found with respect to the negative control at the 100 mg/kg dose at 3 and 5 h, as well as at the 300 mg/kg dose at hour 5 (Fig. 5).

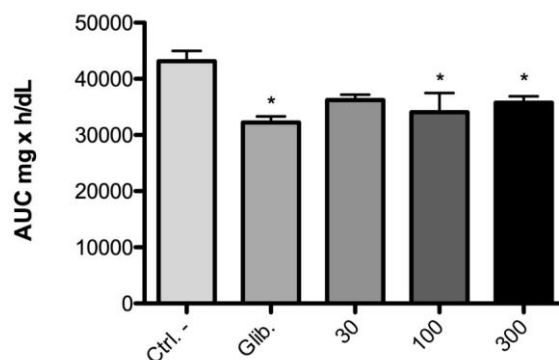


Fig. 4. Area Under Curve (AUC) reflecting the overall effect of treatment on glucose levels in hyperglycemic mice. Ctrl. - = Negative control. * Indicates significant statistical differences. $p < 0.05$ Dunnett's *post hoc* test.

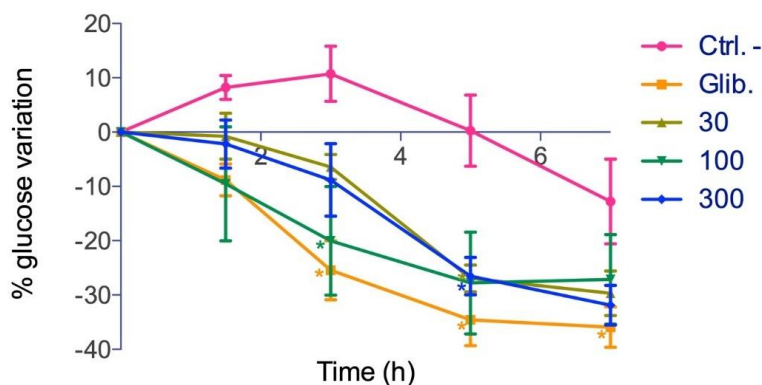


Fig. 5. Percentage of blood glucose variation over time in hyperglycemic mice. Ctrl. - = Negative control. Each value is the mean \pm SEM. * $p < 0.05$, $n=8$. Dunnett's *post hoc* test.

DISCUSSION

In Mexico, pteridophytes most commonly used as medicinal plants are various species of the genus *Equisetum*, which is reported to have a hypoglycemic effect (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005; Andrade *et al.*, 2000). In the case of *T. heracleifolia*, this study is the first to report its hypoglycemic activity. Regarding the Tectariaceae family, Tsun-Thai *et al.* (2015) observed

that of six fern aqueous extracts of *Pleocnemia irregularis* (Tectariaceae family), *Christella dentata* and *Nephrolepis acutifolia*, showed hypoglycemic activity, and their high flavonoid content could be key in their bioactive activity. Regarding the genus *Tectaria*, Rao *et al.* (2007) mentioned the ethnobotanical use of *Tectaria macrodonta* for stomach pain. In *Tectaria paradoxa* Manivannan & Johnson, 2020 quoted the antidiabetic, anti-inflammatory, and cytotoxic activity, containing phenols, tannins, flavonoids, and triterpenes. The assay of antidiabetic activity with the methanolic extract by evaluating α -amylase inhibition *in vitro* was the most effective (Manivannan & Johnson, 2020).

The antioxidant and anti-inflammatory activity of *T. heracleifolia* has been reported as well as the presence of flavonoids and phenols in this species (Castrejón-Arroyo *et al.*, 2016). The bioactive activity of ferns is mainly due to the presence of terpenes, such as ecdysteroids, flavonoids, alkaloids, and phenols (Ho *et al.*, 2011; Manivannan & Johnson, 2020). In this study, qualitative phytochemical tests revealed the presence of alkaloids, flavonoids, and glycosides. Glycosides produced a strong positive reaction at all concentrations evaluated (Table 1). In the case of *T. heracleifolia* rhizome there is a report of the presence of β -sitosterol, terpenoids and tannins by phytochemical screening (Domínguez & Alcorn, 1985).

Flavonoids have diverse biological activities, including decrease of blood lipids, liver protection, hypoglycemic effect, and anti-inflammatory activity (Ho *et al.*, 2011). Flavonoids such as kaempferol or catechins are natural antioxidants, and they may be beneficial in the management of diabetes because they could attenuate the oxidative stress that occurs in diabetes (Salehi *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2020). Flavonoids such as naringenin and rutin are involved in decreasing renal, muscles and organs glucose absorption, helping in cases of insulin resistance (Salehi *et al.*, 2019). Similarly, quercetin, fisetin, and morin are flavonoids that intervene in relevant molecular mechanisms (Salehi *et al.*, 2019). Alkaloids such as lupanine, boldine, and berberine possibly intervene in insulin signaling pathways in different cells (Salehi *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2020). Glycosides act on lipids and have antioxidant properties (Zhu *et al.*, 2021). Therefore, we can assume that the hypoglycemic activity of *T. heracleifolia* could be mainly due to the presence of flavonoids and glycosides.

In this study, the antidiabetic evaluation of the *T. heracleifolia* aqueous extract compared with a commercial oral hypoglycemic drug of the sulfonylurea type, glibenclamide, was conducted in an *in vivo* model. Glibenclamide as a positive control showed the expected effects. In normoglycemic animals, a hypoglycemic effect was observed in the three evaluated doses of the aqueous extract (30, 100, and 300 mg/kg). The effect of the aqueous extract was observed after 3 h, while the effect of the drug was observed after 1.5 h. Furthermore, the aqueous extract had progressive effectiveness for up to 7 hours after administration without losing its effect. There were significant differences between glibenclamide and the doses of *T. heracleifolia* aqueous extract suggesting that despite the difference in their chemical nature, they both show a progressive hypoglycemic effect (Fig. 2).

Glibenclamide is a second-generation sulfonylurea, so its action is stronger and has a longer effect. It is a type of insulin secretagogue that acts on the pancreas stimulating insulin secretion in pancreatic β cells (Hu & Jia, 2019). The hypoglycemic effect observed in the *T. heracleifolia* aqueous extract, could suggest an insulin sensitizer or secretagogue activity. The *post hoc tests* revealed that there was no significant difference among the three concentrations of the aqueous extract. Therefore, the effectiveness of the treatment for the normoglycemic animals did not depend directly on the concentration of the extract.

In the hyperglycemic mice, glibenclamide began to have an effect after 3 h, while in the normoglycemic mice it had an effect at 1.5 h (Fig. 2). This result may indicate the relationship between the time of action of the drug and the physiological condition of the mice. However, the *T. heracleifolia* aqueous extract began to have an effect at 3 h at a dose of 100 mg/kg (Fig. 5). The 30 mg/kg dose was not significant compared with the rest of the treatments at any time

after the administration of the extract (Fig. 3). Therefore, this dose was insufficient in producing the desired effect in hyperglycemic mice unlike in normoglycemic mice. An arising question is whether the concentration of secondary metabolites was insufficient to achieve the desired effect. For the 100 mg/kg dose, the effect was observed 3 h after the administration of the extract. Meanwhile, no significant differences were observed at 7 h, possibly because the hyperglycemia of the experimental model affects the time of action of the extract. Therefore, the activity of the *T. heracleifolia* aqueous extract is like the positive control, and the delay in action is a function of the condition of the animals. Furthermore, the fasting hours (12 h) should be considered because they denote the period in which the gluconeogenesis process could have been initiated, and thus the effect of the extract and the drug was diminished. The 300 mg/kg dose showed significant differences at 5 h and no significant differences at 7 h. Like the effect observed with the 100 mg/kg dose, the effect detected with the 300 mg/kg dose could be because the disease affected the duration of action of the extract. Only glibenclamide maintained the duration of treatment effect over time.

From the graph 5, it is observed that the aqueous extract treatments and glibenclamide exhibit the same trend; however, both cases exhibit a trend different from that of the negative control. Evaluations have shown that combining glibenclamide with an aqueous extract has a beneficial effect on glycemia (Gordillo *et al.*, 2012). In Mexico, a study have demonstrated the hypoglycemic effect of the aqueous and butanolic extracts of a pteridophyte (*Equisetum myriochaetum*) with activity similar to sulfonylurea in mice with T2DM induced by STZ (Andrade *et al.*, 2000). In these studies, a phytochemical analysis was performed and glycosides were found to be the main metabolites responsible for the hypoglycemic effect (Andrade *et al.*, 2000). As shown in Table 1, glycosides were the most abundant metabolites found in this study. The *E. myriochaetum* aqueous extract was evaluated clinically in 11 recently diagnosed diabetic patients. Hypoglycemic activity of the extract was reported. However, when insulin was measured in patients, it was observed that the mechanism of the pteridophyte was not similar to that of the secretagogue glibenclamide (Andrade-Cetto *et al.*, 2002). It is possible that our plant, which displays activity similar to glibenclamide, does not exert the same mechanism of action. However, this information cannot be affirmed because *E. myriochaetum* and *T. heracleifolia* belong to different taxa, and their detailed chemical composition is unknown. It would be important to perform further research to elucidate the mechanism of action of medicinal *T. heracleifolia*.

Tanzin *et al.* (2013) evaluated the effect of the methanolic extract of *Christella dentata* in mice and showed that it has a hypoglycemic effect comparable to that of glibenclamide. The ethanolic and aqueous extracts of *Adiantum philippense* were evaluated in mice, and they showed a significant hypoglycemic effect with glibenclamide used as a positive control. The 2000 mg/kg dose was found to be safe in their toxicity protocol (Paul *et al.*, 2012). This dose is like the acute toxicity of *Tectaria heracleifolia* evaluated in this study. Previously, Castrejón-Arroyo *et al.* (2016) demonstrated the antioxidant and anti-inflammatory capacity of the *T. heracleifolia* aqueous extract. Because diabetes is a multifactorial disease, free radicals are produced in the hyperglycemic state because of oxidative stress, which can be fatal (Paul *et al.*, 2012). Antioxidants are beneficial to avoid complications such as those mentioned above (Vieira *et al.*, 2020). In this study, nicotinamide was used to protect beta cells from the oxidative damage induced by STZ. According to Lorke (1983), when high doses such as 5000 mg/kg are administered to groups of three animals and only one out of three dies, the substance is practically harmless belonging to the category 5 of the OECD (2001) protocol 423 by the Global Harmonized System (GHS) (OECD, 2001). Therefore, the *T. heracleifolia* aqueous extract does not represent a health risk when ingested. Because it did not show toxicity, the plant can be considered for the development of herbal medicine. Herbal medicines are a remarkable option for the treatment of diabetes because their components have negligible or no toxicity (Salehi *et al.*, 2019).

The use of oral hypoglycemic agents is currently being examined because of the risk of vascular accidents, resistance, toxicity, and the occurrence of death as cardiovascular disease continues to be the main cause of mortality in patients with T2DM. Available data suggest that sulfonylureas should be avoided in patients at risk of cardiovascular disease and weight gain because in 44% of patients the efficacy is lost after 6 years of treatment (Breite *et al.*, 2020; Salehi *et al.*, 2019; Seetaloo *et al.*, 2019). In addition to the high cost, late adverse effects are still unknown. Longer evaluation times are required, but these times do not meet the demand for medication of T2DM patients. Much of the morbidity associated with chronic complications in T2DM can be reduced with therapeutic interventions that maintain blood glucose values close to the normal range (Cañigueral & Vila, 2005; Zárate *et al.*, 2014). The use of herbal medicines has been increasing (Hu & Jia, 2019; Salehi *et al.*, 2019; Surya *et al.*, 2014). About 350 traditional plants used for diabetes have been reported to show no or few side effects (Salehi *et al.*, 2019; Surya *et al.*, 2014).

Like oral treatments, natural products act specifically on peptides and proteins of glucose metabolism. *In vitro* experiments have shown that flavonoids reduce serum DPP-4 levels and stimulate GLUT-4 translocation, modulating glucose levels in the body (Hu & Jia, 2019). The low cost of using plants, as opposed to conventional drugs, is one of the reasons why they are used in developing countries. Today, the use of herbal remedies is recommended because of their bioactive properties (Hu & Jia, 2019; Salehi *et al.*, 2019; Surya *et al.*, 2014). In Germany, at least two products made from Mexican medicinal plants, nopal (*Opuntia* spp.) and copalquin (*Hintonia* spp.), are available for the treatment of diabetes (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005). This study demonstrates the antidiabetic properties of *T. heracleifolia*. However, further studies on the active principles of *T. heracleifolia* are required. Moreover, molecular studies should be performed to elucidate the mechanism of action of these active principles, which may represent an alternative source for drugs against T2DM.

CONCLUSIONS

Concentrations of 100 and 300 mg/kg of the *T. heracleifolia* aqueous extract showed a hypoglycemic effect like glibenclamide. The aqueous extract of the fronds of *T. heracleifolia* is safe for use according to the toxicity tests performed. The traditional use of the plant is supported; however, it is necessary to evaluate other types of extracts and other parts of the plant in chronic *in vivo* tests. Moreover, further investigations should be conducted on the hypoglycemic effect, the structure of the secondary metabolites or antioxidants with medicinal effects, and the mechanism of action of these metabolites. This is the first study on the hypoglycemic effect of *T. heracleifolia* showing potential for the development of herbal medicine against T2DM.

LITERATURE CITED

- Alonso-Castro, A. J., Maldonado-Miranda, J. J., Zarate-Martinez, A., Jacobo-Salcedo, M. D. R., Fernández-Galicia, C., Figueroa-Zuñiga, L. A., Rios-Reyes, N. A., De León-Rubio, M. A., Medellín-Castillo, N. A., Reyes-Munguia, A., Méndez-Martínez, R., & Carranza-Alvarez, C. (2012). Medicinal plants used in the Huasteca Potosina, México. *Journal of Ethnopharmacology*, 143(1), 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.06.035>
- Andrade-Cetto, A. (2009). Ethnobotanical study of the medicinal plants from Tlanchinol, Hidalgo, México. *Journal of Ethnopharmacology*, 122(1), 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.12.008>
- Andrade-Cetto, A., & Heinrich, M. (2005). Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. In *Journal of Ethnopharmacology* (Vol. 99, Issue 3, pp. 325–348). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.019>

- Andrade-Cetto, A., Wiedenfeld, H., Revilla, M. C., & Sergio, I. (2002). Hypoglycemic effect of *Equisetum myriochaetum* aerial parts on type 2 diabetic patients. *Journal of Ethnopharmacology*, 81, 117–120. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(02\)00053-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-8741(02)00053-3)
- Andrade, A., Wiedenfeld, H., Revilla, C., & Islas, S. (2000). Hypoglycemic effect of *Equisetum myriochaetum* aerial parts on streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 129–133. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00218-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00218-X)
- Anwar, N., Teo, Y. K., & Tan, J. B. L. (2019). The Role of Plant Metabolites in Drug Discovery: Current Challenges and Future Perspectives. In *Natural Bio-active Compounds* (pp. 25–51). Springer, Singapore. https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-981-13-7205-6_2%0A
- Avelino-Flores, M. C., Bibbins-Martínez, M., Vallejo-Ruiz, V., & Reyes-Leyva, J. (2019). Evaluación *in vitro* de la actividad citotóxica y antitumoral de plantas medicinales recomendadas en Cuetzalan del Progreso, Puebla, México. *Polibotánica*, 47(46), 113–135. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.9>
- Breite, L. D., Steck, M., Cutshall, B. T., Shah, S. P., & Cave, B. E. (2020). Changing Fields-Diabetes Medications Invading the Cardiovascular Space. In *Current Problems in Cardiology* (p. 33). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2020.100736>
- Brosius, F. (2015). Low-Dose Streptozotocin Induction Protocol (Mouse). *Diabetic Complications Consortium*, 1–3.
- Cañigueral, S., & Vila, R. (2005). *La Fitoterapia como herramienta terapéutica*. May 2014.
- Castrejón-Arroyo, K. D. J., Sánchez-Córdova, Á. D. J., Capataz-Tafur, J., Sánchez-Ocampo, P. M., & Huerta-Heredia, A. A. (2016). Contenido total de fenoles y flavonoides, actividad antioxidante y anti-inflamatoria de extractos crudos de *Tectaria heracleifolia*. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1(1), 42–50.
- Castro, J., Villa, N., Ramírez, S., & Mosso, C. (2014). Uso medicinal de plantas antidiabéticas en el legado etnobotánico oaxaqueño. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 101–120.
- Cristians, S., Osuna, H., Ramírez, G., Muñoz, V., Laguna, G., & Brechú, A. E. (2015). Euphorbia dioeca Kunth as a novel source for α -glucosidase inhibitors. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 14(6), 483–490.
- Déciga-Campos, M., Rivero-cruz, I., Arriaga-alba, M., Castañeda-Corral, G., Angeles-López, G. E., Navarrete, A., & Mata, R. (2007). Acute toxicity and mutagenic activity of Mexican plants used in traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 110, 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.001>
- Diario Oficial de la Federación. 2001. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio, NOM-062-ZOO-1999.
- Domínguez, X., & Alcorn, J. (1985). Screening of medicinal plants used by huastec mayans of northeastern Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 13, 139–156. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(85\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0378-8741(85)90002-9)
- Durazzo, A., Id, L. D. A., Camilli, E., Piccinelli, R., Turrini, A., Marletta, L., Marconi, S., Lucarini, M., Lisciani, S., Gabrielli, P., Gambelli, L., Aguzzi, A., & Sette, S. (2018). From Plant Compounds to Botanicals and Back: A Current Snapshot. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules23081844>
- Ekóé, J.-M. (2019). Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. In *Encyclopedia of Endocrine Diseases* (2nd ed., Vol. 1, pp. 105–109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.65822-1>
- Gordillo, G. C., Negrón, L. P., Zúñiga, T. H., Flores, E., Moreyra, R., Fuertes, C., Guerra, G. A., Apesteguía, A., & Quintana, A. M. (2012). Efecto hipoglicemiante del extracto acuoso de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo 2. *Ciencia e Investigación*, 15(1), 42–47.
- Gulmez, C., & Kulak, M. (2021). New Insights to Enhance the Desired Anti-Diabetic Compounds in Medicinal and Aromatic Plants Exposed to Abiotic Stress Factors. In S. Gantait, S. K. Verma, & A. B. Sharang (Eds.), *Biotechnology of Anti-diabetic Medicinal Plants* (pp. 285–306). Springer, Singapore. <https://doi->

- org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-981-16-3529-8_10
- Gupta, N., Gudipati, T., & Prasad, G. B. K. S. (2018). Plant Secondary Metabolites of Pharmacological Significance in Reference to Diabetes Mellitus: An Update. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(05), 3409–3448. <https://doi.org/https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.398>
- Ho, R., Teai, T., Bianchini, J., & Lafont, R. (2011). Ferns: From Traditional Uses to Pharmaceutical Development, Chemical Identification of Active Principles. In A. Kumar, H. Fernández, & M. Revilla (Eds.), *Working with Ferns: Issues and Applications* (pp. 321–346). Springer Science Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7162-3>
- Hu, C., & Jia, W. (2019). Therapeutic medications against diabetes: What we have and what we expect. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 139, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.11.008>
- IDF. (2019). *Atlas de la diabetes de la FID* (P. S. Suvi Karuranga, Belma Malanda, Pouya Saedi (ed.); 9th ed.).
- Johnson, M. A. A., Madona, C. X., Almeida, R. S., Martins, N., & Coutinho, H. D. M. (2020). In vitro toxicity, antioxidant, anti-inflammatory, and antidiabetic potential of *Sphaerostephanos unitus* (L.) Holtum. *Antibiotics*, 9(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9060333>
- Lorke, D. (1983). A New Approach to Practical Acute Toxicity Testing. *Archives of Toxicology*, 54, 275–287.
- Manivannan, V., & Johnson, M. (2020). Total accepted phenolic, tannin, triterpenoid, flavonoid and sterol contents, anti-diabetic, anti-inflammatory and cytotoxic activities of *Tectaria paradoxa* (Fee.) Sledge. *Toxicology Reports*, 7, 1465–1468. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.10.013>
- Martinez, M. A. (1984). Medicinal plants used in a totonac community of the Sierra Norte de Puebla: Tuzamapan de Galeana, Puebla, México. *Journal of Ethnopharmacology*, 11, 203–221.
- Masiello, P., Broca, C., Gross, R., Roye, M., Manteghetti, M., Hillaire-Buys, D., Novelli, M., & Ribes, G. (1998). Development of a New Model in Adult Rats Administered Streptozotocin and Nicotinamide. *Diabetes*, 47(February), 224–229.
- Mata-Torres, G., Andrade-Cetto, A., Espinoza-Hernández, F. A., & Cárdenas-Vázquez, R. (2020). Hepatic Glucose Output Inhibition by Mexican Plants Used in the Treatment of Type 2 Diabetes. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00215>
- Mata, R., Cristians, S., Escandón, S., Juárez, K., & Rivero, I. (2013). Mexican antidiabetic herbs: Valuable sources of inhibitors of α -glucosidases. *Journal of Natural Products*, 76(3), 468–483. <https://doi.org/10.1021/np300869g>
- OECD. (2001). Test No. 423: Acute Oral toxicity - Acute Toxic Class Method. *Oecd Guideline for Testing of Chemicals*, 1–14. <https://doi.org/10.1787/9789264071001-en>
- Paul, T., Biswadeep, D., Kishori, G. A., Suchitr, B., & Ramesh, C. S. (2012). Evaluation of Anti-Hyperglycemic Activity of *Adiantum philippense* Linn, a Pteridophyte in Alloxan Induced Diabetic Rats. *Journal of Diabetes & Metabolism*, 03(09), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2155-6156.1000226>
- Powers, A., Niswender, K., & Evans-Molina, C. (2018). Diabetes mellitus: diagnóstico, clasificación y fisiopatología. In J. Jameson, A. S. Fauci, D. L. Kasper, S. L. Hauser, D. L. Longo, & J. Loscalzo (Eds.), *Harrison. Principios de Medicina Interna* (20e ed., pp. 1–20). McGraw Hill. <https://accessmedicina-mhmedical-com.pbidi.unam.mx:2443/content.aspx?bookid=2461§ionid=213018745>
- Punthakee, Z., Goldenberg, R., & Katz, P. (2018). Definition, Classification and Diagnosis of Diabetes, Prediabetes and Metabolic Syndrome. *Canadian Journal of Diabetes*, 42, S10–S15. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2017.10.003>
- Rao, K. T., Reddy, K. N., & Pattanaik, C. (2007). Ethnomedicinal Importance of Pteridophytes used by Chenchus of Nallamalais, Andhra Pradesh, India. *Ethnobotanical Leaflets*, 11, 6–10.

Recibido:
1/octubre/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- Romo, G. (2013). *Estudio de las plantas silvestres con uso medicinal en La Encantada, municipio de Cazones de Herrera, Veracruz* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0687607/0687607.pdf>
- Salehi, B., Ata, A., Kumar, N. V. A., Sharopov, F., Ramírez-Alarcón, K., Ruiz-Ortega, A., Ayatollahi, S. A., Fokou, P. V. T., Kobarfard, F., Zakaria, Z. A., Iriti, M., Taheri, Y., Martorell, M., Sureda, A., Setzer, W. N., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Capasso, R., ... Sharifi-Rad, J. (2019). Antidiabetic potential of medicinal plants and their active components. *Biomolecules*, 9(10), 1–121. <https://doi.org/10.3390/biom9100551>
- Secretaría de Salud. (2019). *Anuarios de Morbilidad. Distribucion de casos nuevos de enfermedades por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2019. Poblacion General*. https://epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/2019/morbilidad/nacional/distribucion_casos_nuevos_enfermedad_grupo_edad.pdf
- Seetaloo, A. D., Aumeeruddy, M. Z., Rengasamy Kannan, R. R., & Mahomoodally, M. F. (2019). Potential of traditionally consumed medicinal herbs, spices, and food plants to inhibit key digestive enzymes geared towards diabetes mellitus management — A systematic review. *South African Journal of Botany*, 120, 3–24. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.05.015>
- Shehadeh, M. B., Suaifan, G. A., & Abu-Odeh, A. M. (2021). Plants Secondary Metabolites as Blood Glucose-Lowering Molecules. *Molecules*, 26(14), 46. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules26144333>
- Surya, S., Salam, A. D., Tomy, D. V., Carla, B., Kumar, R. A., & Sunil, C. (2014). Diabetes mellitus and medicinal plants a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4(5), 337–347. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60585-5](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60585-5)
- Tanzin, R., Rahman, S., Md. Shakhawat Hossain Bipasha, A. Z. K., Jahan, S., & Md. Moshir, Rahman Sadia Moin Mou Mohammed, R. (2013). Medicinal potential of pteridophytes – an antihyperglycemic and antinociceptive activity evaluation of methanolic extract of whole plants of *Christella dentata*. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 7(1), 67–73.
- Vieira, G. T., de Oliveira, T. T., Carneiro, M. A. A., Cangussu, S. D., Humberto, G. A. P., Taylor, J. G., & Humberto, J. L. (2020). Antidiabetic effect of *Equisetum giganteum* L. extract on alloxan-diabetic rabbit. *Journal of Ethnopharmacology*, 260(May), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112898>
- Zamora-Martínez, M. C., & Nieto de Pascual, C. (1992). Medicinal plants used in some rural populations of Oaxaca, Puebla and Veracruz, Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 35, 229–251.
- Zárate, A., Islas, S., & Saucedo, R. (2014). Eficacia y efectos adversos de los antidiabéticos orales. *Gaceta Médica de México*, 150, 5–7.
- Zhu, K., Meng, Z., Tian, Y., Gu, R., Xu, Z., Fang, H., Liu, W., Huang, W., Ding, G., & Xiao, W. (2021). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of total glycosides of *Cistanche tubulosa* in diet/streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 113991. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113991>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

ÁRBOLES NATIVOS DE SINALOA DEL SISTEMA AGROFORESTAL HUERTO FAMILIAR

NATIVE TREES OF SINALOA AT THE HOMEGARDEN AGROFORESTRY SYSTEM

Avendaño Gómez, A.; B. Salomón Montijo y G. Márquez Salazar.

ÁRBOLES NATIVOS DE SINALOA DEL SISTEMA AGROFORESTAL HUERTO FAMILIAR.

NATIVE TREES OF SINALOA AT THE HOMEGARDEN AGROFORESTRY SYSTEM.



ÁRBOLES NATIVOS DE SINALOA DEL SISTEMA AGROFORESTAL HUERTO FAMILIAR.**NATIVE TREES OF SINALOA AT THE HOMEGARDEN AGROFORESTRY SYSTEM.**

Avendaño Gómez, A.;
B. Salomón Montijo
y G. Márquez Salazar.

ÁRBOLES NATIVOS DE
SINALOA DEL SISTEMA
AGROFORESTAL HUERTO
FAMILIAR.

NATIVE TREES OF
SINALOA AT THE
HOMEGARDEN
AGROFORESTRY SYSTEM.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 219-240. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.54.14

A. Avendaño Gómez / aaide3@hotmail.com

*Universidades para el Bienestar Benito Juárez García
Boulevard Juan Millán S/N, antes de llegar a GA, Badiraguato Pericos S/N.
CP 80500, Sinaloa, México.*

B. Salomón Montijo

*Universidades para el Bienestar Benito Juárez García
Boulevard Juan Millán S/N, antes de llegar a GA, Badiraguato Pericos S/N.
CP 80500, Sinaloa, México.*

Universidad Autónoma de Sinaloa

*Calz. de las Américas s/n esq. Universitarios. Cd. Universitaria.
CP 80040. Culiacán, Sinaloa, México.*

G. Márquez Salazar

*Universidad Autónoma de Sinaloa
Calz. de las Américas s/n esq. Universitarios. Cd. Universitaria.
CP 80040. Culiacán, Sinaloa, México.*

RESUMEN: Los estudios sobre la diversidad florística en Sinaloa, México reflejan alrededor de 3,736 especies de plantas vasculares, de estas poco se sabe sobre los árboles nativos, su estado de conservación y aprovechamiento, aunado a lo anterior se ha registrado una alta tasa de deforestación para el Estado. Reconocer la biodiversidad, su importancia ecológica y cultural es de vital importancia para plantear políticas de aprovechamiento sustentable y revertir los daños ambientales que conlleva su pérdida, por lo anterior el objetivo de este trabajo fue documentar las especies de árboles nativos y su aprovechamiento en los sistemas agroforestales descritos en la literatura y en una comunidad, para ello, este estudio se fundamentó en la investigación bibliográfica y de campo, con el primero se realizó un listado con las especies de árboles nativos y en campo se documentó el conocimiento sobre los árboles en una comunidad. Se seleccionaron tres sitios de muestro en la cabecera municipal de Badiraguato, Sinaloa donde se aplicaron 60 entrevistas, se visitaron 51 huertos familiares. Los resultados se analizaron a través del análisis de conglomerados. Se registraron 577 árboles nativos, cuatro endémicos a Sinaloa, la familia más diversa fue la Fabaceae, mientras que los géneros con mayor número de especies fueron *Quercus*, *Pinus* y *Bursera*, 260 especies mostraron tener alguna forma de aprovechamiento en la literatura y en la zona de estudio se registraron como sistemas agroforestales a la milpa, el huerto familiar, las cercas vivas y los sistemas silvopastoriles a este último se le denominó Pitayal, en la comunidad se registraron 79 árboles, 54 de ellos presentes en los huertos familiares (el 5.4% de los árboles nativos del Estado), con once formas de aprovechamiento entre las que destacan la medicinal, fuente de sombra y alimenticia. De acuerdo con el análisis de conglomerados los huertos se diferencian entre sí en los que tiene árboles frutales introducidos y aquellos con mayor frecuencia de especies nativas los cuales son localizados en la periferia y a la salida de la comunidad. Los huertos familiares son sistemas que permiten conservar algunas especies adaptadas a las condiciones locales tanto las especies, las formas de manejo y sus implicaciones ecológicas deben ser estudiadas con mayor profundidad.

Palabras clave: Etnoagroforestería; Badiraguato; Cahitas; Selva Baja Caducifolia.

ABSTRACT: Studies on floristic diversity in Sinaloa, Mexico reflect about 3736 species of vascular plants, of which little is known about the native trees, their state of conservation and use, in addition to this, a high rate of deforestation has been registered in the state. Recognizing biodiversity, its ecological and cultural importance is of vital importance to propose sustainable use policies and reverse the environmental damage that its loss entails, therefore the objective of this work was to document the native tree species and their use in the agroforestry systems described in the literature and in a community. This study was based on bibliographic and field research; for the former, a list of native tree species was made, and in the latter, the knowledge about trees in a community was documented. Three sampling sites were selected in the municipal seat of Badiraguato Sinaloa, 60 interviews were applied and 51 family gardens were visited, the results of which were analyzed through cluster analysis. 577 native trees were registered, four endemic to Sinaloa, the most diverse family and genera were the Fabaceae, *Quercus*, *Pinus* and *Bursera*. 260 species showed to have some form of use in the literature and in the study area, the milpa, the family garden, living fences and a silvopastoral systems were registered as agroforestry systems, the last one was named Pitayal, within the community 79 trees are recognized, 57 present in family gardens (4.15% of Sinaloa state native trees), with eleven forms of use among which the medicinal, a source of shade and food stand out. According to the cluster analysis, the orchards differ between those with introduced fruit trees and those with a higher frequency of native species which are located on the periphery and at the exit of the community. Home gardens are systems that allow the conservation of some species adapted to local conditions, both the species, the forms of management and their ecological implications must be studied in greater depth.

Key words: Ethnoagroforestry; Badiraguato; Cahitas; Secondary forests.

INTRODUCCIÓN

México posee aproximadamente 23,314 especies de plantas vasculares (Villaseñor, 2016), incluidas 3,500 especies arbóreas, 2,885 de ellas nativas a México distribuidas en 612 géneros y 128 familias de las cuales 44% son especies endémicas a México (Tellez *et al.*, 2020). Sin embargo, la riqueza florística señalada como una de las mayores del mundo se encuentra amenazada entre otros por las presiones ambientales que ejercen el aumento poblacional, el cambio climático, las demandas de energía de productos forestales maderables, la degradación de los ecosistemas, la inequidad socioeconómica, los conflictos por los recursos y los territorios. Así como por la migración y el envejecimiento de la población campesina e indígena que ha sido hasta la actualidad la principal guardiana de estos recursos (Moreno Calles, Casas, Toledo, & Vallejo Ramos, 2016), se ha estimado que en los próximos 20 años ocurrirá una pérdida acelerada de la biodiversidad con graves consecuencias ambientales (Tellez *et al.*, 2020).

La deforestación está presente en todos los Estados de la república, Sinaloa no es la excepción, los resultados de la detección de cambios mediante el uso de la cartografía de cobertura de bosques y selvas de los años 1993 al 2011 indicaron una gran pérdida de cobertura forestal, con una tasa media anual ligeramente superior a la del país, ubicando al estado en el número 15 y 17 a nivel mundial. Entre las principales causas están la expansión agrícola, la extracción de la madera, la explotación minera, extensión de la infraestructura, problemas sociales y la ganadería entre otros (Monjardín-Armenta, Pacheco-Angulo, Plata-Rocha, & Corrales-Barraza, 2017).

Lo anterior es preocupante cuando se reconoce que el Estado posee una gran riqueza florística asociada a su privilegiada posición geográfica entre las provincias fisiográficas de la Sierra Madre occidental, la costa del pacífico y la planicie costera del noroeste (Rzedowski, 2006), cuyo conocimiento aún se encuentra en proceso de evaluación. En Sinaloa se han registrado seis ecosistemas forestales que incluyen un total de 10 formaciones arboladas y 27 tipos de

vegetación distintos donde el ecosistema de selvas (Miranda & Hernández X, 1963) es el más abundante y ocupa la mayor superficie del territorio (39.9%) (SEMARNAT, 2015).

A pesar de esta notable diversidad de plantas vasculares 3,736 especies de las cuales 69 son endémicas de México y dos tienen distribución restringida al estado, aún hacen falta zonas por explorar ya que la mayor parte de los estudios se centran en el norte y sur del estado (Amador-Cruz, Benítez-Pardo, & Briseño-Deñías, 2017). En el Inventario Estatal Forestal y de Suelos Sinaloa (SEMARNAT, 2015) se muestran las principales especies de aprovechamiento forestal, así como el estado de conservación de las ecorregiones más importantes, aunque no se tiene un listado de las especies nativas o del total de los recursos forestales para la región.

Reconocer la biodiversidad, su importancia ecológica, económica y cultural es de vital importancia para plantear políticas de aprovechamiento sustentable de especies y comunidades en áreas específicas, así como coadyuvar en generar estrategias que retarden el proceso de deterioro ambiental. Existen diferentes formas de manejo *in situ* y *ex situ* que incluyen la protección, conservación y restauración de los hábitats naturales. Por esta razón, en años recientes se ha dado un énfasis importante a las dinámicas y procesos que los diferentes grupos culturales han desarrollado por milenios para aprovechar y conservar los recursos naturales en los sistemas agroforestales. Los estudios de Etnoagroforestería, se enfocan en analizar los sistemas agroforestales tradicionales, incluyen la creación de paisajes artificiales y el manejo intencional y conservación del suelo, los cultivos, la vegetación y los animales silvestres que forman los ecosistemas (Moreno-Calles *et al.*, 2014).

Una de las preguntas más urgentes a resolver en el México del siglo XXI es cómo satisfacer las necesidades de una población en aumento y de distribución desigual mientras se asegura la sustentabilidad de la especie humana y del planeta (Moreno Calles, Casas, Toledo, & Vallejo Ramos, 2016). El aprovechamiento de los conocimientos y experiencias antes mencionadas podrán darnos algunas de las respuestas a los retos que hoy en día se presentan (Altieri & Toledo, 2011).

De acuerdo con Moreno-Calles *et al.* (2016) en México, el estudio del manejo etnoagroforestal es aún fragmentado e insuficiente, la mayoría de las investigaciones se han realizado en la porción centro y sur del país, pocos son los trabajos descritos hacia el norte y en las zonas áridas, entre ellos podemos encontrar los estudios sobre el huamil, en el valle de Santiago, en Guanajuato (García Marín, 1984), así como los sistemas agroforestales de los bosques de cactáceas (Moreno Calles, Casas, Toledo, & Vallejo Ramos, 2016), de las zonas aluviales del Valle de Tehuacán (Vallejo, Ramírez, Casas, Reyes, & López-Sánchez, 2018), los trabajos sobre los oasis en la Baja California (Cariño Olvera & Ortega Santos, 2014), los agrobosques de piña en Nayarit y Jalisco (Rosales Adame, Cuevas Guzmán, Gliessman, Benz, & Cevallos Espinoza, 2016), el te'om en la huasteca potosina (Hernández Cendéja, Avalos Lozano, & Urquijo, 2016) y los estudios de los tajos en la Sierra Gorda de Guanajuato entre otros (Hoogesteger van Dijk, Casas, & Moreno-Calles, 2017).

A diferencia de las zonas del suroeste mexicano, para Sinaloa y otras regiones áridas y semiáridas del país son escasos los estudios de sistemas agroforestales. Sin embargo, se documentaron algunos que muestran la utilidad e importancia cultural de las especies arbóreas útiles (Lara-Ponce, Valdés-Vega, Medina-Torres, & Martínez-Ruíz, 2017), sobre los árboles frutales en los huertos familiares (López-Ortiz, Osuna-Flores, de la Torre-Martínez, & Olivos-Ortiz, 2017), la implementación de paquetes tecnológicos con cercas vivas utilizados para la ganadería (Reyes Jimenez & Martínez Alvarado, 2011) y el aprovechamiento del mezquite en los sistemas silvopastoriles (López Vega & Olivas Velarde, 2021).

Es por ello, por lo que el presente estudio tuvo como objetivo contribuir al conocimiento de las especies de árboles nativos de Sinaloa, México presentes en los sistemas agroforestales del estado, así como documentar su aprovechamiento en los huertos familiares.

Se seleccionó el huerto familiar por ser uno de los sistemas agroforestales más relevantes, antiguos y complejos de México (López-Ortiz, Osuna-Flores, de la Torre-Martínez, & Olivos-Ortiz, 2017). Este sistema de origen prehistórico (González-Jácome, Analysis of Tropical Homegardens through an Agroecology and Antropological Ecology Perspective, 2016) ha sido estudiado desde diferentes enfoques (antropológico, ecológico, demográfico, etnobotánico, económico y social entre otros) en los cuales se ha señalado su papel en la alimentación, salud, en la economía rural y campesina, (Guadarrama Martínez, Chávez Mejía, Rubi Arriaga, & White Olascoaga, 2020). Adicionalmente se han registrado las estructuras espacio temporales de la diversidad, los procesos de conservación, manejo, selección y diversificación de especies (Moctezuma Pérez, 2010). Así como la preservación de la identidad cultural de diferentes grupos a través de la organización social, ritual y ceremonial (Cahuich-Campos, Huicochea Gómez, & Mariaca Méndez, 2014). Finalmente se han descrito algunas funciones ambientales del sistema en la creación de microclimas, reducción de niveles de CO₂ y la conservación de suelos por citar algunos (González-Jácome, Analysis of Tropical Homegardens through an Agroecology and Antropological Ecology Perspective, 2016). Los huertos más estudiados pertenecen a las regiones tropicales y templadas del sureste de México (Vázquez- Davila & Lope-Alzina, 2012), Palerm (1992) por ejemplo registró huertos en 81 lugares distribuidos en nueve estados principalmente del sur de la República Mexicana, mientras que Caballero *et al.* (2010) señalaron 1400 especies de plantas vasculares en los mismos. En el norte del país con excepción de los estudios realizados en Sonora por González- Jácome (2012) y Sinaloa por López-Ortiz *et al.* (2017) son escasos los estudios sobre el tema.

Esta investigación se realizó en la cabecera municipal de Badiraguato, Sinaloa, donde no existen estudios previos sobre el manejo y aprovechamiento de especies arbóreas en sistemas agroforestales. Aunque en la actualidad no hay evidencia de la presencia de grupos étnicos en la región, las comunidades de los denominados “rancheros” aún conservan estrategias tradicionales de manejo como los registrados por Cariño y Santos (2014) en los Oasis Sudcalifornianos. Sin embargo, son pocos los estudios etnobotánicos enfocados a esta cultura en México (Pío-Leon *et al.*, 2018).

Para la elaboración de esta investigación se planteó elaborar un listado de los árboles nativos de Sinaloa, documentar la importancia cultural de las especies forestales, describir los sistemas agroforestales presentes en Sinaloa, documentar algunas de las especies arbóreas nativas de los sistemas agroforestales, enlistar a las especies arbóreas reconocidas en la comunidad de estudio y registrar los árboles nativos utilizados en los huertos familiares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se fundamentó en la investigación bibliográfica y de campo. La investigación documental consistió en consultar y analizar bibliografía sobre los estudios de sistemas agroforestales, especies arbóreas nativas y su importancia cultural en Sinaloa con lo cual se generó un listado florístico de árboles nativos, tanto los nombres como su distribución fueron revisados en las páginas web, plant of the world (POWO, 2021) y naturalista (Naturalista, 2021), la información de campo se obtuvo mediante observación acción participativa y entrevistas abiertas. Se consideraron como árboles a aquellas especies incluidas en el listado de Tellez *et al.* (2020) cuya definición es una modificación a la descrita por Beech *et al.* (2017) se incluyen a aquellas especies leñosas de un solo tallo llamativo cuya parte superior producen ramas en forma de dosel. La definición de Tellez *et al.* (2020) difiere a la de por Beech *et al.* (2017) por considerar una altura de al menos 4 m y un diámetro a la altura del Pecho (DAP) de 10 cm, por tal motivo consideran también como árboles a algunas especies de las familias Arecaceae, Asparagaceae y Cactaceae. Adicionalmente para el caso de las Cactaceas se consideró el hábito arbóreo de las especies incluidas, sin considerar la forma de crecimiento o figura geométrica descrita por Vázquez- Sánchez *et al.* (2012).

En el caso del huerto familiar para fines de este trabajo se consideró la definición de Mariaca *et al.* (2007) como el “.....Agroecosistema con raíces tradicionales, en el que habita la unidad familiar y donde los procesos de selección, domesticación, diversificación y conservación están orientados a la producción y reproducción de la flora, fauna y eventualmente de hongos. Está en estrecha relación con la preservación de las condiciones sociales, económicas y culturales de la familia y el enriquecimiento, generación y apropiación de la Tecnología”...

Área de estudio

El municipio de Badiraguato se localiza en la parte central de Sinaloa. Limita al norte con el estado de Chihuahua (Fig. 1), al sur con los municipios de Culiacán y Mocorito, al oeste con los de Mocorito y Sinaloa y al este con el estado de Durango. Su altura sobre el nivel del mar fluctúa entre los 150 y 2300 metros en sus partes más altas, está integrado por más de 530 localidades, de las cuales las más importantes son Badiraguato, Surutato, Boca de Arroyo y El Huejote. Los suelos predominantes son los litosoles, cambisoles y luvisoles, entre las ecorregiones presentes están los bosques de coníferas en la Sierra, los bosques de encino, bosque pino-encino y el bosque tropical caducifolio (Sarukhán, y otros, 2008). En cuanto a su superficie forestal Badiraguato es uno de los municipios con mayor cobertura de coníferas, bosques de encinos y bosque de galería (SEMARNAT, 2015).

Con relación a los aspectos culturales se sabe que la zona estuvo ocupada por los Tebacas, grupo cultural que formó parte de los Cahita que habitaron el estado, de los cuales sobrevive la cultura Mayo-Yoreme al norte del Sinaloa. A diferencia de la patente diversidad cultural y las etnias de estados como Chiapas, Oaxaca, o Guerrero, la riqueza antropológica de Sinaloa se muestra casi desconocida y de sobremanera distante a la complejidad del área de Mesoamérica (López Aceves, 2007).

Obtención de información en campo

La información sobre las especies de árboles reconocidos en la comunidad se obtuvo a partir de 60 entrevistas aplicadas y por observación participante a finales del año 2020, con los resultados obtenidos de las entrevistas se seleccionaron 51 huertos familiares (23 en el centro, 18 en la periferia y 10 a la salida de la comunidad) los cuales fueron visitados durante el año 2021, tanto las entrevistas como las visitas a los huertos se realizaron a través de un muestreo no probabilístico a personas que aceptaron colaborar cumpliendo las medidas sanitarias impuestas por el Sector Salud para la pandemia (no se calculó tamaño de muestra). Con la información registrada en los huertos se realizaron dos matrices una de presencia/ ausencia con los árboles observados y otra con el número de cada especie por huerto familiar. Las especies fueron identificadas a través de estudios previos de especies arbóreas útiles en el estado.

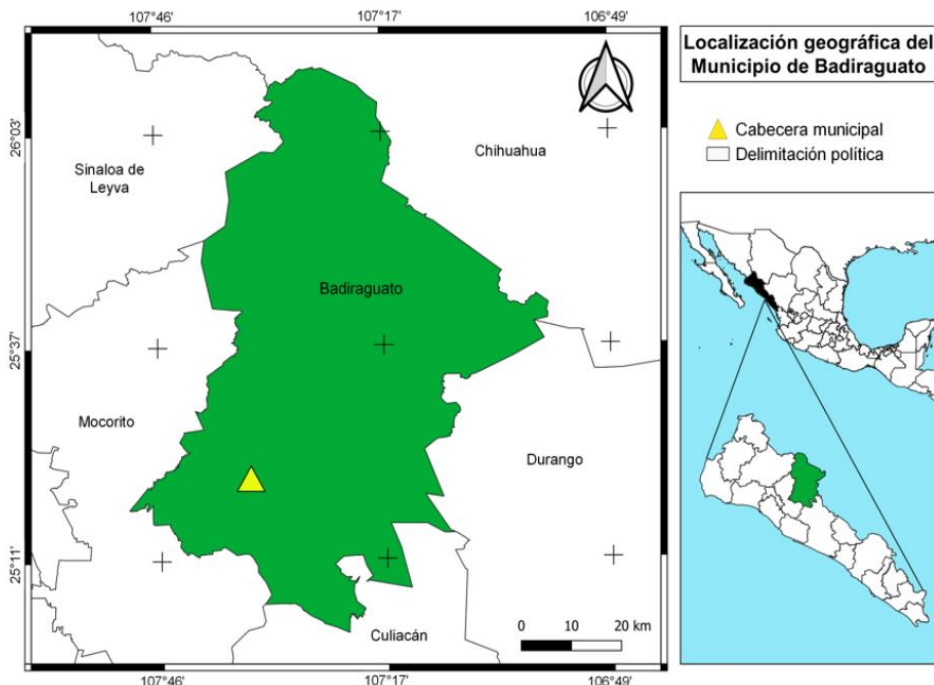


Fig. 1. Mapa de la zona de estudio Badiraguato, Sinaloa.
Fuente elaboración propia Análisis de la información obtenida.

La información de campo fue analizada a través de un análisis de conglomerados, se calculó el coeficiente de similitud con el índice de Jaccard (Höft, Barik, & Lykke, 1999), una expresión matemática muy simple para expresar la semejanza entre comunidades en la relación de presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas y en el número total de especies (Kent & Coker, 1992), el dendograma se realizó a través del programa NTSYS versión 2.02 (Rohlf, 1997) y la técnica de agrupamiento UPGMA, una propuesta de agrupamiento de pares no ponderados utilizada frecuentemente en los estudios etnobotánicos (Höft, Barik, & Lykke, 1999).

RESULTADOS

De acuerdo a la bibliografía consultada existen 577 especies de árboles nativos en Sinaloa, 575 especies incluidas en 79 familias y 268 géneros fueron reportados por Tellez *et al.* (2020) (Anexo 1) estas incluyen a las especies descritas por Vega y Olvera (2018) con excepción de *Coulteria platyloba* (S. Watson) N. Zamora (arellano o palo colorado) y *Ebenopsis caesalpinioides* (Standl.) Britton & Rose (ébano) no encontradas en dichos estudios. Se registró que la familia con mayor número de géneros fue la Fabaceae, seguida por Malvaceae y Erythroxylaceae (Cuadro 1), mientras que la familia con mayor número de especies nuevamente también fue Fabaceae, seguida por Fagaceae y Erythroxylaceae, mientras los seis géneros con mayor número de especies fueron *Quercus* (45), *Pinus* (19), *Bursera* (14), *Sideroxylon* (11), *Ficus* (10) y *Lonchocarpus* (9) (Fig. 2, Anexo 1). Se encontraron cuatro especies de árboles nativos endémicos para Sinaloa *Ebenopsis caesalpinioides* (Standl.) (Pio-León, 2009), *Leptobalanus mexicanus* (Lundell) Sothers & Prance conocida como anteriormente como *Licania mexicana* Lundell, *Molinadendron sinaloense* (Standl. & Gentry) P.K. Endress y *Stenocereus martinezii* (J.G. Ortega) Buxb (pitayo) cuyo hábito puede ser considerado arbóreo de acuerdo a los criterios de Vázquez-Sánchez, Terrazas, & Salvador *et al.* (2012) y es incluida dentro del listado de árboles de México de Tellez *et al.* (2020).

Cuadro 1. Familias y porcentaje de especies y géneros de árboles nativos en Sinaloa.

| Familia | Géneros | % | Especies | % |
|------------------|----------------|----------|-----------------|----------|
| Acanthaceae | 1 | 0.3 | 1 | 0.17 |
| Anacardiaceae | 3 | 1.12 | 4 | 0.70 |
| Annonaceae | 2 | 0.75 | 4 | 0.70 |
| Apocynaceae | 5 | 1.87 | 10 | 1.74 |
| Aquifoliaceae | 1 | 0.37 | 4 | 0.70 |
| Araliaceae | 3 | 1.12 | 5 | 0.87 |
| Arecaceae | 8 | 2.99 | 12 | 2.09 |
| Asteraceae | 9 | 3.36 | 14 | 2.43 |
| Betulaceae | 2 | 0.75 | 4 | 0.70 |
| Bignoniaceae | 6 | 2.24 | 8 | 1.39 |
| Bixaceae | 2 | 0.75 | 2 | 0.35 |
| Boraginaceae | 4 | 1.49 | 10 | 1.74 |
| Burseraceae | 1 | 0.37 | 14 | 2.43 |
| Cactaceae | 5 | 1.87 | 11 | 1.91 |
| Cannabaceae | 3 | 1.12 | 3 | 0.52 |
| Capparaceae | 3 | 1.12 | 5 | 0.87 |
| Caricaceae | 3 | 1.12 | 3 | 0.52 |
| Celastraceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Chloranthaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Chrysobalanaceae | 2 | 0.75 | 2 | 0.35 |
| Clethraceae | 1 | 0.37 | 3 | 0.52 |
| Clusiaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Combretaceae | 3 | 1.12 | 3 | 0.52 |
| Convolvulaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Cornaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Cupressaceae | 3 | 1.12 | 7 | 1.22 |
| Dilleniaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Dipentodontaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Ebenaceae | 1 | 0.37 | 4 | 0.70 |
| Ericaceae | 3 | 1.12 | 8 | 1.39 |
| Erythroxylaceae | 12 | 4.48 | 26 | 4.52 |
| Fabaceae | 43 | 16.04 | 101 | 17.57 |
| Fagaceae | 1 | 0.37 | 45 | 7.83 |
| Fouquieriaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Garryaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Hamamelidaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Hernandiaceae | 2 | 0.75 | 2 | 0.35 |
| Lacistemataceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Lamiaceae | 1 | 0.37 | 3 | 0.52 |
| Lauraceae | 5 | 1.87 | 8 | 1.39 |

| Familia | Géneros | % | Especies | % |
|------------------|----------------|----------|-----------------|----------|
| Magnoliaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Malpighiaceae | 4 | 1.49 | 8 | 1.39 |
| Malvaceae | 16 | 5.97 | 26 | 4.52 |
| Melastomataceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Meliaceae | 4 | 1.49 | 8 | 1.39 |
| Moraceae | 6 | 2.24 | 15 | 2.61 |
| Myrtaceae | 5 | 1.87 | 10 | 1.74 |
| Nyctaginaceae | 2 | 0.75 | 2 | 0.35 |
| Ochnaceae | 3 | 1.12 | 4 | 0.70 |
| Onagraceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Opiliaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Pentaphylacaceae | 2 | 0.75 | 4 | 0.70 |
| Phyllanthaceae | 3 | 1.12 | 5 | 0.87 |
| Phyllonomaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Picramniaceae | 2 | 0.75 | 3 | 0.52 |
| Picrodendraceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Pinaceae | 4 | 1.49 | 23 | 4.00 |
| Piperaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Platanaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Polygonaceae | 2 | 0.75 | 4 | 0.70 |
| Primulaceae | 4 | 1.49 | 5 | 0.87 |
| Putranjivaceae | 1 | 0.37 | 2 | 0.35 |
| Resedaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Rhamnaceae | 4 | 1.49 | 9 | 1.57 |
| Rhizophoraceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Rosaceae | 3 | 1.12 | 8 | 1.39 |
| Rubiaceae | 12 | 4.48 | 18 | 3.13 |
| Rutaceae | 4 | 1.49 | 8 | 1.39 |
| Sabiaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Salicaceae | 5 | 1.87 | 14 | 2.43 |
| Sapindaceae | 6 | 2.24 | 6 | 1.04 |
| Sapotaceae | 3 | 1.12 | 14 | 2.43 |
| Schoepfiaceae | 1 | 0.37 | 3 | 0.52 |
| Solanaceae | 2 | 0.75 | 4 | 0.70 |
| Styracaceae | 3 | 1.12 | 6 | 1.04 |
| Verbenaceae | 3 | 1.12 | 6 | 1.04 |
| Viburnaceae | 2 | 0.75 | 2 | 0.35 |
| Violaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |
| Zygophyllaceae | 1 | 0.37 | 1 | 0.17 |

De acuerdo con la bibliografía consultada 281 de las especies de árboles nativos registrados presentan algún uso de importancia cultural relacionado a la cultura Mayo-Yoreme (Yetman & Van Devender, 2002), 260 presentan un nombre común en español y alrededor de 60 presentan un nombre en lengua indígena de origen Mayo-Yoreme (Rosales Vásquez, Lara Ponce & Piña Ruiz, 2017), Náhuatl y Tarasco.

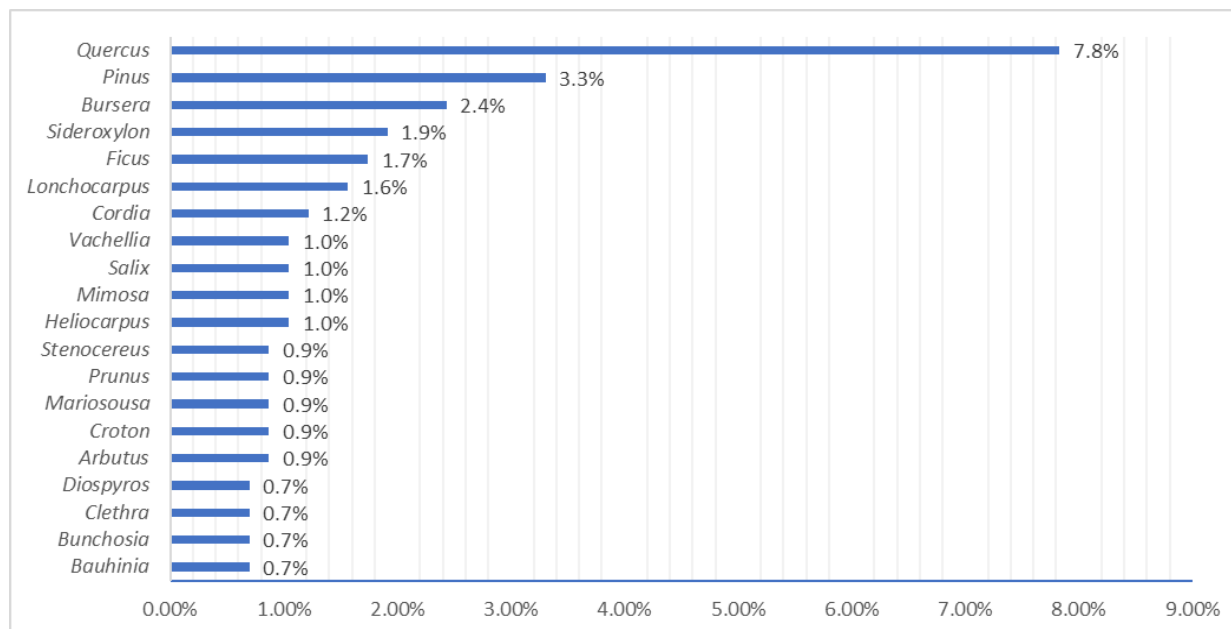


Fig. 2. Géneros con el mayor número de especies de árboles nativos en Sinaloa.

Como se mencionó en la introducción son escasos los estudios sobre sistemas agroforestales para el estado de Sinaloa, los registrados se resumen en sistema tradicional milpa de los Mayo-Yoreme de Lara *et al.*, (2017), los árboles frutales de los huertos familiares (López-Ortiz, Osuna-Flores, de la Torre-Martínez, & Olivos-Ortiz, 2017), el empleo de cercas vivas en la ganadería (Reyes Jimenez & Martínez Alvarado, 2011) y los sistemas silvopastoriles de mezquite (López Vega & Olivas Velarde, 2021). Aunque Beals (2016) ya en los años 40 describió para la cultura Mayo-Yoreme de Sinaloa sistemas de siembra en bancos de arena al lado del Río Yaqui y campos de cultivos con sistemas tradicionales de riego donde se dejaban de pie árboles útiles, pitayos y cardón.

Entre los árboles registrados en la literatura para la milpa están la guásima, mauto, brasil, mezquite, arellano o palo colorado y algunas especies del género *Bursera* (torotes). En lo que respecta a las cercas vivas los paquetes tecnológicos sugieren a los ganaderos el uso del arellano, cedro, cocoboy, caobilla o venadillo y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (guaje). La mayoría de las especies citadas en la literatura fueron encontradas en la comunidad (Cuadro 2) donde se reconocen 79 árboles, de ellos se identificaron todos hasta género, se documentaron 63 especies con variedades no identificadas (66.6% son nativas en Sinaloa, 9.5% son nativas en ciertas regiones de México, pero introducidas y cultivadas en Sinaloa, ejemplo el aguacate y arrayan, mientras que un 23.8% son introducidas al país). A través de la observación participante se registraron milpas de maíz, frijol y algunas hortalizas al lado de los ríos (Fig. 3), a esta zona se le denomina “Ileta, milpa o frijolar” (Fuente comunicación personal Yulisa Rodríguez López). En cuanto a las cercas vivas se registró que en la región ocupan entre otros a la guásima, nopal, el mezquite, pochote, brasil y el huinolo o vinolo. Adicionalmente se registró un sistema silvopastoril en San José del Llano, Badiraguato dónde se desmonta el terreno para

el crecimiento de pastos para el ganado y se dejan en pie los pitayos (Fig. 3). En los 51 huertos familiares se registraron 57 árboles, de ellos se identificaron 43 especies con variedades no identificadas (55.81.7% son nativas a Sinaloa, 13.95% son nativas al país, pero introducidas a Sinaloa y 30.23% son especies introducidas a México) (Cuadro 2). De las especies observadas se registraron 11 formas de uso, de ellas, la medicinal, la fuente de sombra y alimenticia fueron las más importantes (Fig. 4).

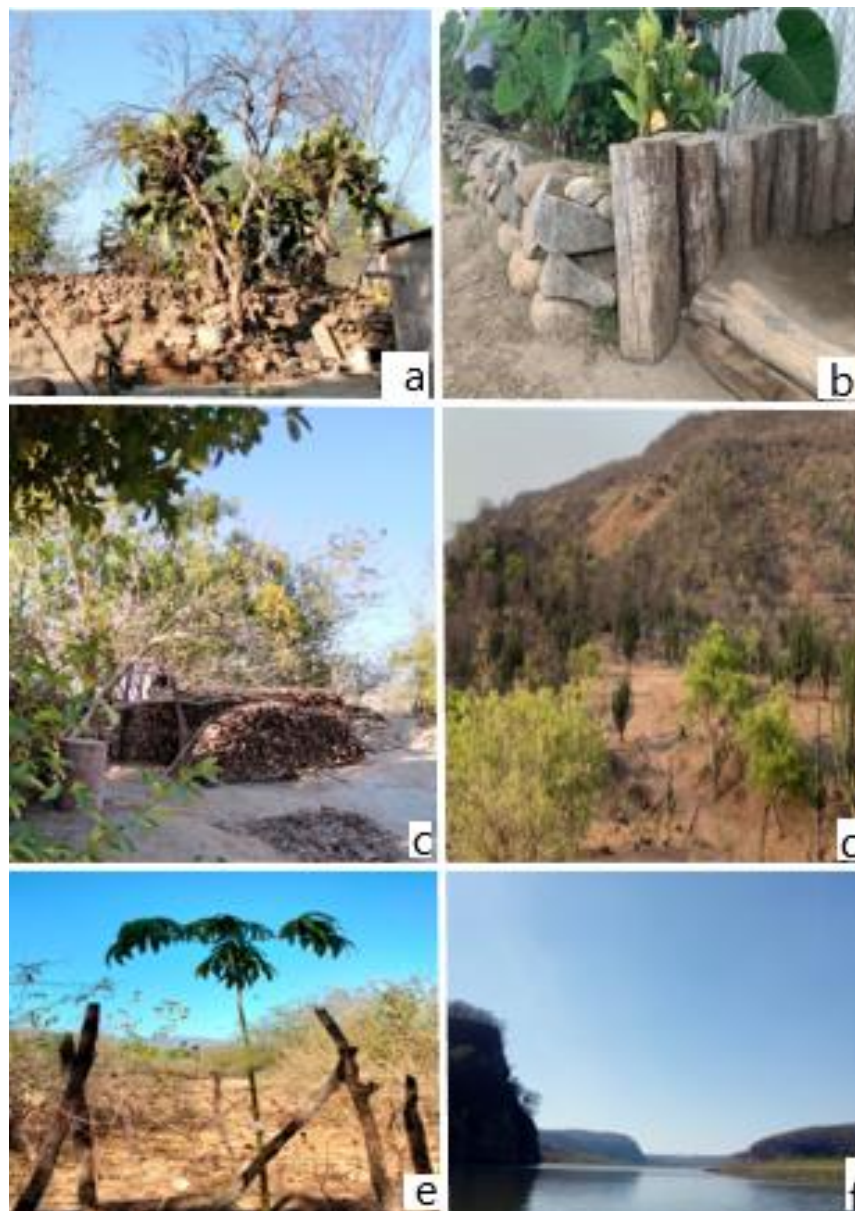


Fig. 3. Las figuras a, b y c, son imágenes de huertos familiares en las dos primeras se observan las calzadas (muros de piedra), mientras que el segundo se observa el aprovechamiento de la leña, d) muestra una imagen de terrenos desmontados para pastos y la presencia de Pitayos, e) manejo de especies en los huertos con poda, protección con alambre y uso de algodón para el control de hormigas, f) Campos de maíz y frijol al lado del río.

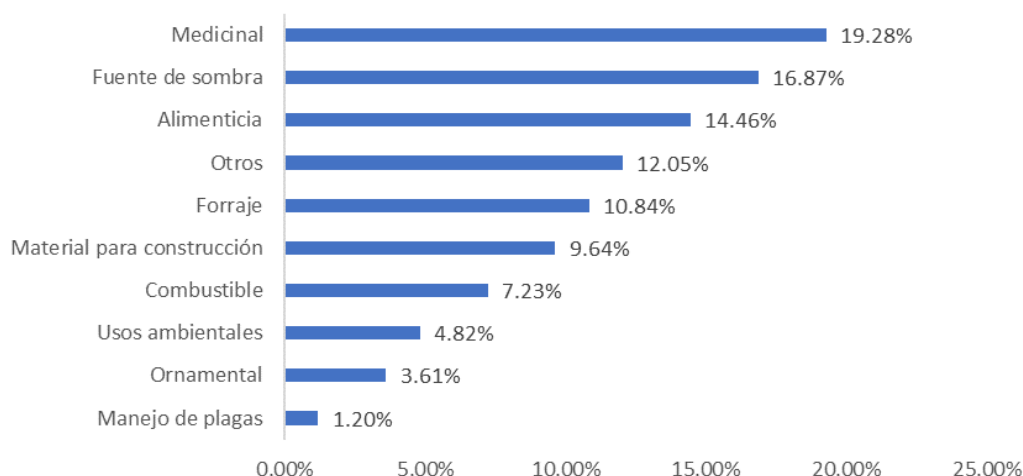


Fig. 4. Usos principales de las especies arbóreas de la cabecera municipal de Badiraguato, la categoría otros, incluye el uso de los árboles como cerca viva, para la fabricación de postes y como veneno por su toxicidad.

En el caso de los huertos familiares analizados se encontró que en promedio su superficie es de $182.5 \pm 23.62 \text{ m}^2$, en estos se registraron 54 de las 79 especies mencionadas en las entrevistas (Cuadro 2), el limón, los mangos (cinco variedades), las ciruelas (dos variedades), el guayabo, el aguacate (dos variedades) y el guamúchil se encuentran en la mayoría de los huertos familiares en los siguientes porcentajes 76%, 74%, 43%, 47%, 56% y 13% respectivamente, los menos frecuentes fueron el zapote (1.2%), la apoma (4.34%), el pochote (4.34) y la yaca (1.9%). En cuanto al número de individuos por especie y variedad se encontró que el mango corriente, el limón, el aguacate, el guayabo y la cacaloxohitl de flor blanca son los más abundantes, está última y las palmas fueron señalados como adorno (ornato), de las dos variedades de cacaloxohitl; rosa y blanca se da preferencia a la segunda. Una hipótesis aún no confirmada de lo anterior es que anteriormente los árboles de flores blancas como esta y la del pochote servían como carnadas para la caza de venados (*Odocoileus* spp.) actualmente se continúa realizando esta práctica en los alrededores de la cabecera municipal. Para este trabajo no se documentaron las formas de manejo tradicionales como las descritas por Casas *et al.* (2014). Sin embargo se observó que la mayoría proviene de una interacción ex situ a través de la siembra de propágulos (cítricos, aguacates, papayas, yaca), el trasplante de individuos que se traen del monte (como en el caso de especies de nopales, los ciruelos, el guayabo, pochote entre otros), además de la tolerancia (dejar en pie) a algunos individuos que nacieron espontáneamente o se encontraban en el terreno cuando se fincó el huerto, ejemplo la guásima, el ayale o el arbusto de algodón *Gossypium* spp, reconocemos que hace falta un estudio profundo sobre los procesos de selección y diversificación que ocurren en estos sistemas. En el caso de las prácticas de manejo se observó el cuidado y protección de los huertos a través de calzadas, aunque el nombre hace pensar en un camino empedrado en realidad se trata de muros de piedras (Fig. 3), las cuales aumentan la filtración, retienen la humedad y evitan la pérdida del suelo, este manejo se observó principalmente en los huertos de la periferia y a la salida de la comunidad. Adicionalmente, el suelo se fertiliza usando tierra de las riberas y de hormigueros también llamados “mochomeras” por hacer alusión a la hormiga “mochomo” de la cual se desconoce el género. Finalmente existen varias plagas que afectan a los árboles una de ellas son las hormigas anteriormente descritas que consumen las hojas tiernas de los individuos juveniles, para evitar el uso de productos químicos se crea una trampa con algodón debajo de las hojas para que no las alcancen (Fig. 3) y se coloca alambre a su alrededor para evadir a especies rumiantes. Esta práctica se observó en los individuos juveniles de aguacate, cítricos, guásima y pochote. En el análisis de conglomerados (Fig. 5) realizado se observa que la mayoría de

huertos presentan las mismas especies, no hay una diferenciación clara entre los mismos. Sin embargo, en los huertos localizados en el centro de la comunidad predominan los árboles frutales introducidos y cultivados, mientras que a la periferia y salida es común observar un mayor número de especies toleradas y fomentadas nativas de la región que por estar adaptadas a las condiciones locales no necesitan de muchos cuidados.

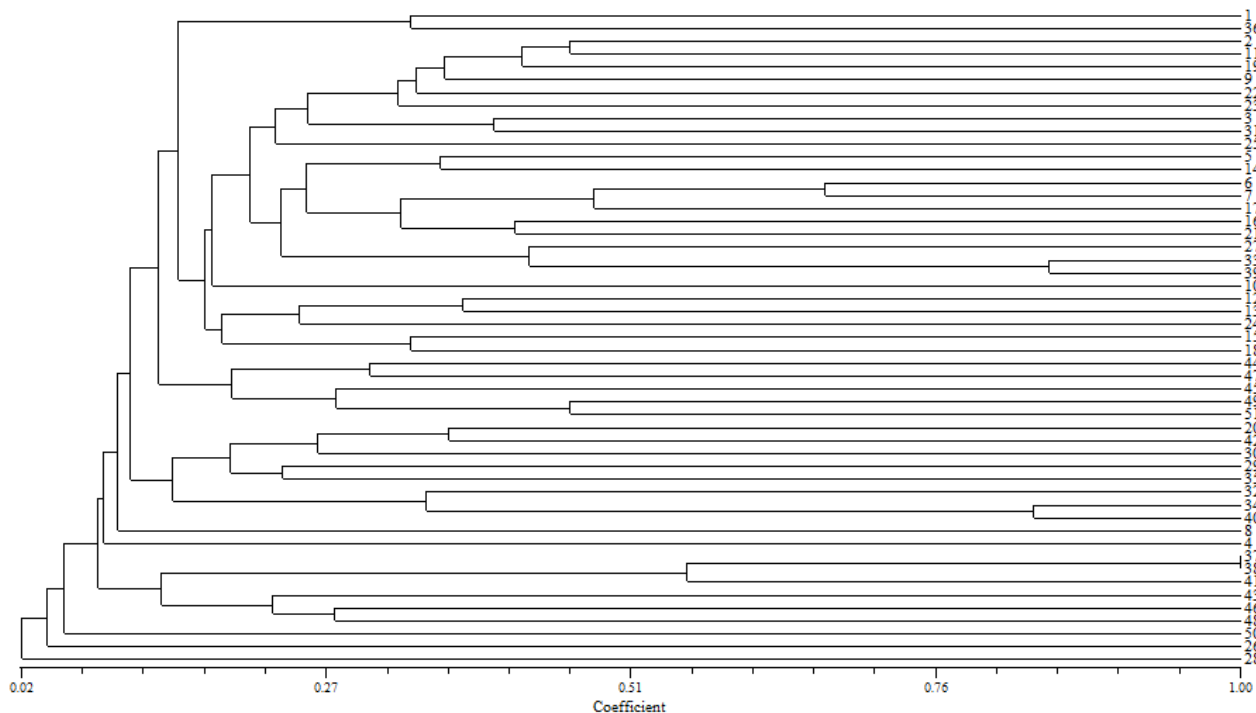


Fig. 5. Análisis de conglomerados o agrupamiento de 57 especies arbóreas y 51 huertos familiares en Badiraguato Sinaloa (1-23) centro, (24-42) periferia, 43-51 (salida).

Cuadro 2. Árboles registrados en la comunidad y en los huertos familiares de la zona de estudio.

| Nombre común | Nombre científico | Usos | Origen |
|---------------------------|--|--|--------|
| Aguacate* | <i>Persea americana</i> Mill. | Alimenticio, medicinal, fuente de sombra | 2 |
| Aguacate San* Miguel | <i>Persea americana</i> Mill. variedad sin identificar | Alimenticio, medicinal, fuente de sombra | 2 |
| Álamo | <i>Populus mexicana</i> Wesm. | Material de construcción, usos ambientales | 1 |
| Amapa* | <i>Bourreria impetiginosus</i> I.M. Johnst. | Ornamental, fuente de sombra | 2 |
| Anona* | <i>Annona squamosa</i> L. | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, usos ambientales | 1 |
| Apomo* | <i>Brosimum alicastrum</i> Sw. | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción. | 1 |
| Arellano o palo colorado* | <i>Coulleria platyloba</i> (S. Watson) N. Zamora | Material de construcción maderable | 1 |
| Arrayan* | <i>Psidium oligospermum</i> Mart. ex DC. | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 2 |
| Beco* | <i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth. | Usos ambientales | 1 |
| Bonete | <i>Cnidocolus rangel</i> (M. Gómez) | Alimenticia, fuente de sombra | 3 |
| Brasil, palo Brasil* | <i>Haematoxylum brasiletto</i> H. Kars. | Medicinal, material de construcción | 1 |

| Nombre común | Nombre científico | Usos | Origen |
|------------------------------|---|---|--------|
| Cacachila | <i>Karwinskia latifolia</i> Standl. | Medicinal | 1 |
| Cacaloxochitl blanca* | <i>Plumeria rubra</i> L. | Ornato | 1 |
| Cacaloxohitl rosa* | <i>Plumeria rubra</i> L. | Ornato | 1 |
| Cacaragua* | <i>Vallesia glabra</i> (Cav.) Link | Alimenticia, ornato, medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Cardon | <i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> (Engelm. ex S.Watson) Britton & Rose | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, cerca viva, combustible | 1 |
| Cedro blanco | <i>Cedrela odorata</i> L. | Alimento, medicinal, material de construcción, usos ambientales | 1 |
| Ceiba | <i>Ceiba acuminata</i> (S.Watson) Rose | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, fuente de sombra | 1 |
| Ciruelo* | <i>Spondias purpurea</i> L. | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Ciruelo coyotero* | <i>Spondias</i> spp. | Medicinal | 1 |
| Cocoboy, Caobilla, Venadillo | <i>Swietenia humilis</i> Zucc. | Cerca viva, fuente de sombra | 1 |
| Compio* | <i>Combretum fruticosum</i> (Loefl.) Stuntz | Material para construcción, postes. | 1 |
| Copal, torote* | <i>Bursera</i> spp, | Material para construcción, medicinal | 1 |
| Copalquin | <i>Hintonia latiflora</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock | Medicinal | 1 |
| Cupressus* | <i>Juniperus</i> spp. | Forraje, medicinal, material de construcción, combustible, ornamental | 1 |
| Durazno | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch | Alimenticio | 3 |
| Encino | <i>Quercus</i> spp | Combustible, material de construcción | 1 |
| Eucalipto | <i>Eucalyptus globulosus</i> St.-Lag. | Medicinal | 3 |
| Guaje* | <i>Leucaena</i> spp | Elaboración de artesanías | 1 |
| Granada* | <i>Punica granatum</i> L. | Alimenticia | 3 |
| Guamuchil* | <i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth. | Alimenticia, forrajera, fuente de sombra | 1 |
| Guayabo* | <i>Psidium guajava</i> L. | Alimento, forraje, medicinal, veneno, material de construcción, combustible | 3 |
| Guayparin | <i>Lacistema aggregatum</i> (P.J. Bergius) Rusby | Fuente de sombra, usos ambientales | 1 |
| Guásima* | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, combustible, usos ambientales, para castigar a niños malcriados | 1 |
| Higuera* | <i>Ficus petiolaris</i> Kunth; (endémica); usos (alimento, medicinal, material de construcción, usos ambientales) | Medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Huanacaxtle | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. | Forraje, material de construcción, combustible | 1 |
| Huizache | <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn. | Forraje, medicinal, material de construcción, combustible, usos ambientales. | 1 |
| Ilama, uvalama* | <i>Vitex mollis</i> Kunth. | Alimento, elaboración de atoles, forraje, medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Lima* | <i>Citrus × aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle | Alimento, medicinal fuente de sombra | 3 |

| Nombre común | Nombre científico | Usos | Origen |
|------------------------|---|---|--------|
| Limón* | <i>Citrus × aurantium</i> L. | Alimento, medicinal fuente de sombra | 3 |
| Mandarina | <i>Citrus</i> spp | Alimento, medicinal fuente de sombra | 3 |
| Mango corriente* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mango corriente* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mango injerto* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mango machete* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mango manila* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mango piña* | <i>Mangifera indica</i> L. | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Mauto* | <i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J.F.Macbr. | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, combustible, usos ambientales | 1 |
| Mezquite | <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC. | Combustible | 1 |
| Mora | <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud. | Material de construcción | 1 |
| Moringa* | <i>Moringa oleifera</i> Lam. | Medicinal, forrajera, fuente de sombra | 3 |
| Nanchi* | <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, combustible, usos ambientales | 1 |
| Naranjito* | <i>Citrus</i> spp. | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 3 |
| Naranja* | <i>Citrus × sinensis</i> (L.) Osbeck | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 3 |
| Navio | <i>Conzattia multiflora</i> (B.L. Rob.) Standl. | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Neem* | <i>Azadirachta indica</i> A. Juss | Medicinal, fuente de sombra | 3 |
| Negrilo* | <i>Vitex pyramidata</i> B.L. Rob | Medicinal | 1 |
| Nopal* | <i>Opuntia</i> spp | Alimenticio, medicinal, cerca viva, material para construcción | 1 |
| Olivo negro* | <i>Terminalia buceras</i> (L.) C. Wright. | Fuente de sombra | 2 |
| Palma* | <i>Sabal</i> spp | Ornato | 1 |
| Palo blanco | <i>Piscidia mollis</i> Rose | Usos ambientales | 1 |
| Palo muerto, inmortal* | <i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G.Don | Forraje, medicinal, veneno, material de construcción, combustible, usos ambientales | 1 |
| Papache* | <i>Randia echinocarpa</i> Moc. & Sessé ex DC. | Alimento, sombra | 1 |
| Papaya* | <i>Carica papaya</i> L. | Alimento, forraje, medicinal, veneno, material de construcción. | 2 |
| Perihuate | <i>Crateva tapia</i> L. | Alimento, medicinal, material de construcción | 1 |
| Pinguica* | <i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth | Fuente de sombra | 3 |
| Pitaya | <i>Stenocereus martinezii</i> (J.G.Ortega) Buxb. | Fruto alimenticio | 1 |
| Plátanos* | <i>Musa x paradisiaca</i> L. | Alimento | 3 |
| Pochote* | <i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker f. | Alimento, forraje, trampa para hormigas, material para rellenar almohadas | 1 |
| Retama | <i>Parkinsonia aculeata</i> L | Medicinal, usos ambientales | 1 |
| Sabino | <i>Taxodium distichum</i> var. <i>mexicanum</i> | Material de construcción, usos ambientales | 1 |

| Nombre común | Nombre científico | Usos | Origen |
|---------------------|--|---|--------|
| | (Carrière) Gordon & Glend. | | |
| Tabachin* silvestre | <i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw. | Medicinal, fuente de sombra | 2 |
| Tamarindo* | <i>Tamarindus indica</i> L | Alimento, fuente de sombra | 3 |
| Tecomate o Ayale* | <i>Crescentia alata</i> Kunth. | Alimento, forraje, medicinal, material de construcción, combustible | 1 |
| Tepehuaje* | <i>Lysiloma watsonii</i> Rose | Medicinal, fuente de sombra | 1 |
| Toronja* | <i>Citrus</i> spp. | Alimento, medicinal, fuente de sombra | 3 |
| Vinolo, huinolo | <i>Vachellia campeachiana</i> (Mill.) Seigler & Ebinger | Material de construcción, leña, usos ambientales | 1 |
| Yaca* | <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | Alimento | 3 |
| Zapote | <i>Casimiroa edulis</i> La Llave. | Alimento, medicinal | 1 |
| Zorrillo | <i>Senna atomaria</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby. | Forraje, material de construcción, combustible | 1 |

*Árboles registrados en los 51 huertos familiares estudiados, 1= Árboles nativos de México con distribución en Sinaloa, 2= Árboles nativos de México cuya distribución no abarca Sinaloa, 3= Árboles introducidos a México (POWO, 2021).

DISCUSIÓN

Sinaloa es un estado cuya vegetación está parcialmente estudiada principalmente en la zona norte y sur (Amador-Cruz, Benítez-Pardo, & Briseño-Dueñas, 2017). Sin embargo, los resultados muestran la gran diversidad de especies de árboles nativos como los presentados para la Familia Fabaceae. El aprovechamiento de las leguminosas en el diseño de Sistemas agrosilvopastoriles puede valorarse como estrategia de conservación de especies y la mejora de la calidad del humus de los suelos con aprovechamiento agrícola y ganadero. De igual forma se observó una gran diversidad de especies para los géneros *Quercus*, *Pinus* y *Bursera* lo cual coincide con las afirmaciones de Gentry (1946) sobre la importancia y diversidad de encinos en las Sierras de Ocurahui, Sierra Surotato, Sierra Monterrey, Varomena en Badiraguato. Con respecto a los pinos los resultados muestran que pese a los graves problemas de deforestación el estado de Sinaloa presenta el 41% de especies nativas del país distribuidas en el 1.7% del territorio (SEMARNAT, 2015). Entre los municipios con mayor explotación forestal registrados están Concordia, Sinaloa, Badiraguato, el Rosario y el Fuerte que suman el 81% de la producción Forestal (Monjardín-Armenta, Pacheco-Angulo, Plata-Rocha, & Corrales-Barraza, 2017). Se considera que la introducción de sistemas agroforestales podría disminuir la presión por la demanda de madera y productos forestales no maderables que se está ejerciendo sobre estas y otras especies (SEMARNAT, 2015).

En el caso del género *Bursera* ubicado dentro de la agrupación de Selvas (Miranda & Hernández X, 1963) las cuales integran a la Selva Baja Caducifolia, Selva Baja Espinosa, Selva Mediana Subcaducifolia representan el 15.5% del total nacional (SEMARNAT, 2015). Sin embargo, este sistema ha sido señalado como uno de los más vulnerables debido a que sólo permanece el 30% de la cobertura original y únicamente el 0.2 se encuentra bajo protección (Berlanga-Robles, Cervantes- Escobar, & Murúa Figueroa, 2017). Como puede observarse en cuanto a las especies arbóreas nativas Sinaloa presenta una diversidad aún por explorar asociada a un aprovechamiento que debe girar a formas más sustentables.

En cuanto a la importancia cultural como se mencionó anteriormente a diferencia de los estados del centro del país son pocos los estudios sobre las culturas en Sinaloa, entre ellas los grupos Cahitas y sus descendientes actuales los Mayos-Yoreme, la mayoría de ellos se basan en

excavaciones cuyo objetivo fue descifrar las formas de subsistencia de las poblaciones del noroeste (Kelly, 2008), que fueron el límite septentrional de una rama de la alta cultura procedente del sur (Ekholm, 2008). Los registros señalaron como formas de subsistencia de estos grupos a los alimentos acuáticos, hortalizas, tomates, el aprovechamiento de algodón y la caña de azúcar (aunque tanto *Solanum lycopersicum* L. y *Saccharum officinarum* L. son especies introducidas a México (POWO, 2021)) y el aprovechamiento del algodón. Cabe mencionar que para México existen dos árboles nativos y endémicos de *Gossypium aridum* (Rose & Standl.) Skovst. y *Gossypium trilobum* (Moc. & Sessé ex DC.) Skovst (Tellez *et al.*, 2020). De las referencias de Beals (2016) algunas de ellas fueron confirmadas en los estudios de Yetman & Van Devender (2002) con los Mayos-Yoremes, árboles como el brasil, tepeguaje, los torotes (Género *Bursera*), las pitayas, el guamúchil, los mezquites, el mauto, el cardón, los cactus, guaje y el hito (*Forchhammeria watsonii* Rose) donde sepultaban los cordones umbilicales de los recién nacidos (Beals, 2016), con excepción de esta última especie todas las demás fueron registradas en la zona de estudio (Cuadro 2). La nomenclatura de las especies descrita en idiomas Mayo, Náhuatl y Tarasco entre otros puede ayudarnos a descifrar la historia y el movimiento tanto de las culturas en el noroeste del país como de las especies de árboles nativos en la región.

Con respecto a los sistemas agroforestales, al igual que sus culturas permanecen poco exploradas. Sin embargo, los estudios anteriormente citados mostraron que en un inicio las poblaciones fueron particularmente de naturaleza nómada y seminómada con un conjunto ritual asociado al manejo del monte donde probablemente diferentes especies fueron manejadas y domesticadas *In situ*. A pesar de ello se encontró evidencia de una agricultura tradicional de temporal asociada a los ríos. De acuerdo con Beals (2016) los Cahitas, esperaban la época de lluvias donde los afluentes se desbordaban e inundaban sus terrenos, con el agua y nutrientes no era necesario regar ni fertilizar el material sembrado, otro hecho documentado por este autor fue la presencia de presas con estacas y matorrales donde se desviaba las aguas producto de las inundaciones a los campos de cultivo (el nombre mayo en si desciende de la gente de las riberas) (López Aceves, 2007). Este tipo de manejo en su mayoría está en desuso, aunque se observó algo similar hacia la zona de la sierra de Badiraguato cerca de las presas, una forma de manejo parecido al sistema agroforestal de los Tajos descritos de la Sierra Gorda de Guanajuato (Hoogesteger van Dijk, Casas, & Moreno-Calles, 2017).

En la actualidad los agroecosistemas descritos para los mayos y para todo el estado de Sinaloa son de riego (con un 60% de eficiencia en el abastecimiento de agua) y temporal (Norzagaray-Campo, García-Gutierrez, Llañes- Cardenas, Troyo-Diéguez, & Muñoz-Sevilla, 2010), con pastizal cultivado e inducido muchas veces delimitados con el sistema agroforestal de cercas vivas en las que abundan los nopales de diferentes formas, tamaños, número de espinas, estas especies son propagadas a través de pencas que traen del monte o de otras casas y a pesar de que en Sinaloa han sido descritas al menos 15 especies de nopales silvestres (Sheinvar, Preciado García, Olalde Parra, & Gallegos Vázquez, 2013) poco se sabe sobre su manejo y procesos de diversificación en la región.

Para finalizar con los sistemas agroforestales, es posible observar hacia la sierra de Badiraguato comunidades de Pitayas cuyos frutos son consumidos y vendidos, coexisten con pastizales y ganado que bien podrían ser descritas como Pitayales cuyo futuro estudio merece una comparación con lo observado en los Sistemas Chichipera, Jiotillal, Garabullal del centro del país (Moreno Calles, Casas, Toledo, & Vallejo Ramos, 2016).

Aunque el objetivo de este estudio no fue evaluar directamente la diversidad en los huertos familiares, los resultados obtenidos muestran un número ligeramente menor de frutales 31 de los 57 árboles registrados, en comparación de los 33 de las 59 especies registradas por López-Ortíz *et al.* (2017). Lo anterior puede estar relacionado al número de huertos muestreados por ellos 211 con respecto a los 51 de este estudio en tres áreas de la misma comunidad. A pesar de lo anterior se observó que la estructura es prácticamente la misma, dominan en frecuencia las

especies introducidas como el plátano, la guayaba, el mango (en nuestro estudio se registraron cinco variedades), seguidas por los cítricos (limón, lima, toronja, mandarina, etc.), algunas especies nativas al sureste de México y de la región como el aguacate, la papaya, el arrayán y la ciruela. Al revisar las estructuras de otros huertos del centro (Guadarrama Martínez, Chávez Mejía, Rubi Arriaga, & White Olascoaga, 2020) y sureste de México (Góngora Chin, Flores-Guido, Ruenes-Morales, Aguilar.Cordero, & García- López, 2016) aparecen nuevamente estos árboles a los que se adicionan los frutales locales que han sido reconocidos por Ruenes *et al.* (2016) como abandonados y subutilizados. Caballero *et al.* (2010) en su estudio sobre la biodiversidad de huertos en México mencionan que existe una sorprendente similitud entre los huertos familiares del sudeste de Asia y el sudeste de México en su estructura y función, por su parte Ruenes *et al.* (2016) comenta que durante la conquista los españoles introdujeron 21 especies de frutales provenientes de Asia y África. Cabe la posibilidad que las ideas de Martínez (1998) en su libro “La Diáspora Tlaxcalteca”, también se apliquen a los huertos familiares donde este sistema agrícola híbrido con raíces tradicionales haya sido llevado desde el sur al norte del país durante el proceso de colonización. Aunque cada región incorpora sus propias necesidades, aspectos culturales y diversidad local ejemplo de ello son las 55.81% de las especies nativas registradas en el estudio que representan el 4.15% de las especies nativas del estado de Sinaloa. Adicionalmente las estrategias de manejo del suelo y agua como las calzadas, la selección de especies nativas que requieren de poca agua y la protección hacia los individuos juveniles. El manejo de recursos fue mayor en la zona del centro las especies introducidas requieren de mayor intensidad de manejo (riego, poda, aplicación de plaguicidas químicos) para dar frutos y volverse frondosos, aunque reconocemos hacen falta mayores estudios para evaluar el manejo y los procesos de diversificación de especies nativas como los nopales, el algodón, los ciruelos, los guajes, mezquites, guamúchiles y de la una de las especies nativa y endémica para la región el pitayo. Finalmente, además del uso medicinal, el mayor valor de estos árboles es su sombra y el efecto que tienen en la temperatura de las viviendas (lo cual se sobre entiende por las altas temperaturas de la región).

CONCLUSIONES

La biodiversidad de especies y árboles nativos para Sinaloa está representada por 577 especies de árboles nativos, la familia más representativa es la Fabaceae, mientras que los géneros con mayor número de especies están representados por *Quercus*, *Pinus* y *Bursera*, tanto las especies como los ecosistemas donde se localizan se encuentran en proceso de deterioro por la deforestación y la presión sobre los recursos forestales. El reconocimiento de los sistemas tradicionales agroforestales puede ser de utilidad para mejorar el manejo de las especies y los recursos entre ellos el agua y suelo, ejemplo de esto fue la presencia en los huertos familiares de 4.5% de especies de árboles nativos del Estado de Sinaloa. Adicionalmente estudiar las características y procesos evolutivos de estas especies nativas permitirá su incorporación a los nuevos modelos de agroecosistemas propuestos como estrategias gubernamentales, adaptados al clima que brinden servicios ambientales, sombra, alimento, forraje y cuyo manejo no provoque el agotamiento de los recursos naturales y de los ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen al Dr. Fernando Pío León, por la identificación de algunas de las especies incluidas en el estudio, al M en C. José Enrique Galindo Soto por proporcionar información sobre el mezquite y los sistemas silvopastoriles, a Yulisa Rodríguez López, Heréndira Flores Almeida y Gilberto Sandoval Varela por la ayuda en el trabajo de campo del año 2020.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants of. *Journal of peasant studies*, 163-202. Obtenido de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/ilsa/20130711054327/5.pdf>
- Amador-Cruz, F., Benítez-Pardo, D., & Briseño-Dueñas, R. (2017). Primer registro de *Vigna vexillata* (Fabaceae, Faboideae) en Sinaloa, México. *Act. Bot. Mex*, 121, 169-176. doi:<https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1243>
- Beals, R. (2016). *Etografía del Noroeste de México*. México: XXI.
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(5), 454-489. doi:10.1080/10549811.2017.1310049
- Berlanga-Robles, C. A., Cervantes- Escobar, A., & Murúa Figueroa, E. (2017). Estacionalidad y tendencias del bosque tropical caducifolio de la cuenca de Piaxtla- Elota- Quelite y el área protegida Meseta de Cacaxtla, México. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-16. doi:10.21829/myb.2018.2431576
- Caballero, J., Cortés, L., & Martínez- Ballesté, A. (2010). El Manejo de la Biodiversidad en los Huertos Familiares. En V. M. Toledo, *La Biodiversidad de México "Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural"* (Segunda ed., págs. 220-234). México, D.F: Fondo de Cultura Económica.
- Cahuich-Campos, D., Huicochea Gómez, L., & Mariaca Méndez, R. (2014). El huerto familiar, la milpa y el monte maya en las prácticas rituales y ceremoniales de las familias de X-Mejía, Hopelchén, Campeche. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, XXXV, 157-184. Recuperado el Enero de 2022, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13733001006>
- Cariño Olvera, M., & Ortega Santos, A. (2014). Oasis de Baja California Sur México (siglos XVIII-XX) Propiedad y Uso Comunitario en Ecosistemas Áridos. *Amnis [En ligne]*. doi:<https://doi.org/10.4000/amnis.2151>
- Casas, A., Camou, A., Oterno-Arnaíz, A., Rangel-Landa, S., Cruse-Sanders, J., Delgado, A., . . . Arellanes, Y. (2014). Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investigación ambiental*, 6(2), 23-44. Obtenido de <https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/47674275/InvAmb-6-2-14-Casas-ver2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1641852347&Signature=VWEmqNC0XPURpqlH0Ait89oMWQpNi4L8p7pGJBKTUliQynYmzQ7DdxFASoF20846~0UAWIcIOpe5A0JtTHIK1JYPXN8eDnRo52Kho9HilaUYcYR7fX-AeoOpDstuys31u-p>
- Ekholm, G. (2008). *Excavaciones en Guasave, Sinaloa*. México: Siglo XXI.
- García Marin, C. (1984). Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp en el Bajío Guanajuatense. *Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados*, 204.
- Gentry, H. (1946). Notes on the vegetation of Sierra Surotato in Northern Sinaloa. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 451-462.
- Góngora Chin, R. E., Flores- Guido, S., Ruenes-Morales, M. R., Aguilar.Cordero, W. J., & García- López, J. E. (2016). Uso tradicional de la Flora y Fauna en los huertos familiares mayas en el municipio de Campeche, Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos agropecuarios*, 3(9), 379-389. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n9/2007-901X-era-3-09-00379.pdf>
- González-Jácome, A. (2012). *Fieldwork Report on the Río, Mayo River Basin, Sonora, Mexico*. Universidad Iberoamericana (UIA). Mexico: Universidad Iberoamericana.
- González-Jácome, A. (2016). Analysis of Tropical Homegardens through an Agroecology and Antropological Ecology Perspective. En V. E. Mendez, C. M. Bacon, R. Cohen, & S. R. Gliessman, *Agroecology, A transdisciplinary, Participatory, and Action-oriented Approach* (pág. 284). Boca Raton, Florida, EU: CRC Press, Taylor & Francis Group.

- Recuperado el Diciembre de 2021, de International Standard Book Number-13: 978-1-4822-4177-8 (eBook - PDF)
- Guadarrama Martínez, N., Chávez Mejía, M. C., Rubi Arriaga, M., & White Olascoaga, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad y Ambiente*, 22, 236-256. doi:<https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2107>
- Hernández Cendéja, G., Avalos Lozano, A., & Urquijo, P. (2016). El te'lom una alternativa a la deforestación en la huasteca. Análisis de un sistema agroforestal entre los teenek potosinos. En A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. M. Toledo, & M. Vallejo Ramos, *Etnoagroforestería en México* (Primera ed., págs. 71-92). México: UNAM. Recuperado el 2022
- Höft, M., Barik, S., & Lykke, A. (1999). *Quantitative Ethnobotany, Applications of multivariate and statistical analyses in ethnobotany*. UNESCO. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.476.607&rep=rep1&type=pdf>
- Hoogesteger van Dijk, V., Casas, A., & Moreno-Calles, A. I. (2017). Semiarid ethnoagroforestry management: Tajos in the Sierra Gorda, Guanajuato, Mexico. *J Ethnobiology Ethnomedicine*, 13(34), 2-11. doi:<https://doi.org/10.1186/s13002-017-0162-y>
- Kelly, I. (2008). *Excavaciones en Culiacán Sinaloa*. México: Siglo XXI. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=i3kq9dcLeCYC&oi=fnd&pg=PA2&dq=excavaciones+sinaloa&ots=52gaiMS6EZ&sig=wtR4e8Q2GosRa_oFbz7x88LIWk#v=onepage&q=excavaciones%20sinaloa&f=false
- Kent, M., & Coker, P. (1992). *Vegetation Description and Analysis. A practical Approach*. Florida, USA: CRC Press.
- Lara-Ponce, E., Valdés-Vega, J., Medina-Torres, S., & Martínez-Ruiz, R. (2017). Situación de la agricultura de mayos y mestizos del Norte de Sinaloa, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14, 577-597.
- López Aceves, H. E. (2007). Los Mayos de Sinaloa: esbozo etnográfico y regional. *Cuicuilco*, 14(39), 11-33. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/351/35111319002.pdf>
- López Vega, K. C., & Olivas Velarde, J. C. (2021). Sistema Silvopastoril Tradicional de Mezquite (*Prosopis juliflora*) en el ejido el Carricito, El Fuerte Sinaloa. *Tesis de Licenciatura para obtener el Título de Ingeniero Forestal*. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa, México: Universidad Indígena de Sinaloa.
- López-Ortiz, D., Osuna-Flores, I., de la Torre-Martínez, M., & Olivos-Ortiz, A. (2017). Diversidad de árboles frutales de traspatio en Mochicahui,. *Rev. Biodivers. Neotrop.*, 7(1), 6-13. doi: <http://dx.doi.org/10.18636/bioneotropical.v7i1.489>
- Mariaca Méndez, R., González Jácome, A., & Martínez, L. (2007). El Huerto Familiar en México, avances y propuestas. (A. A. JF López Olguín, Ed.) *Avances en agroecología y ambiente*, 1, 119-138.
- Martínez Saldaña, T. (1998). *La Diáspora Tlaxcalteca. Colonización agrícola del Norte Mexicano*. Tlaxcala: Gobierno el Estado de Tlaxcala.
- Miranda , F., & Hernández X, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. México.*, 28, 17-29.
- Moctezuma Pérez, S. (2010). Una aproximación al estudio del sistema agrícola de huertos desde la Antropología. *Ciencia y Sociedad*, 47-69. Recuperado el Enero de 2022
- Monjardín-Armenta, S., Pacheco-Angulo, C., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación y sus factores. *Madera y Bosques*, 23(1), 7-22. doi:[doi:10.21829/myb.2017.2311482](https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311482)
- Moreno Calles, A. I., Casas , A., Toledo, V., & Vallejo Ramos, M. (2016). *Etnoagroforestería en México* (Primera edición ed.). México: UNAM. Obtenido de <http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/248/AgroForest%20V%20ELECTRONICA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Moreno-Calles, A. I., Galicia-Luna, V. J., Casas, A., Toledo, V., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., & Camou-Guerrero, A. (2014). La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas. *Etnobiología*, 12(3), 1-16.

- Naturalista. (2021). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Retrieved from <http://www.naturalista.mx>.
- Norzagaray-Campo, M., García-Gutierrez, C., Llañes- Cardenas, O., Troyo-Diéguéz, E., & Muñoz-Sevilla, P. (2010). Análisis de la producción agrícola extensiva en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 6(1), 45-50. Obtenido de <http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-16articulosPDF/06%20Análisis%20de%20produccion.pdf>
- Palerm, A. (1992). Sistemas Agrícolas en Mesoamérica Contemporánea. En J. Palerm Viqueira, *Guía para una primera práctica de campo* (Primera ed., págs. 241-281). Queretaro: Universidad Autónoma de Queretaro. Recuperado el 2022
- Pío-León, F. (2009). <https://www.naturalista.mx/photos/3052165>.
- Pío-León, J. F., Nieto-Garibay, A., León de la Luz, J. L., Delgado-Vargas, F., Vega-Aviña, R., & Ortega Rubio, A. (2018). Plantas silvestres consumidas como té recreativos por grupos de. *Acta Botánica Mexicana*, 7-19. doi:<http://dx.doi.org/10.21829/abm123>
- POWO. (2021). *Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew*. Obtenido de <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- Reyes Jiménez, J. E., & Martínez Alvarado, C. O. (2011). *Establecimiento y manejo de cercas vivas*. Culiacán, Sinaloa: Fundación Produce Sinaloa, SAGARPA, Gobierno del Estado de Sinaloa.
- Rohlf, F. J. (1997). NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.02 e. Exeter Software, . New York, USA.
- Rosales Adame, J. J., Cuevas Guzmán, R., Gliessman, S. Benz, B., & Cevallos Espinoza, J. (2016). El agrobosque de Piña en el Occidente de México. En A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. M. Toledo, & M. Vallejo Ramos, *Etnoagroforestería en México* (Primera ed., págs. 43-70). México: UNAM. Recuperado el 2022
- Rosales Vásquez, E., Lara Ponce, E., & Piña Ruiz, H. H. (2017). Uso de los recursos forestales en el ejido Yoreme-Mayo. En R. Rosas Vargas, A. Ortega Hernández, M. León Andrade, & B. Rodríguez Haros, *Estudios y aplicaciones para el desarrollo* (pág. 277). Guanajuato: Universidad de Guanajuato. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Ortega-Hernandez/publication/331556246_Estudios_y_Aplicaciones_para_el_Desarrollo/links/5c800d23458515831f8b0a30/Estudios-y-Aplicaciones-para-el-Desarrollo.pdf#page=160
- Ruenes Morales, M. R., Monteñez Escalante, P. I., Ancona, J. J., & Ek Rodríguez, I. L. (2016). *Los frutales abandonados y subutilizados en la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán. Red Temática sobre el Patrimonio Biocultural.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (Primera ed.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., & De la Maza, J. (2008). *Capital Natural de México- Síntesis, conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad* (Vol. I). México, D.F, México: CONABIO.
- SEMARNAT. (2015). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Sinaloa 2014*. Comisión Nacional Forestal. Retrieved from <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002873.pdf>
- Sheinvar, L., Preciado García, M., Olalde Parra, G., & Gallegos Vázquez, C. (2013). Nopales silvestres de Sinaloa, México (Cactaceae). (B. d. de, Ed.) *Ibugana: Boletín del Instituto de Botánica*, 5, 73-94. Obtenido de http://ibugana.cucba.udg.mx/ibugana_5_integrada_20141001.pdf
- Tellez, O., Mattana, E., Diazgranados, M., Kühn, N., Castillo-Lorenzo, E., Lira, R., . . . Ulian, T. (2020). Native trees of Mexico: diversity, distribution, uses and conservation. *PeerJ*, 8(e9898). doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.9898>
- Vallejo, M., Ramírez, M., Casas, A., Reyes, A., & López-Sánchez, J. (2018). Cambios en la distribución de sistemas agroforestales. *Ecosistemas*, 27(3), 96-105.
- Vázquez- Davila, M. A., & Lope-Alzina, D. G. (2012). Redefiniendo los huertos familiares. En M. A. Vázquez- Davila, & D. G. Lope-Alzina, *Avez y Huertos de México* (Primera ed., págs. 132-133). Oaxaca, México: Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Recuperado el 2022

Recibido:
3/agosto/2021

Aceptado:
16/mayo/2022

- Vázquez-Sánchez, M., Terrazas, T., & Salvador, A. (2012). El hábito y la forma de crecimiento en la Tribu Cactae (Cactaceae, Cactoideae). *Botanical Science*, 97-108. Recuperado el Diciembre de 2021
- Vega Aviña, R., & Olvera Careaga, S. A. (2018). *Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad*. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QN2019001226512>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico,. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>.
- Villaseñor, J. L., & Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad vol. 87, no 3,*, 559-902.
- Yetman, D., & Van Devender, T. (2002). *Mayo Ethnobotany, Land, History, and Traditional Knowledge in Northwest Mexico*. University of California Press.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

ATRIBUTOS TANGIBLES E INTANGIBLES Y DIFERENCIACIÓN SENSORIAL DE LA VAINILLA MEXICANA

TANGIBLE AND INTANGIBLE ATTRIBUTES AND SENSORY DIFFERENTIATION OF MEXICAN VANILLA

Barrera Rodríguez, A.I.; A. Espejel; M.G. Pérez y A.G. Ramírez García.

ATRIBUTOS TANGIBLES E INTANGIBLES Y DIFERENCIACIÓN SENSORIAL DE LA VAINILLA MEXICANA.

TANGIBLE AND INTANGIBLE ATTRIBUTES AND SENSORY DIFFERENTIATION OF MEXICAN VANILLA.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 241-255 México. Julio 2022

DOI: 10.18387/polibotanica.54.15



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/)).

ATRIBUTOS TANGIBLES E INTANGIBLES Y DIFERENCIACIÓN SENSORIAL DE LA VAINILLA MEXICANA.

TANGIBLE AND INTANGIBLE ATTRIBUTES AND SENSORY DIFFERENTIATION OF MEXICAN VANILLA.

Barrera Rodríguez, A.I.;
A. Espejel;
M.G. Pérez
y A.G. Ramírez García.

ATRIBUTOS TANGIBLES E
INTANGIBLES Y
DIFERENCIACIÓN
SENSORIAL DE LA
VAINILLA MEXICANA.

TANGIBLE AND
INTANGIBLE ATTRIBUTES
AND SENSORY
DIFFERENTIATION OF
MEXICAN VANILLA.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 241-255. Julio 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.53.15

A.I. Barrera Rodríguez / ariadna.barrera@gmail.com
*Universidad Autónoma Chapingo, Preparatoria Agrícola
Texcoco, Estado de México*

A. Espejel / anastacio.espejel@gmail.com
*Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ciencia y
Tecnología Agroalimentaria. Departamento de Ingeniería Agroindustrial
Texcoco, Estado de México.*

M.G. Pérez
*Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.*

A.G. Ramírez García / gramirezg@taurus.chapingo.mx
Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN: La vainilla es un producto emblemático de la región del Totonacapan debido a que su producción y beneficiado tradicional están estrechamente asociados con elementos culturales, tradiciones, festividades y gastronomía de la población, mismos que están respaldados en la Denominación de Origen (D.O.). La vainilla es considerada un alimento tradicional, y su demanda en el mercado ha venido incrementando en los últimos años. El objetivo de esta investigación fue identificar atributos sensoriales diferenciadores de la vainilla proveniente de cuatro zonas productoras e identificar los significados de compra de los consumidores nacionales. Mediante el método de Perfil Flash y el Análisis Procrusteano Generalizado (APG) se identificó que las vainillas de Papantla, Veracruz y San José Acateno, Puebla, obtuvieron mayores atributos sensoriales, a diferencia de otras vainillas de las regiones productoras. Para identificar los atributos tangibles e intangibles, se diseñó una encuesta y se aplicó a cien consumidores locales y no locales. Se utilizó el análisis de significados de compra y la rueda sensorial para identificar las categorías que son reconocidas por los consumidores, siendo las relacionadas con el aroma, alimentos y proceso que corresponde a la dimensión utilitaria las de mayor importancia (72.2%), a diferencia de las categorías relacionadas con la dimensión simbólica que obtuvieron un porcentaje menor (27.7%). Se concluye que la vainilla tiene un reconocimiento mayor en términos de significados utilitarios que se expresa mediante atributos como el aroma, por tanto, resulta importante emprender acciones que permitan revalorar los atributos intangibles ligados a los saberes, la cultura, tradición, identidad y proceso de beneficiado inherentes a la vainilla.

Palabras clave: alimento tradicional, vainilla mexicana, atributos sensoriales.

ABSTRACT: Vanilla is an emblematic product of the Totonacapan region because its production and traditional beneficiation are closely associated with cultural elements, traditions, festivities and gastronomy of the population, which are backed by the Denomination of Origin (D.O.). Vanilla is considered a traditional food, and its demand in the market has been increasing in recent years. The objective of the work was to identify differentiating sensory attributes of vanilla from four producing areas

and to identify the purchasing meanings of national consumers. By means of the Flash Profile method and the Generalized Procrustean Analysis (APG) it was identified that the vanillas from Papantla, Veracruz and San José Acateno, Puebla, obtained higher sensory attributes, than the difference from other vanillas from the producing regions. To identify tangible and intangible attributes, a survey was designed and applied to 100 local and non-local consumers. The analysis of purchase meanings and the sensory wheel were used to identify the categories that are recognized by consumers, being those related to aroma, food and process that correspond to the utilitarian dimension the most important (72.2%), unlike of the categories related to the symbolic dimension that obtained a lower percentage (27.7%). It is concluded that vanilla has a greater recognition in terms of utilitarian meanings that is expressed through attributes such as aroma, therefore, it is important to take actions that allow revaluing the intangible attributes linked to knowledge, culture, tradition, identity and process of benefits inherent in vanilla.

Keywords: traditional food, Mexican vanilla, sensory attributes.

INTRODUCCIÓN

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex. Adrews) es una de las especias más comercializadas en el mercado internacional debido a su aroma característico e insustituible. Es una orquídea cuyo fruto verde es sometido a un proceso de beneficiado, que consiste en un proceso artesanal compuesto por cinco etapas: despezonado (desprendimiento del fruto del raquis), marchitamiento o matado (inhibición de la madurez fisiológica del fruto), secado (exposición al sol a temperatura de 60 °C), sudoración (colocación de la vainilla en cajones de madera para sudar) y acondicionamiento (exposición de la vainilla a temperatura ambiente para verificar la inexistencia de moho), el proceso de beneficiado puede tener una duración de tres a cinco meses (Reyes-López *et al.*, 2008; Curtí, 1995). El proceso es realizado por un maestro beneficiador quien tiene años de experiencia y preserva los conocimientos transmitidos por generaciones.

El beneficiado de la vainilla es un proceso enzimático, mediante el cual los frutos verdes que en esta etapa carecen de aroma, se modifican drásticamente hasta exhibir un color café oscuro y brillante y perfiles de aroma y sabor, provenientes de una mezcla de compuestos químicos (Reyes-López *et al.*, 2008). La literatura refiere que la vainilla cuenta con un perfil de más de 250 compuestos químicos (Adedeji *et al.*, 1993).

En las principales zonas de producción como el Totonacapan (comprende 38 municipios de los estados de Puebla y Veracruz) y la Huasteca Potosina en San Luis Potosí, en México, los beneficiadores realizan diferentes procesos que definen de acuerdo con las condiciones climáticas, disponibilidad del producto, destino o uso de la vainilla, o si utilizan el sistema tradicional (bajo sol) o tecnificado (horno de convección) (Jaramillo *et al.*, 2013). Actualmente en la región se realizan tres tipos de beneficiado: el tradicional, que consiste en el secado de la vainilla mediante la exposición a la luz solar; el tecnificado, en el cual se emplea un horno calorífico, mediante el cual se realiza el matado y secado de la vainilla sin exposición a la radiación solar; el semi-tecnificado corresponde al uso combinado de la exposición solar y el horno calorífico, generalmente cuando se benefician grandes volúmenes de vainilla en verde, el horno calorífico se usa para detener la vida vegetativa de la vainilla y posteriormente se emplea la exposición al sol para realizar el secado.

Existen variaciones en el proceso de beneficiado como resultado de los cambios en el clima del lugar donde se realiza, madurez de los frutos, volumen de estos, disponibilidad y experiencia en la mano de obra (Curtí, 1995; Odoux, 2011). Como resultado de la interacción de esos factores que cada beneficiador enfrenta y aplica al proceso, se presentan variaciones en la calidad de los frutos beneficiados, lo que impacta significativamente en el desarrollo de sus atributos sensoriales.

El estudio realizado por (Xochipa-Morante *et al.*, 2016) concluye que independientemente de que los frutos de vainilla sean del mismo clon, mismo estado de madurez y sitio de producción, las diferentes prácticas realizadas durante el proceso de beneficiado inciden en el contenido de los componentes mayoritarios del aroma (vainillina, ácido vanílico, p-hidroxibenzaldehído y ácido p-hidroxibenzoico). (Mariezcurrana *et al.*, 2008) coinciden en que la fase de marchitamiento tiene un impacto significativo en la calidad aromática de la vainilla beneficiada y tiene como objetivo detener el desarrollo vegetativo de los frutos.

La vainilla mexicana obtuvo la denominación de origen en 2011 y paralelamente se creó la Norma Oficial NOM-182-SCFI-2011, Vainilla de Papantla. Extractos y derivados. Especificaciones, información comercial y métodos de ensayo (prueba). La vainilla mexicana se ha posicionado como la mejor en el ámbito mundial por su perfil sensorial, es ampliamente demandada por la industria alimentaria. Es un recurso fitogenético asociado ancestralmente a las culturas originarias, se tienen registros de su uso alimentario y medicinal (Deanne, 2005). Si bien en México el consumo per cápita de vainilla es bajo, en los últimos años se ha registrado un aumento en el consumo por la industria de alimentos.

Los alimentos tradicionales son productos con un arraigo cultural e identitario y cuyos atributos tangibles e intangibles están asociados con el territorio (Guerrero, *et al.*, 2009). Los atributos sensoriales de los productos tradicionales están relacionados con los procesos, los implementos, las prácticas agrícolas tradicionales en la producción y beneficiado, los conocimientos ancestrales que conlleva su elaboración. Por tanto, los productos tradicionales son una expresión de la cultura, historia y el modo de vida de una región. Son considerados saludables y con gran aportación nutricional, y por otro lado contribuyen a conservar elementos de la herencia cultural (Trichopoulou *et al.*, 2007).

Los conocimientos entorno a la domesticación, conservación, procesamiento y uso de la vainilla, están estrechamente asociados a las culturas y a los pueblos originarios asentados en las regiones productoras (Del Ángel y Mendoza, 2002). Podemos afirmar que la vainilla mexicana es un alimento tradicional con gran riqueza cultural. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue identificar atributos sensoriales diferenciadores de la vainilla proveniente de cuatro zonas productoras e identificar los significados de compra en una muestra de consumidores nacionales.

De acuerdo con Jauregui *et al.*, (2021) los alimentos tradicionales son caracterizados por un conjunto de atributos que pueden estar asociados a una evaluación subjetiva, a partir de la cual es posible aproximar una función de utilidad y determinar elementos para su valoración. La valorización de los alimentos tradicionales parte de comprender cómo los consumidores perciben los productos, cómo influyen sus necesidades y cómo toman decisiones basadas en esas necesidades (Van Kleef *et al.*, 2005). Existen factores que intervienen en el consumo de alimentos como el origen del producto, el proceso de fabricación, vinculación a territorios y recursos naturales asociados, funcionalidad y valores éticos (Vanhonacker *et al.*, 2013). Los alimentos tradicionales tienen un componente intangible, el cual provee al consumidor de significados que se traducen en representaciones simbólicas del producto (Hirschman, 1980) ligados a su sistema de valores, hábitos, costumbres, ideologías, elementos identitarios.

Existen estudios sobre identificación de atributos tangibles e intangibles diferenciadores de los productos tradicionales mexicanos (Ruiz, 2020; Pablo, 2019; Hernández-Montes *et al.*, 2019; Barrera *et al.*, 2019; Hernández-Montes, 2018) los cuales contribuyen a la revalorización de estos por grupos de consumidores en el mercado nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

PERFIL FLASH

La obtención del perfil descriptivo se realizó mediante un panel sensorial conformado por diez productores y beneficiadores de vainilla de la región del Totonacapan del estado de Puebla y Veracruz, quienes fueron seleccionados por su aptitud, experiencia mayor a quince años en la producción y beneficiado de vainilla de la región, y su capacidad para adaptarse al procedimiento del análisis, mismo que se realizó conforme al método de perfil flash propuesto por Delarue (2014); Delarue and Sieffermann (2004); (Puma-Isuiza y Núñez-Saavedra, 2020). Delarue (2014) señala que es posible integrar un panel con expertos del producto (desarrolladores del producto o expertos tradicionales) considerando que su amplia experiencia y conocimiento del producto les permite tener una mayor sensibilidad que enriquece el estudio de perfil flash. Al respecto, Puma-Isuiza y Núñez-Saavedra (2020) realizaron una caracterización sensorial de hot-dog, mediante la conformación de 20 consumidores habituales, establecieron un rango de edad y una frecuencia de consumo.

Se seleccionaron cuatro tipos de vainilla beneficiada provenientes de distintas comunidades y con variaciones específicas de cada maestro beneficiador en el proceso de secado: Cuyuxquihui, Primero de Mayo y del centro del municipio de Papantla en el estado de Veracruz y el municipio de San José Acateno en el estado de Puebla. La vainilla proveniente de Primero de Mayo, Cuyuxquihui y San José Acateno fue beneficiada de forma tradicional, la vainilla proveniente del centro de Papantla fue beneficiada bajo un método semi-tecnificado, como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones climáticas de las zonas de producción de la vainilla evaluada.

| Región/Comunidad | Proceso de beneficiado | Condiciones climáticas |
|-----------------------------|------------------------------|---|
| Centro de Papantla, Ver. | Beneficiado semi tecnificado | Clima Cálido Subhúmedo Temperatura media anual: 23 °C. Precipitación media anual: 1136 mm Altitud 147 msnm |
| 1° de Mayo, Papantla, Ver. | Beneficiado Tradicional | Clima Cálido Subhúmedo Temperatura media anual: 21 °C Precipitación media anual: 1480 mm Altitud 81 msnm |
| Coyuxquihui, Papantla, Ver. | Beneficiado tradicional | Clima Cálido Subhúmedo Temperatura media anual: 29 °C Precipitación media anual: 855 mm Altitud 194 msnm |
| San José Acateno, Pue. | Beneficiado tradicional | Clima Semicálido húmedo Temperatura media anual: 22 °C Precipitación media anual: 1250 mm Altitud 162 msnm |

Fuente: INEGI; CONAGUA.

En la primera etapa del perfil flash se les proporcionó a los panelistas una vaina de vainilla de cada una de las cuatro comunidades, con la finalidad de generar de manera individual una lista de atributos que les permitiera describirlas.

En una segunda etapa, se obtuvo por consenso una lista de los atributos de la vainilla: color café intenso (homogéneo), brillantez, flexibilidad, aroma a vainilla, fermentado, madera, dulce, chocolate, frutal, floral, tabaco y anís. En la tercera etapa, los panelistas jerarquizaron cada uno de los atributos para las cuatro muestras de vainilla, se usó una escala de intensidad de 4 puntos

(1 corresponde a menos intenso y 4 más intenso). Cada miembro del panel evaluó el conjunto de muestras por triplicado, durante tres momentos diferentes con intervalos de un día para evitar fatiga de los panelistas; esta etapa se realizó en condiciones adecuadas de iluminación y temperatura ambiente (22 °C).

Se realizó un análisis de varianza usando un diseño completamente al azar con tres repeticiones, con la finalidad de evaluar la capacidad discriminativa ($p \leq 0.05$) de cada panelista para cada uno de los atributos de la vainilla. El análisis se realizó empleando el programa Minitab® 19 (Pennsylvania, EE. UU.). Posteriormente, con datos de los panelistas y atributos significativos se aplicó el Análisis Procustes Generalizado (APG) (Gower, 1975), y de éste se obtuvo el mapa de perfil descriptivo (Xiong *et al.*, 2008). Se empleó el programa XLSTAT versión 2019 (Addinsoft, EE. UU.).

SIGNIFICADOS DE COMPRA Y ANÁLISIS CONCEPTUAL

Se diseñó una encuesta y se aplicó a una muestra de cien consumidores locales (asistentes a la Feria del Tajín en Papantla, Veracruz) y no locales (localizados en la ferias y exposiciones en dónde se comercializa vainilla en la zona centro del país) en un promedio de dos meses; el análisis conceptual se realizó mediante la asociación libre de palabras en donde participaron consumidores de dos zonas (Veracruz y zona centro del país) ante la pregunta ¿cuáles son las palabras que evoca con la palabra “vainilla mexicana”? Las respuestas se jerarquizaron por mayor número de frecuencias, posteriormente se agruparon las palabras por afinidad para formar campos sociales que contuvieran cada una no menos de dos ideas.

Se crearon nueve categorías: ruralidad, tradicionalidad, identidad, proceso, aroma, alimentos, economía, atributo de sabor, bebidas (Cuadro 2). Para evaluar la significancia de las categorías se aplicó una prueba de K proporciones utilizando el estimador X^2 , con el uso del software XLSTAT (Addinsoft®, 2019).

Cuadro 2. Palabras asociadas a las categorías.

| Categoría | Descripción | Palabras asociadas |
|------------------|--|---|
| Ruralidad | Palabras relacionadas con el entorno rural propio de la producción de vainilla. | familia, campo, cultivo, trabajo. |
| Tradicionalidad | Características relacionadas con el saber hacer, herencia, tipo de proceso. | tradición, artesanal, conocimiento. |
| Identidad | Aspectos que vinculan y arraigan a un origen geográfico y tienen relación con la Denominación de origen. | cultura, historia, origen, Papantla. |
| Proceso | Características del proceso de producción de la vainilla desde producción primaria hasta el beneficiado. | fecundación, cosecha, secado. |
| Aroma | Palabras relacionadas con el olor. | natural, perfume, esencia. |
| Alimentos | Palabras que relacionan al ser humano con la vainilla como alimento. | postre, galletas, helado, gastronomía, dulces. |
| Economía | Palabras que se asocian a la vainilla con elementos de la economía. | precio, ingreso, trabajo, mercado, exportación. |
| Atributos-sabor | Propiedades relacionadas con el sabor. | dulce, delicioso. |
| Bebidas | Palabras relacionadas con alguna bebida que contiene vainilla. | licor, extracto, licuado, café, atole. |

El análisis de significados permite definir la percepción subjetiva del consumidor respecto de un producto. De acuerdo con Thorndike (1920) citado por Hirschman (1980), en la evaluación del personal se ha observado que las percepciones de los individuos con respecto a los atributos de un producto pueden estar sujetas a distorsiones afectivas, estas pueden estar influenciadas por un grupo, se refiere a la distorsión perceptiva común, o puede ser una distorsión perceptiva idiosincrásica, la cual ocurre cuando la evaluación de un objeto por parte de un individuo se aleja de la calificación promedio del grupo. Por tanto, el análisis que se plantea a partir de encuestas dirigidas a consumidores tiene como propósito definir el significado idiosincrásico de la vainilla para el consumidor. El significado psicológico describe la percepción subjetiva y las reacciones efectivas de una persona, caracteriza aquellos aspectos que son más sobresalientes en las reacciones de un individuo y describe el grado y la dirección de la afectividad.

Los atributos generados a través de la evocación de ideas a partir de la palabra vainilla mexicana fueron agrupados sobre una base semántica (Larssen *et al.*, 2018), es decir, en categorías, para esta parte, se utilizaron las categorías generadas para los análisis de Frecuencia-Importancia, éstas se acomodaron junto con sus frecuencias, de manera general, se realizaron las sumas de frecuencias. Se realizaron pruebas de k proporciones para verificar si existían diferencias significativas de manera general, entre categorías. Finalmente, con el apoyo del programa XLSTAT 2021.3.1.1182 se realizó la rueda sensorial para cada una de las categorías agrupándolas en significado simbólico (intangible) y utilitario (tangible) para la palabra vainilla mexicana.

RESULTADOS

PERFIL FLASH

Los resultados del Análisis Procrusteano Generalizado (APG), muestran que dos componentes permitieron explicar el 89% de la variabilidad de los datos; el componente uno explicó el 67.67% y el componente dos explicó 21.33%, esto sugiere que el modelo matemático explica adecuadamente con dos componentes la variabilidad de los datos.

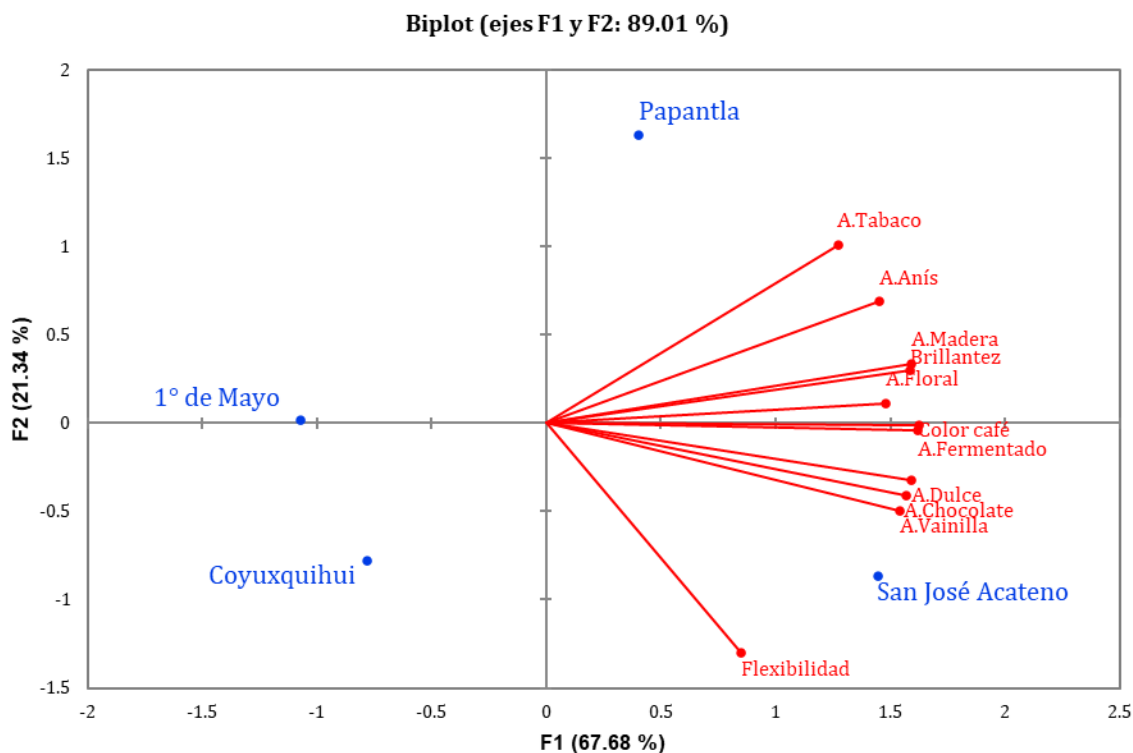
El Cuadro 3 muestra las correlaciones significativas para cada componente, en el primero destaca atributos sensoriales como color, brillantez y aromas, y en el segundo componente se destacan atributos aromáticos.

Cuadro 3. Correlación de los atributos de la vainilla e importancia por componentes.

| Atributo | Componente 1 (F1) | Componente 2 (F2) |
|------------------|-------------------|-------------------|
| Color café | 1.000 | -0.007 |
| Brillantez | 0.976 | 0.184 |
| Flexibilidad | 0.523 | -0.801 |
| Aroma Vainilla | 0.948 | -0.305 |
| Aroma Fermentado | 0.995 | -0.027 |
| Aroma Madera | 0.978 | 0.206 |
| Aroma Dulce | 0.980 | -0.197 |
| Aroma Chocolate | 0.964 | -0.253 |
| Aroma Floral | 0.911 | 0.068 |
| Aroma Tabaco | 0.782 | 0.621 |
| Aroma Anís | 0.894 | 0.423 |

Fuente: Elaboración propia.

El APG muestra los atributos asociados a la vainilla de Papantla que corresponde a aroma a tabaco, anís, madera, floral y brillantez, siendo el primer aroma el más característico; los atributos que caracterizan a la vainilla de San José Acateno son dulces refiriéndose a sus aromas a chocolate, vainilla, fermentado, y atributos como flexibilidad y color café homogéneo. Por otro lado, los panelistas no lograron destacar significativamente atributos en la vainilla proveniente de Coyuxquihui y Primero de mayo (Gráfica 1). Se destaca la correlación que existe entre los atributos aromáticos en la vainilla de San José Acateno, dulce, chocolate y vainilla y los atributos a aroma amaderado, floral con el atributo de brillantez para la vainilla de Papantla. La diferencia en el perfil sensorial de las cuatro muestras de vainilla puede estar atribuida a factores genéticos de la especie de vainilla, físico-climáticos (Curtí, 1995; Odoux, 2011) que inciden en la producción de vainilla verde y en el proceso de beneficiado, y las prácticas en la producción y beneficiado (Xochipa-Morante *et al.*, 2016; (Mariezcurrena *et al.*, 2008).



Gráfica 1. Distribución de las vainillas (●) de acuerdo a los atributos consensuados (●) por panelistas, mediante un Análisis Procrusteano Generalizado (APG).
Fuente: Elaboración propia.

SIGNIFICADOS DE COMPRA Y ANÁLISIS CONCEPTUAL

Las características de los consumidores encuestados sugieren que para el campo social “Veracruz” el porcentaje de mujeres que respondió la encuesta fue mayor en comparación con la Zona Centro del país, donde el porcentaje masculino fue mayor. Con relación a la escolaridad prevalecen los consumidores con niveles de escolaridad media superior y superior, lo que sugiere que es una muestra en su mayoría con acceso a la información sobre la vainilla y su proceso. Con relación a la ocupación, una tercera parte de los encuestados refirió tener empleo y con ingresos fijos, resalta la zona centro en donde la mitad de los encuestados son estudiantes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características sociodemográficas de los consumidores por campo social (%).

| Variables | Categorías | Campo Social | |
|------------------------|---------------------------|--------------|-------------|
| | | Veracruz | Zona Centro |
| Genero | Femenino | 67.6 | 38.9 |
| | Masculino | 32.4 | 61.1 |
| Escolaridad | Sin escolaridad | 2.8 | 0 |
| | Básica | 25.5 | 11.1 |
| | Media Superior | 36.6 | 22.2 |
| | Superior | 35.2 | 66.6 |
| | Posgrado | 0 | 0 |
| Ocupación | Estudiante | 7.5 | 55.5 |
| | Trabaja por su cuenta | 15.5 | 5.5 |
| | Labores del Hogar | 19.7 | 0 |
| | Empleado de gobierno | 14 | 5.5 |
| | Empleado (no de gobierno) | 36.6 | 33.3 |
| | Jubilado | 7 | 0.0 |
| Ingreso Mensual | \$1- \$1500 | 9.8 | 11.1 |
| | \$1501- 5000 | 54.9 | 72.1 |
| | \$5001-00 | 33.8 | 11.1 |
| | >\$10000 | 0 | 5.5 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de campo, 2019.

Los resultados de los significados de compra mediante el análisis conceptual realizado con consumidores mostraron que las proporciones de las categorías para los dos campos sociales analizados, **Veracruz** y **Zona Centro del país** registraron diferencia significativa ($p < 0.05$) (Cuadro 5). Esto sugiere que los **consumidores del estado de Veracruz** asocian a la vainilla con categorías como el aroma y alimentos, mientras que en la **Zona Centro del País** con las categorías aroma, alimentos y proceso de beneficiado. Ambos grupos de consumidores asocian a la vainilla como un insumo en los alimentos particularmente con postres o repostería, con el aroma particularmente dulce o chocolate. Las categorías que destacan los consumidores refieren atributos tangibles, los consumidores de la **zona centro** no asocian palabras con la categoría de tradición, a pesar de que en el cultivo de vainilla tiene una gran importancia cultural a nivel nacional, en tanto que los **consumidores de Veracruz** tienen un mayor reconocimiento de la vainilla como recurso fitogenético y biocultural, siendo esta categoría un atributo intangible.

Cuadro 5. Significancia por categoría en cada grupo de consumidores.

| Categoría | Veracruz | Zona Centro del país |
|--------------------|-----------------|----------------------|
| Aroma | 27.32 c | 19.60 a |
| Ruralidad | 6.01 a | 15.68a |
| Tradicionalidad | 9.28 ab | 0.00 |
| Alimentos | 20.76 bc | 21.56 a |
| Economía | 8.19 ab | 11.76 a |
| Identidad | 4.37 a | 5.88 a |
| Procesos | 5.46 a | 15.68 a |
| Atributos de sabor | 8.74 ab | 5.88 a |
| Bebidas | 9.83 ab | 3.92 a |

NOTA: Proporciones con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración Propia.

Los consumidores de la **zona centro** a diferencia de los consumidores de la **zona de origen (Veracruz)** destacaron la categoría de proceso (beneficiado), lo cual expresa un mayor reconocimiento a las prácticas agrícolas y culturales de la producción y beneficiado de vainilla asociadas con los saberes tradicionales de los productores y maestros beneficiadores.

El análisis de significados muestra que la dimensión utilitaria representa el 72.23% de la percepción de los consumidores, mientras que el 27.77% corresponde a la dimensión simbólica. Dentro de la dimensión utilitaria las categorías de aroma (25.64%) y alimento (20.94%) registraron un mayor porcentaje, lo cual indica que tienen un mayor significado para los consumidores, seguido de las categorías de economía (8.97%), bebida (8.55%) y atributos (8.12%); en la dimensión simbólica, destacan con un menor porcentaje las categorías de ruralidad (8.12%), proceso (7.69%), tradicionalidad (7.26%) e identidad (4.27%) (Fig. 1).



Fig. 1. Rueda de significados para consumidores de vainilla y comparación de las comunalidades.
Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los consumidores reconocieron un mayor número de atributos sensoriales en la vainilla proveniente de San José Acateno y de Papantla, a diferencia de la vainilla de Cuyuxquihui y Primero de Mayo. Si bien las cuatro muestras de vainilla fueron beneficiadas bajo el mismo proceso tradicional, que implica el marchitamiento (detener la vida vegetativa de la vainilla mediante la exposición a sol a temperatura de 60 °C) y secado “bajo sol”, en ocasiones se realiza el marchitamiento sumergiendo la vainilla en agua caliente a la misma temperatura, las diferencias radican en las prácticas que realizan los maestros beneficiadores a lo largo del proceso, siendo este tradicional, entre las que se pueden mencionar el número de exposiciones al sol, mismas que varían dependiendo de las condiciones de las vainilla y el tamaño (aproximadamente 25 soleados), el número de sudados (corresponde al mismo número de soleados), la selección de las vainas (consisten en la clasificación por tamaño de las vainas de vainilla), la variación en el tratamiento térmico durante el secado, etc. De acuerdo con Viveros-Antonio *et al.*, (2019) el proceso de beneficiado presenta variaciones debido a que no hay una estandarización del proceso, pues depende del conocimiento y experiencia de cada maestro beneficiador, las características generales de los procesos se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Características generales del proceso de beneficiado de las vainillas evaluadas (+ menor intensidad/ +++ mayor intensidad).

| Descriptores | Proceso | Dura | Blanda | Café oscuro | Aroma dulce | Aroma poco persistente |
|-----------------------------|--|------|--------|-------------|-------------|------------------------|
| Papantla, Ver. | Beneficiado semi tecnificado (Uso de horno calorífico para inactivación enzimática o matado) | + | ++ | +++ | ++ | |
| San José Acateno, Pue. | Beneficiado tradicional (Matado y beneficiado al sol) | + | +++ | ++ | +++ | +++ |
| 1° de Mayo, Papantla, Ver. | Beneficiado Tradicional (Matado y beneficiado al sol) | | | ++ | +++ | +++ |
| Coyuxquihui, Papantla, Ver. | Beneficiado tradicional (Matado y beneficiado al sol). | + | ++ | + | + | + |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Fase de Campo, 2019

Barham (2003) considera que la tipicidad de un alimento tradicional está determinada por factores del *terroir* que le confieren características específicas, como los factores naturales, los saberes transmitidos para la elaboración del producto y la historia relacionada con ese producto a lo largo de los años. El producto puede ser identificado por sus particularidades sensoriales y puede ser diferenciado de productos similares, por lo que autores como Linck *et al.*, (2016), Casabianca & Champredonde (2016) consideran a la tipicidad como un atributo de calidad propio derivado de las particularidades de la materia prima, la incidencia de las prácticas en la fase primaria y de transformación y los saberes culturales de un grupo humano. Curtí (1995) señala que el grado de madurez (la madurez se obtiene a los nueve meses a partir de la polinización de las flores de vainilla, la cual se realiza en los meses de marzo y abril) de la vainilla en verde al momento de cosecharse es un factor que incide en el perfil aromático, los maestros beneficiadores refieren que la primera fase del beneficiado que consisten en el despezonado (desprendimiento del fruto del raquis, oprimiendo el ápice y despendiendo manualmente el raquis) es de vital importancia para el desarrollo adecuado de la vainilla durante el secado. El estudio realizado por Xochipa-Morante *et al.* (2016) con muestras de vainilla provenientes de diferentes zonas de la región productora, registraron variación en la concentración de ácido vanílico derivado de la variación en las condiciones climáticas de región geográfica.

Los atributos identificados en la vainilla proveniente de San José Acateno y Papantla coinciden con lo concluido por Luna-Guevara *et al.* (2016) cuyo estudio definió los descriptores de 10 tipos de vainilla, provenientes de zonas productoras de Puebla y Veracruz, procesadas mediante un beneficiado tradicional (bajo sol), los atributos identificados fueron: aroma a madera, cacao (chocolate), dulce, y otros como petricor (tierra mojada), pimienta negra, clavo, ahumado, pasa. El estudio concluye que el tipo de beneficiado afecta el perfil sensorial de la vainilla, el contenido de humedad incide en la actividad enzimática, y, por lo tanto, en el proceso de desarrollo de los compuestos químicos volátiles.

El análisis conceptual por campo social (grupo de consumidores) indica diferencias significativas (Cuadro 4), en ambos grupos las categorías *alimentos* y *aroma* tiene mayor proporción, en tanto, que la categoría *procesos*, se destaca sólo por los consumidores del campo social del centro del país. Las categorías de *alimentos* y *aroma* refieren a atributos tangibles, por otro lado, la categoría de *procesos* está asociada con un atributo intangible, pues se

relaciona con los saberes tradicionales entorno a la vainilla, desde la producción primaria hasta el beneficiado.

En un estudio realizado por Ruiz (2020) sobre valores y simbolismo del pox (bebida espirituosa en la región de los altos de Chiapas), con consumidores nativos y turistas, concluyó que el pox tiene un significado simbólico del 76.8% y un 23.2% de significado utilitario confirmando el peso cultural que tiene la bebida para la población local. Ligas (2000) explica que los significados pueden clasificarse en utilitarios y simbólicos, según su función psicológica. El significado utilitario representa los aspectos tangibles y funcionales del producto (Allen & Torres, 2006). El significado simbólico representa los atributos intangibles atribuidos al producto (Hirschman, 1980). El análisis de significados de la vainilla indica que tienen un significado utilitario mayor (72.23%) para los consumidores, dentro de esta dimensión ubicamos las categorías de alimentos, economía, atributos de sabor y aroma; contrariamente la dimensión simbólica (atributos intangibles) tiene un significado menor, lo cual indica que a pesar de que la vainilla tiene un fuerte vínculo al territorio cultural e histórico, no se refleja en la percepción que tienen los consumidores respecto de lo que representa la vainilla, destacando más su valor utilitario (tangible). Allen (2001) señala que cuando un consumidor refiere y da mayor importancia a los atributos tangibles de un bien, los significados utilitarios de compra prevalecen.

Un estudio realizado sobre el mezcal oaxaqueño, la dimensión simbólica para los consumidores fue más alta, registrando un valor de 67.8% contra un 32.2% utilitario, lo que indica que los consumidores de mezcal Oaxaqueño muestran un mayor sentido de pertenencia y vinculación cultural con el producto (Pablo, 2019).

A diferencia de los consumidores de mezcal en Oaxaca, los consumidores de vainilla no lograron reconocer la dimensión simbólica, la categoría con mayor comunalidad fue ruralidad, seguida de proceso, tradición y en menor porcentaje identidad. Los resultados son similares a los obtenidos en los estudios sobre queso Chapingo (Hernández-Montes, 2018) y queso crema de Chiapas (Hernández-Montes *et al.*, 2019) en donde se concluye que los quesos tienen un mayor significado de tipo utilitario que simbólico. De acuerdo con De Lira *et al.*, (2016) el significado de identidad provee a los consumidores las dimensiones de la cultura como representaciones entre el productor, el consumidor y los procesos culturales asociados. La tradición entendida como la construcción social que se elabora desde el presente sobre el pasado, expresa la pertenencia a la comunidad, mediante las festividades que reafirman los vínculos sociales.

CONCLUSIONES

Los consumidores identificaron en la vainilla proveniente de Papantla y de San José Acateno un mayor número de atributos sensoriales a diferencia de la vainilla proveniente de Primero de Mayo y Cuyuxquihui, situación atribuida de acuerdo con estudios, a la variación en las prácticas en la producción primaria y en el proceso de beneficiado, el cual no está estandarizado, pues depende de los conocimientos tradicionales de los maestros beneficiadores. Sin embargo, no se descarta la incidencia que tienen las condiciones físico-climáticas de las zonas de producción en la región y el vínculo con los recursos naturales asociados, sin embargo, no es concluyente pues en este estudio no se consideraron parámetros ambientales.

El atributo sensorial de mayor importancia fue el aroma, se registró una amplia diversidad de aromas. Derivado del análisis conceptual realizado a consumidores locales y no locales, se identificó que las categorías de mayor peso en consumidores de Veracruz y zona centro fueron el aroma y alimentos, y en menor medida procesos. En el análisis de significados de compra la dimensión utilitaria representó una mayor proporción pues se destacan categorías que se asocian a atributos tangibles. Por tanto, resulta importante emprender acciones que permitan

revalorar los atributos intangibles como la cultura, tradición e identidad que son inherentes a la vainilla.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue realizado gracias al financiamiento del Proyecto 20012-DTT-68 Innovación y transferencia de tecnología en la producción y beneficiado de la vainilla mexicana (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Adrews).

LITERATURA CITADA

- SaAdedeji, J., Hartman, T.G. & Ho, C.T. (1993). Flavor characterization of different varieties of vanilla beans. *Perfumer & Flavorist*, 18, 25-33.
- Allen, M. (2001). A practical method for uncovering the direct and indirect relationships between human values and consumer purchases. *Journal of consumer marketing*, 102-120.
- Allen, M. W., & Torres, C. V. (2006). Food symbolism and consumer choice in Brazil. *Latin American Advances in consumer research.*, 1, 180-185.
- Barham, E. (2003). Translating terroir: the global challenge of French AOC labeling. *Journal of Rural Studies*. 19, 127-138.
- Barrera, R.A., Cuevas, R.V. y Espejel, G.A. (2019). Factores de valoración en consumidores de mezcal en Oaxaca. *Revista de Estudios Sociales*, 29(54), 1-22. doi:<https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i54.811>
- Casabianca, F. & M. Champredonde. (2016). Qualities transmitted by territorial branding. Proposal for a new typology. *7th International Conference in Local Agri-food Systems*. Stockholm.: Sodertorn University.
- Curtí, D. (1995). *Cultivo y beneficiado de la vainilla en México. Folleto técnico para productores*. Papantla, Veracruz: Organización Nacional de Vainilleros Indígenas.
- De Lira, A. S., Goles, P.J. F, Costa, C., Ferrerira, G.J.R. (2016). Geographical Indication Re-signifying Artisanal Production of Curd Cheese in Northeastern Brazil. *Revista de Administração Contemporânea*, 20(6), 715-732.
- Deanne, B. J, MS, BS, BA. (2005). Historical perspective: Vanilla as a Medicinal Plant. . *ELSEVIER*, 129-131.
- Del Ángel, P.A.L., y Mendoza, B.M.A. (2002). Familia totonaca, expresión cultural y sobrevivencia. *Papeles de población*. 8(32), 95-120.
- Delarue, J. (2014). Flash Profile. En P. V. Ares, *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling* (págs. 175-206.). CRC Press Taylor and Francis Group.
- Delarue, J. and Sieffermann, J. (2004). Sensory Mapping Using Flash Profile. Comparison With a Conventional Descriptive Method for The Evaluation of the Flavour of Fruit Dairy Products. *Food Quality and Preference*, 15, 383-392.
- Gower, J. C. (1975). Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*, 40(1), 33-51. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02291478>.
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S. & Scalvedi, M. L. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetit*, 52(2), 345-354.
- Hernández-Montes, A. (2018). Propuesta para identificar simbolismo y valores en consumidores de quesos tradicionales mexicanos: caso queso Chapingo. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 15, 399-412.
- Hernández-Montes, A., Illescas-Marín, C. y Espejel-García, E. (2019). Estructura de los valores humanos en consumidores y sus significados para quesos tradicionales chiapanecos. *Revista Estudios Sociales*, 29(54), 1-23. doi:<https://dx.doi.org/10.24836/es>.

- Hirschman, E. C. (1980). Attributes of Attributes and Layers of Meaning. *Advances in Consumer Research*, 7, 7-12.
- Jaramillo, V. J.L., Escobedo, G.J.S., Barrera, R.A.I., y Herrera, C.B.E. (2013). Eficiencia económica en el beneficiado de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la región del Totonacapan, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 477-483.
- Jauregui, G. C. Z., Espejel, G. A. y Hernández, M. A. (2021). Valoración y disposición a pagar por los consumidores de elote en México. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 38, 441-461. doi:[https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n2.12](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n2.12)
- Larssen, W. E., Monteleone, E., & Hersleth, M. (2018). Sensory description of marine oils through development of a sensory wheel and vocabulary. *Food Research International*.(106), 45- 53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.045>
- Ligas, M. (2000). People, Products, and Pursuits: Exploring the Relationship between Consumer Goals and Product Meanings. *Psychology & Marketing*., 983-1003.
- Linck, T., E.B. López & F. Casabianca. (2016). De la propiedad intelectual a la calificación de los territorios: lo que cuentan los quesos tradicionales. *Agroalimentaria*(12), 99-109.
- Luna-Guevara, J.J., Luna-Guevara, M.L., Amador-Espejo, G.G., Herrera-Cabrera, B.E., Arévalo-Galarza, M.L. y Ruiz-Espinosa, H. (2016). Caracterización físico-química y sensorial de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews con diferentes esquemas de beneficiado. *Agroproductividad*, 9(1), 34-40.
- Mariezcurrena, M.D., Zavaleta, H.A., Waliszewski, K.N. & Sánchez, V. (2008). The effect of killing conditions on the structural changes in vanilla (*Vanilla planifolia*, Andrews) pods during the curing process. *International Journal of Food Science and Technology*.(43), 1452-1457. doi:[doi:10.1111/j.1365-2621.2007.01691](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01691)
- Norma Oficial NOM-182-SCFI-2011. Vainilla de Papantla. Extractos y derivados. Especificaciones, i. c. (s.f.). Obtenido de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4477/seeco/seeco.htm>
- Odoux, E. (2011). Vanilla curing. En E. G. Odoux, *Vanilla. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles* (págs. 173-185). Boca Raton, Florida, EEUU: CRC Press.
- Pablo, C. (2019). *Caracterización sensorial y química de mezcales oaxaqueños, valoración e identificación de su calidad intangible. Tesis de Doctorado*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
- Puma-Isuiza, G. y Núñez-Saavedra, A. (2020). Comparación del Perfil Flash y Napping®-UPF en la caracterización sensorial de hoy-dog. *Journal of High Andean Research*, 22(2), 135-145.
- Reyes-López D., Rodríguez, M. B., Kelso, B. H., Huerta, L. M., Ibañez, M. A. (2008). *Beneficiado tradicional de vainilla*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Ruiz C. G. (2020). *Identificación de valores y simbolismo en consumidores de pox en los altos Chiapas. Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
- Trichopoulou, A., Soukara, S. y Vasilopoulou, E. (2007). Traditional food: Science and society perspective. *Trends in Food Science and Technology*., 18, 420-427.
- Van Kleef, E., H.C.M., Van, Trijp and Luning, P. (2005). Consumer research in the early stages of new product development: A critical review of methods and techniques. *Food Qual. Prefer.* (16), 181-201.
- Vanhonacker, F., Kühne, B., Gellynck, X., Guerrero, L., Hersleth, M. y Verbeke, W. (2013). Innovations in traditional foods: Impact on perceived traditional character and consumer acceptance. *Food Research International*.(54), 1828-1835. doi:[doi:10.1016/j.foodres.2013.10.027](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.027)
- Viveros-Antonio C., Delgado-Alvarado A., Herrera-Cabrera B., Arévalo-Galarza M.L., Hernández-Ruiz J. (2019). Efecto del beneficiado tradicional de *Vanilla planifolia* en los fitoquímicos de frutos de *Vanilla pompona* Schiede. *Agroproductividad*, 12(10), 3-8. doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.v12i9.1383>

Recibido:
3/agosto/2021

Aceptado:
08/julio/2022

- Xiong, R., Blot, K., Meullenet, J. F., & Dessirier, J. M. . (2008). Permutation tests for Generalized Procrustes Analysis. . *Food Quality and Preference*, 19(2), 146-155. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.03.003>.
- Xochipa-Morante, R. C. , Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Escobedo-Garrido, J. S., Arévalo-Galarza, L. (2016). Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuesto de aroma de Vanilla PLanifolia Jacks ex Adrews. *Agroproductividad* , 9(1), 66-62.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

PERCEPCIÓN LOCAL DE LOS USOS Y SITUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DEL TORONJIL (LAMIACEAE) EN TRES COMUNIDADES DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

LOCAL PERCEPTION OF THE SITUATION, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC USES OF TORONJIL (LAMIACEAE) IN THREE COMMUNITIES OF THE STATE OF GUERRERO, MÉXICO

Hernández-Ramírez, U.; M. Trujillo-Nájera; T. Romero-Rosales; A. Huicochea Moctezuma; T. de J. Adame Zambrano y M. A. Gruintal-Santos.

PERCEPCIÓN LOCAL DE LOS USOS Y SITUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DEL TORONJIL (LAMIACEAE) EN TRES COMUNIDADES DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.
LOCAL PERCEPTION OF THE SITUATION, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC USES OF TORONJIL (LAMIACEAE) IN THREE COMMUNITIES OF THE STATE OF GUERRERO, MÉXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 257-269 México. Julio 2022

DOI: 10.18387/polibotanica.54.16



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/)).

PERCEPCIÓN LOCAL DE LOS USOS Y SITUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DEL TORONJIL (*LAMIACEAE*) EN TRES COMUNIDADES DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.

LOCAL PERCEPTION OF THE SITUATION, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC USES OF TORONJIL (*LAMIACEAE*) IN THREE COMMUNITIES OF THE STATE OF GUERRERO, MÉXICO.

Hernández-Ramírez, U.;
M. Trujillo-Nájera;
T. Romero-Rosales;
A. Huicochea Moctezuma;
T. de J. Adame Zambrano
y M. A. Gruintal-Santos.

PERCEPCIÓN LOCAL DE
LOS USOS Y SITUACIÓN
AMBIENTAL Y ECONÓMICA
DEL TORONJIL
(*LAMIACEAE*) EN TRES
COMUNIDADES DEL ESTADO
DE GUERRERO, MÉXICO.

LOCAL PERCEPTION OF
THE SITUATION,
ENVIRONMENTAL AND
ECONOMIC USES OF
TORONJIL (*LAMIACEAE*) IN
THREE COMMUNITIES OF
THE STATE OF GUERRERO,
MÉXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 257-269. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.16

U. Hernández-Ramírez

Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Unidad Tuxpan, Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. CP 40101, Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

M. Trujillo-Nájera

Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Periférico Poniente s/n Frente a la Colonia Villa de Guadalupe. CP 40010, Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

T. Romero-Rosales

Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Unidad Tuxpan, Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. CP 40101, Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

A. Huicochea Moctezuma

Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Matemáticas Extensión Iguala, Carretera federal Iguala-Taxco, km 18. CP 40000, Iguala Independencia, Guerrero, México.

T. de J. Adame Zambrano

Universidad Autónoma de Guerrero. Centro Regional de Educación Superior Campus Zona Norte, Carretera Taxco-Iguala km 42 s/n Taxco el Viejo, Guerrero, México.

M. A. Gruintal-Santos / magruintal@uagro.mx

Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Unidad Tuxpan, Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. CP 40101, Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

RESUMEN: Se describe el uso, aprovechamiento y la situación de tres tipos de toronjil pertenecientes a la familia *Lamiaceae*: *Clinopodium mexicanum*, *Satureja mexicanum* y *Agastache mexicana* subsp. *mexicana*, distribuidos en distintos municipios del estado de Guerrero, México, a través del conocimiento empírico de los habitantes locales. Para obtener la información, se aplicó una entrevista semiestructurada, se utilizó un muestreo aleatorio simple sin remplazo y entrevistas a informantes clave. En las tres comunidades de estudio, los usos del toronjil son variados y se elaboran infusiones para su consumo, los pobladores describen el uso medicinal, artesanal y ornamental. Así también, en los tres lugares de estudio, se observó un desconocimiento de la semilla (Amojileca 95%, Tlacotepec 97% y Agua de Panteón de Corralitos 87%), lo cual sugiere que hay desinterés de su propagación; esto coincide con lo mencionado por las autoridades, quienes refieren que no han tomado medidas enfocadas a la conservación.

Debido a la sobreexplotación del toronjil y su extracción del campo (Amojileca 63%, Agua de Panteón de Corralitos 100% y Tlacotepec 88%), sus poblaciones han ido disminuyendo en los últimos 10 años, de acuerdo a la percepción de los habitantes locales. Esta problemática podría ser causada por los saqueos, la deforestación, los incendios forestales, la extensión de la frontera agrícola, el sobrecalentamiento atmosférico, por lo que en un futuro podría extinguirse estas plantas. Por lo tanto, es importante realizar estudios multidisciplinarios enfocados a la reproducción y conservación de estas valiosas especies.

Palabras clave: Toronjil, saqueo, infusión, conservación, plantas medicinales.

ABSTRACT: The use, exploitation and situation of three types of toronjil belonging to the *Lamiaceae* family are described; *Clinopodium mexicanum*, *Satureja mexicanum* and *Agastache mexicana* subsp. *mexicana*, distributed in different municipalities of the state of Guerrero, Mexico, through the empirical knowledge of local inhabitants. To obtain the information, a semi-structured interview was applied, a simple random result without replacement and key informant interviews were obtained. In the three communities of, the uses of lemon balm are varied and infusions are made for its consumption, the inhabitants describe the medicinal, artisanal and ornamental use. Likewise, in the three study sites, a lack of knowledge of the seed was demonstrated (Amojileca 95%, Tlacotepec 97% and Agua de Panteón de Corralitos 87%), which suggests that there is a lack of interest in its propagation; This coincides with what was mentioned by the authorities, who comment that they have not taken measures focused on conservation. Due to the overexploitation of lemon balm and its extraction from the field (Amojileca 63%, Agua de Panteón de Corralitos 100% and Tlacotepec 88%), their populations have been declining in the last 10 years, according to the perception of local inhabitants. This problem could be caused by looting, deforestation, forest fires, the extension of the agricultural frontier, atmospheric overheating, so that in the future it could become extinct. Therefore, it is important to carry out multidisciplinary studies focused on the reproduction and conservation of these valuable species.

Key words: Toronjil, looting, infusion, conservation, medicinal plants.

INTRODUCCIÓN

Desde su origen, el *homo sapiens* ha tenido la necesidad de utilizar los recursos naturales, para la obtención de alimento, vestimenta y para aliviar algunos malestares, a través del uso de plantas medicinales. Según Maldonado *et al.* (2020), se han reportado alrededor de 50,000 especies de plantas que tienen algún uso medicinal, las cuales corresponden aproximadamente a un 10% de todas las existentes en el mundo. En México, el uso de plantas medicinales, a través de la medicina tradicional, es ancestral (Ávila-Uribe *et al.* 2016). Se utilizan las diferentes partes de la planta, según sea la afectación o la receta en cuestión. Lo más frecuente es usar las hojas, las flores y esporádicamente el tallo o la raíz. Las plantas medicinales se colectan y consumen sin ningún procesamiento, con ellas se preparan infusiones o presentaciones homeopáticas Guzmán Maldonado *et al.* (2017).

En las últimas décadas se ha demostrado una pérdida del conocimiento tradicional de las plantas. Algunos factores que favorecen el conocimiento tradicional son: el incremento en la edad, bajo nivel de educación, el hecho de ser mujer, dicho estudio se llevó a cabo en San Miguel el Grande, Oaxaca, (Aparicio Aparicio *et al.* 2021).

Desde el punto de vista del conocimiento ancestral de las comunidades rurales, el toronjil funciona como relajante e inductor del sueño y esto le confiere un alto valor agregado. Además, su comercialización contribuye a la seguridad alimentaria de las comunidades rurales de climas templados del estado de Guerrero, México, pero al mismo tiempo las poblaciones silvestres disminuyen. Debido a la importancia que tienen estas plantas en las comunidades locales, el objetivo de este estudio fue conocer la percepción local sobre usos, situación ambiental y económica del toronjil (*Lamiaceae*) en tres comunidades del estado de Guerrero, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue de tipo transversal, correlacional y observacional, de enfoque cualitativo. La localización del área de estudio fue en tres comunidades del estado de Guerrero, Méx.: Amojileca, municipio de Chilpancingo de los Bravo, donde se encuentra *Clinopodium mexicanum* (Benth.) Govaerts, que está ubicado a 17°44'22.81"N y 99°29'45.64"O, con una altitud de 1,482msnm; Agua de Panteón de Corralitos, municipio de Leonardo Bravo, donde se encuentra *Satureja macrostema* (Moc. & Sessé ex Benth.) Briq. sinónimo de *Clinopodium macrostema* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze, ubicado a 17°38'53.31"N y 99°51'03.51"O con una altitud de 2,498msnm, y Tlacotepec, municipio de General Heliodoro Castillo, el cual se encuentra a 17°47'15.27" N y 99°58'42.11"O, con una altitud de 1,537msnm, donde se encuentra *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* (Kunth) Lint & Epling, Fig. 1.

Para ubicar las plantas en las comunidades de estudio se utilizó un GPS Garmin Modelo Montana 680.

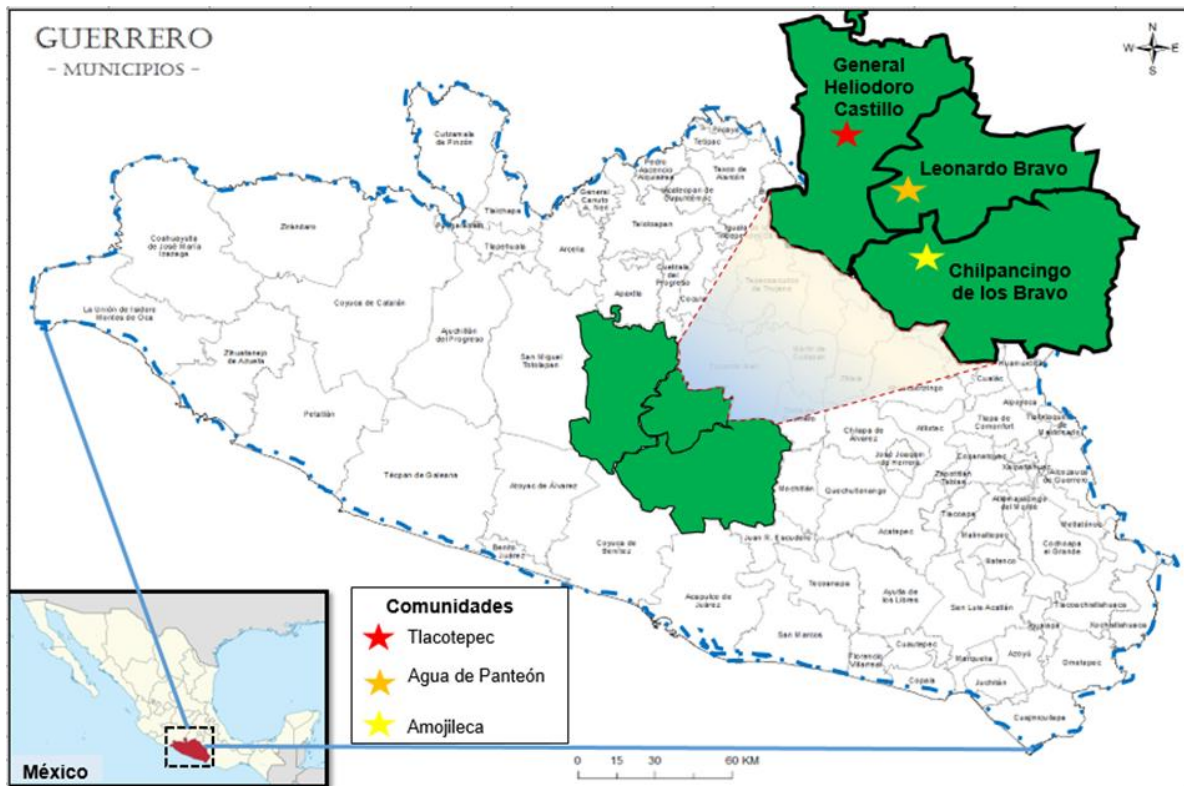


Fig. 1. Ubicación del área de estudio.

Para obtener la información sobre el uso, situación medioambiental, aprovechamiento y valor económico que le dan los pobladores a *C. mexicanum*, *S. macrostema* y *A. mexicana* subsp. *mexicana* (toronjil) se aplicó una entrevista semiestructurada, a través de un muestreo aleatorio simple sin remplazo y entrevistas a informantes clave.

Para las encuestas (entrevista semiestructurada) el criterio de inclusión fue: habitantes de las comunidades de estudio que sea mayor de 18 años de edad; el criterio de exclusión fue: personas que no sean de la comunidad y personas que sean de la comunidad que tengan menos

de 18 años de edad y los criterios de eliminación fueron: cualquier habitante de la comunidad de estudio, que no pueda emitir su opinión por alguna razón o que simplemente no desee emitirla. El tamaño de la población se generó con base en el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020) y se calculó el tamaño de la muestra, por medio de la ecuación 1 de (Thompson, 1992), como lo sugiere (Aguilar Borojas, 2005).

$$n = \frac{N \cdot p(1 - p)}{(N - 1) \frac{d^2}{Z^2} + p(1 - p)} \quad (1)$$

Dónde: n es tamaño de la muestra, N es población, d es el error muestral (también se puede encontrar como α o e), Z es nivel de confianza (se obtiene de tablas de α dado el valor de d), p es probabilidad a favor y $1-p=q$ es probabilidad en contra.

En la localidad de Amojileca, se aplicaron 63 encuestas, con un error muestral de 0.10, con una proporción de sexos de mujeres 46% y hombres 54%; en la localidad de Agua de Panteón de Corralitos, se aplicaron 57 encuestas, con un error muestral de 0.08, con una proporción de sexos de hombres 38% y mujeres 62%, en la comunidad de Tlacotepec, se aplicaron 353 encuestas con un error muestral de 0.5, con una proporción de sexos de hombres 47% y mujeres 53%, el porcentaje de la población total de los municipios se encuentran en estado de pobreza alto con un 55.0, 87.9 y 94.6% respectivamente (CONEVAL, 2020).

Se realizaron entrevistas no estructuradas a informantes clave, los cuales se seleccionaron de acuerdo con su conocimiento y experiencia respecto a la situación del toronjil y que además tuvieran al menos 40 años viviendo en la localidad de estudio.




Análisis de datos

La base de datos que se obtuvo durante el estudio fue codificada e ingresada en el software Microsoft Excel 2016. Se utilizó el programa WinEpi para el cálculo de la prueba χ^2 (chi cuadrada) con el fin de evaluar la existencia de asociación entre el lugar y las diferentes variables de estudio del toronjil. En todos los casos, se utilizó una significancia (α) de 0.05, $p \leq \alpha$ para determinar la asociación estadística significativa (De Blas, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra la ubicación y las características del toronjil que se encuentra en las comunidades de estudio.

Tabla 1. Localización y características del toronjil de las comunidades en estudio.

| Localización | | Taxón | Imagen |
|---|--|--|---|
| Comunidad Municipio Estado | Latitud Longitud Altitud | | |
| Amojileca Chilpancingo de los Bravo Gro. | 17°33'59.2''N 99°34'29.2''O 1,418msnm | <i>Clinopodium mexicanum</i> |  |
| Agua de Panteón de Corralitos Leonardo Bravo Gro. | 17°39'46.7''N 99°52'09.4''O 2,533msnm | <i>Satureja macrostema</i> |  |
| Tlacotepec General Heliodoro Castillo Gro. | 17°35'23.68''N 100°06'24.66''O 2,455msnm | <i>Agastache mexicana</i> subsp. <i>mexicana</i> |  |

En la tabla 2 se muestran los usos del toronjil en las tres comunidades en estudio. Al uso alimenticio, no es necesario realizarle una prueba χ^2 , ya que la respuesta "Sí" es del 100%, para el uso medicinal de acuerdo con la prueba de comparación χ^2 se encontró diferencia significativa con $p < 0.0001$, lo cual indica que las variables cualitativas, uso medicinal y comunidades, están significativamente asociadas. En cuanto al uso artesanal y ornamental no es necesario aplicar la prueba χ^2 por la misma razón que el uso alimenticio, para el caso del uso ritual, ningún entrevistado mencionó utilizarlo para este fin.

Tabla 2. Usos del toronjil en las comunidades de estudio en el estado de Guerrero, Méx.

| Lugar | Usos (%PE) | | | | | | | |
|------------------|-------------|----|-----------|----|-----------|-----|------------|-----|
| | Alimenticio | | Medicinal | | Artesanal | | Ornamental | |
| | Sí | No | Sí | No | Sí | No | Sí | No |
| Amojileca | 100 | 0 | 39 | 61 | 11 | 89 | 25 | 75 |
| A. P. Corralitos | 100 | 0 | 28 | 72 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| Tlacotepec | 100 | 0 | 7 | 93 | 0 | 100 | 0 | 100 |

Nota: %PE es %Población Encuestada.

De acuerdo con los habitantes de las localidades encuestadas, todas utilizan el toronjil como alimento y la única comunidad que no lo usa de manera medicinal es Tlacotepec. Amojileca es la comunidad que reporta más usos; además de estos usos, declararon que se añadía al mezcal para darle sabor.

Con respecto a los usos en otras comunidades, Santillán-Ramírez *et al.* (2008) reporta que plantas de *A. mexicana* subsp. *mexicana* y *A. mexicana* subsp. *xolocotziana* son usadas como recurso terapéutico y ornamental. Por su lado Estrada-Reyes *et al.* (2014), indican que estas mismas especies se utilizan en la medicina tradicional mexicana para aliviar los síndromes de afiliación cultural conocidos como "susto" o "espanto", para la condición "nerviosa" y cómo ayuda para dormir. Los resultados basados en estudios hechos *in vivo* apoyan el uso de estas subespecies de toronjil, como tranquilizantes e inductores del sueño. Algo similar reporta Alvarado *et al.* (2020) en *C. mexicanum* y además agregan que estos síndromes de afiliación cultural están asociados a la ansiedad y depresión, así también señalan uso medicinal, culinario y cultural en la medicina tradicional mexicana. Para el caso de *S. macrostema*, Ortega-Ortega *et al.* (2014) reportan cuatro usos: alimenticio, medicinal, ornamental y ritual. Dicho estudio se realizó en el estado de Oaxaca, México.

La tabla 3, se refieren a los sitios de extracción del toronjil, donde se encontró diferencia significativa con $p < 0.0001$, lo cual indica que existe una dependencia en cuanto al lugar donde viven los habitantes y los sitios de extracción, por lo tanto, se puede observar una tendencia que coincide en las tres comunidades, que los más altos porcentajes de extracción vienen del campo, por lo cual existe sobreexplotación de estas valiosas plantas, según la percepción de los habitantes locales. En Agua de Panteón de Corralitos no lo tienen en casa, esto podría deberse a que crece muy cerca de la comunidad.

Tabla 3. Sitios de extracción del toronjil en las comunidades de estudio en el estado de Guerrero, Méx.

| Lugar | Sitios de extracción (%PE) | | |
|------------------|----------------------------|-------|--------|
| | Casa | Campo | Compra |
| Amojileca | 11 | 63 | 26 |
| A. P. Corralitos | 0 | 100 | 0 |
| Tlacotepec | 2 | 88 | 10 |

Nota: %PE es %Población Encuestada.

Esto coincide con lo reportado por Ávila-Uribe *et al.* (2016) en un estudio de plantas medicinales, realizado en el Estado de México, México, donde encontraron un grado de dependencia mayor en plantas silvestres (57%), de las cuales son cultivadas (24%) y entre arvense o ruderal (19%).

En la tabla 4 se muestran los conocimientos respecto a la flor y la semilla, de la población de las comunidades en estudio, donde se encontró un $p < 0.0007$ al preguntarles si conocen la flor, lo cual indica que existe una dependencia entre conocer la flor y el lugar donde viven los encuestados; así también, al compararlo con el conocimiento de la semilla, se encontró un $p < 0.0007$, lo cual indica que hay una dependencia en el lugar donde viven y el conocimiento de la semilla.

Tabla 4. Conocimiento de flor y semilla de la planta de toronjil, en las tres poblaciones encuestadas en el estado de Guerrero, México.

| Lugar | Conoce la flor | | Conoce la semilla | |
|------------------|----------------|----|-------------------|----|
| | (%PE) | | | |
| | Sí | No | Sí | No |
| Amojileca | 98 | 2 | 5 | 95 |
| A. P. Corralitos | 100 | 0 | 13 | 87 |
| Tlacotepec | 90 | 10 | 3 | 97 |

Nota: %PE es %Población Encuestada.

A pesar de que hay conocimiento de la flor del toronjil, en todos los casos, al compararlo con el conocimiento de las semillas, ninguna de las comunidades de estudio las conoce; no obstante, en las tres comunidades obtienen un beneficio económico de las plantas y tiene varios usos. Esto nos sugiere que no hay interés por parte de la población en propagarlo. Lo anterior concuerda con lo reportado por (Arjona 2018), quien señala el posible desinterés por parte de las comunidades por conservar los recursos medicinales, porque se pueden conseguir fácilmente en los mercados locales o de manera silvestre y hay diferentes opciones para aliviar malestares de salud.

En la tabla 5 se muestra la percepción de la abundancia actual de plantas de toronjil, con respecto a diez años. Con un $p < 0.0001$, se encontró, que existe una dependencia entre la percepción de la abundancia actual y el lugar donde viven los encuestados. De acuerdo a los resultados obtenidos es importante tomar en cuenta lo mencionado por Beltrán-Rodríguez y Manzo-Ramos (2013), en cuanto a que se convierte en un círculo vicioso pobreza-recolección-pobreza, que al realizar colectas de flora medicinal por parte de los pobladores en estado de pobreza, obtienen buenos ingresos, aumentan la recolección de estas valiosas plantas, ocasionado así el aumento del saqueo, la disminución de las poblaciones silvestres y poniendo en peligro la existencia de estos apreciables recursos.

Tabla 5. Percepción de la abundancia actual con respecto a los últimos diez años, de la planta de toronjil en las tres poblaciones encuestadas en el estado de Guerrero, Méx.

| Lugar | Percepción de abundancia actual (%PE) | | |
|------------------|---------------------------------------|---------|-----------|
| | Escaso | No sabe | Abundante |
| Amojileca | 95 | 5 | 0 |
| A. P. Corralitos | 44 | 53 | 3 |
| Tlacotepec | 94 | 5 | 1 |

Nota: %PE es % Población Encuestada.

En la figura 2 se muestran las razones por las que ha disminuido la población de toronjil, donde se encontró un $p < 0.0001$, que dependiendo del lugar donde se viva, influye en las razones de la baja población de plantas de toronjil. Las variables están significativamente asociadas; se observa que existen diferentes razones que intervienen en la escasez de las plantas según la percepción de las personas encuestadas.

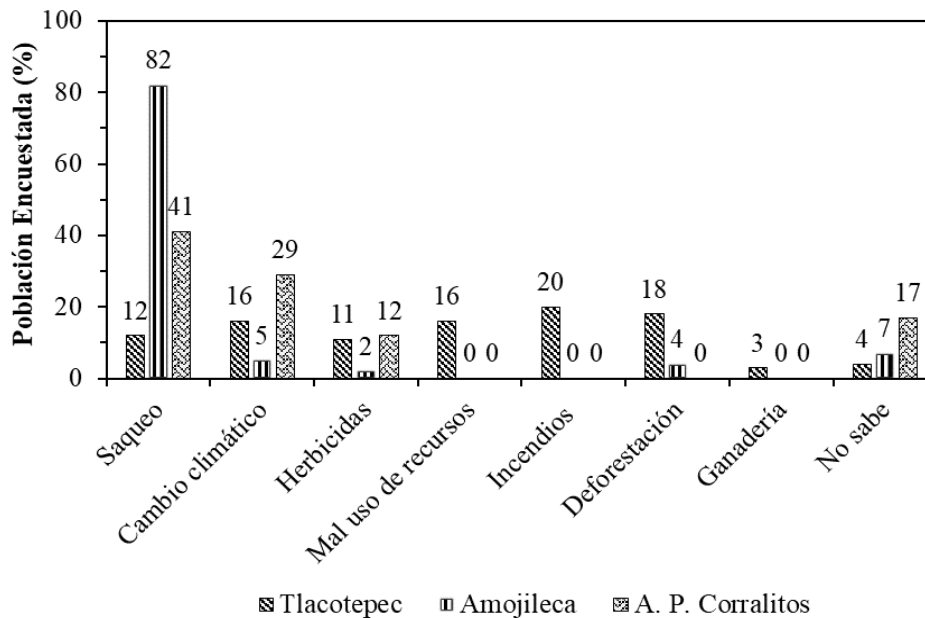


Fig. 2. Percepción de las personas sobre las razones de la disminución de la población del toronjil en el de Guerrero, México.

En el caso de Tlacotepec, no se tiene claro cuál sea la principal causa del porqué el toronjil ha ido disminuyendo su población; sin embargo, ubican claramente los principales problemas que afectan estas especies, como son cambio climático, uso de herbicidas, incendios y ganadería. En el caso de Amojileca y Agua de Panteón de Corralitos, ubican claramente al saqueo como la

principal causa de la disminución de la población de toronjil silvestre. Esto concuerda con lo que opina Molina Mendoza *et al.* (2012) con respecto del saqueo clandestino de plantas medicinales, en un estudio realizado en Hidalgo, México. Como mencionan los autores, esto se debe a la pobreza de los habitantes del área de estudio, algunas personas que no son pobladores de la comunidad aprovechan, contratando por un mínimo pago a los pobladores de la región, para coleccionar en grandes cantidades plantas con propiedades medicinales, como es el caso de la doradilla (*Selaginella pallescens*).

Los conocimientos ancestrales sobre la medicina tradicional de los diversos pueblos están siendo abandonados. Esta pérdida afecta a la herencia cultural y también induce deterioro ecológico de las comunidades White-Olascoaga *et al.* (2013). Este cambio de paradigma se debe a la intrusión de los servicios de salud, al mejoramiento en el nivel económico, la modernidad y los medios de comunicación masivos González Guinea *et al.* (2018). Por lo antes mencionado, existe la imperiosa necesidad de buscar alternativas para el manejo integral sostenible en la producción de plantas medicinales. Una de ellas podría ser las farmacias vivientes o herbarios, donde en conjunto con un equipo multi e interdisciplinario, se podrían promover su uso, con el fin de seguir aliviando padecimientos de las futuras generaciones como lo propone Valdés (2013).

En la figura 3 se muestra la disposición de comprar o no toronjil, donde se encontró un $p < 0.0001$, se observa que existe tendencia a que la mayoría de los porcentajes sí compraría, según la percepción de las personas encuestadas. Esto puede deberse a que culturalmente las comunidades de estudio tienen arraigado el uso de sus plantas medicinales, lo cual concuerda con lo observado por Gomez (2012), donde menciona que los habitantes locales siguen usando plantas medicinales para aliviar sus padecimientos y solo cuando es muy grave la afectación y no se puede controlar, acuden al médico. Este estudio fue realizado en Tabasco, México.

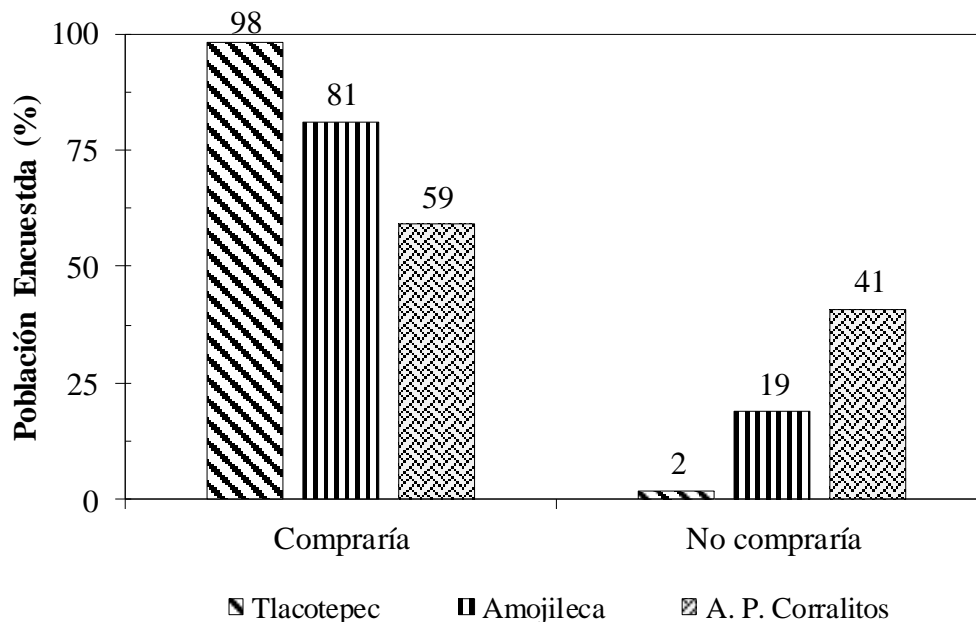


Fig. 3. Disposición de las poblaciones locales que comprarían el toronjil para su consumo, a pesar de que se encuentra de manera silvestre en la comunidad, estado de Guerrero, México.

En la figura 4 se muestra la percepción del valor económico del toronjil, donde se encontró un $p < 0.0001$. Existe una dependencia entre la percepción de valor económico y el lugar donde viven los encuestados.

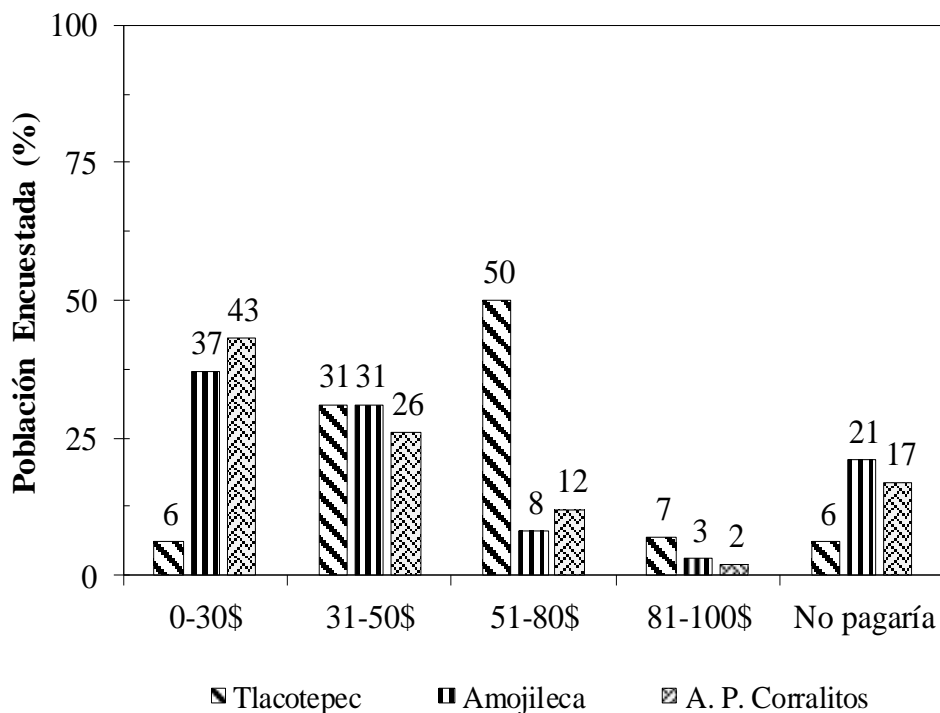


Fig. 4. Percepción del valor económico del toronjil, desde el punto de vista de las tres comunidades de estudio en Guerrero, México.

En cuanto al precio de compra del toronjil, en Tlacotepec hay una mayor valoración económica, que se ubica entre los 51 a 80 pesos mexicanos (MXN) por maceta, (2.5 a 4.0 dólares USA) a diferencia de las otras dos comunidades, donde los mayores porcentajes se encuentran entre los 0 a 30 (MXN) por maceta (0 a 1.5 dólares USA). Esto se puede deber al mayor desarrollo económico que se observó en Tlacotepec. La información obtenida es similar con los resultados de (Jiménez-Romero *et al.*, 2019) con costos de comercialización de plantas medicinales que van entre 1 a 10 dólares USA, en un estudio realizado en Valencia, Ecuador.

Entrevistas a informantes clave

Entrevista 1

Lugar: Agua de Panteón de Corralitos, municipio de Leonardo Bravo. Encuestado: Antonio Cruz Maldonado, comisario de la localidad. Objetivo: Situación de la planta de toronjil en el lugar.

El comisario mencionó en la entrevista realizada que no hay ninguna ley que regule la extracción de toronjil, ni un reglamento local, aunque se protege que no se queme de manera libre. También expresó que las poblaciones silvestres han disminuido con respecto a 10 años, principalmente por los incendios forestales descontrolados y el pastoreo de ganado. Considera que sería una buena opción que se implementara de manera local un reglamento para evitar el saqueo y poder regular la comercialización del toronjil, debido a que es una planta medicinal,

ya que es importante cuidarla, con la finalidad de mantener la población de dicha planta. Refiere que se tiene al abandono porque se comercializa muy poco. El entrevistado refiere: “Va uno a traer un manojito o se regala, por lo que no representa un incentivo económico importante; por ejemplo, si alguien pide algún manajo o costal, manda a un joven y le dan entre 20 a 50 MXN (1 a 2.5 dólares USA). Nadie lo siembra porque aún hay. Cuando una persona quiere consumirlo, solo va a cortarlo, no se le da importancia, por lo que no se ha puesto atención sobre el cuidado del toronjil, si es atacado por plagas o enfermedades”. Finalmente indicó que las actividades económicas se basan en la siembra de maíz para autoconsumo, así como durazno, pera y ciruela.

Entrevista 2

Lugar: Amojileca, municipio de Chilpancingo de los Bravo. Encuestado: Perla Malinali Adame Almazán, comisaria vocal de la localidad. Objetivo: Situación de la planta de toronjil en el lugar.

La comisaria mencionó en la entrevista realizada, que no hay ninguna ley que regule la extracción de toronjil silvestre, ni un reglamento local. Relata: “Considero que es una buena idea regular su extracción, debido a que son plantas importantes de nuestra localidad, que se utilizan desde que tengo uso de razón. Se sabe que son medicinales. Debería haber una ley que lo proteja y se preocupe por su producción”. Además, comentó que no realizan acciones para proteger este tipo de especies, pero que la comunidad es participativa; solo es cuestión de organizarla y darles la información de las problemáticas que existen. Así también, tiene conocimiento de que una persona lo siembra y comercializa en la comunidad. En cuanto a los usos, comenta: “Como bebida, se acostumbra tomar té de toronjil con cemitas, para lo cual, pone a hervir agua. Ya que está hirviendo, coloca tres ramitas de toronjil y también preparan bebidas tradicionales como el mezcal abocado con toronjil; para lo cual, al mezcal natural le introducen ramitas de toronjil y lo dejan reposar, lo promueven como medicinal, relajante y tranquilizante”. Comenta que han disminuido las poblaciones de toronjil silvestre con respecto a diez años y cree que se debe a que no se cuida. Finalmente explica que las actividades económicas más importantes de la comunidad son venta de madera, comercio en general, venta de comida, producción de mezcal y muy pocos se dedican a la siembra de maíz y hortalizas.

Entrevista 3

Lugar: Amojileca, municipio de Chilpancingo de los bravos. Encuestado: Gregorio Abarca Cástulo, productor de toronjil. Objetivo: Conocer el proceso de producción de la planta de toronjil.

Menciona que desconoce las semillas para propagarla de manera sexual, por tanto, lo hace por rizomas. Así se expresa: “Primero lo separo en varias partes y después lo trasplanto con todo y raíz, para que la planta no muera”. Comenta que no realiza ningún manejo, solo riego cuando lo necesita. No ha observado ninguna plaga ni enfermedad. “No les pongo fertilizantes porque se queman, solo hemos aplicado tierra de cerro”, explicó. En cuanto a la altura de la planta, refiere que “Si las plantas no se podan pueden alcanzar un metro de altura, pero no las dejo crecer, realizo podas cada dos meses y le sacamos entre 8 y 10 manojos por planta, que vendemos localmente (en Amojileca) y a veces lo llevo al mercado de Chilpancingo en las hierberías. Con respecto al proceso de cosecha “antes lo arrancaba, pero actualmente lo corto, para que sigan existiendo las matas, todo el año florea, siempre y cuando no le falte agua”. Acerca de la escasez del toronjil con respecto a 10 años, comenta: “antes había mucho más, ahora ya es muy escaso. Yo digo que es por el saqueo. Antes lo arrancaban desde la raíz, también por los incendios forestales y pastoreo de ganado, por eso es escaso. Se vende mucho, todo el que voy cortando lo vendo, a veces me piden más”. Referente al costo de venta de una planta completa en maceta menciona “Entre unos 60 a 70 MXN (3 a 3.5 dólares USA), la desventaja es que en maceta no crecen igual, es mucho mejor directamente en el suelo porque tienen más espacio las raíces para expandirse”.

Entrevista 4

Lugar: Mercado municipal de Chilpancingo de los Bravos, Guerrero, Méx. Encuestada: prefirió no dar su nombre, vendedora de toronjil desde hace 38 años. Objetivo: Conocer respecto del comercio del toronjil.

La persona comerciante mencionó durante la entrevista realizada, que el toronjil que vende, lo traen de la comunidad de Amojileca, municipio de Chilpancingo de los Bravo, la sierra de Chichihualco, municipio de Leonardo Bravo, y también de la sierra de Tlacotepec, municipio de General Eleodoro Castillo. Lo recomienda para ser usado en el tratamiento del dolor de estómago. A favor de esto, (González-Trujano *et al.* 2012) menciona que *A. mexicana* subsp. *mexicana* produce efectos espasmogénicos, así también menciona que se encontró acetina y tilanina, además explica que en *A. mexicana* subsp. *xolocotziana* no se encontró ningún efecto. Dicho estudio fue realizado en íleon aislado de cobayo. Además, la persona informante recomienda el uso del toronjil para el dolor de garganta. Investigaciones hechas por Gomez Álvarez, (2012) demuestran que *A. mexicana* subsp. *xolocotziana* tiene actividad antinociceéptica y es particularmente útil para el tratamiento del dolor asociado a la inflamación. Estudio hecho en modelo de ratón. Finalmente, la persona comerciante además lo recomienda para la tos y gripa. Sugiere que se prepare poniendo un litro de agua a hervir y enseguida agregar 5 ramitas de toronjil, la información coincide con (Villanueva-Solis *et al.* 2020) donde en un estudio reportaron que la forma más común para preparar plantas medicinales es cocción de la planta e infusión.

Menciona que el toronjil se escasea en tiempo de secas, ya que solo se puede encontrar en barrancas. Menciona que también se llega a escasear debido a incendios, se lo come el ganado y que es mucho más abundante en tiempo de lluvias.

El toronjil lo vende al precio de 30 MXN (1.5 dólares USA) por dos manojitos. El periodo en el que más se vende es en las vacaciones de diciembre, porque viene mucha gente a vacacionar. La principal razón por la cual lo compran es por sus propiedades medicinales. Cuando compra plantas de toronjil las adquiere entre 250 a 300 MXN (12.5 a 15 dólares USA) por planta grande y por plantas pequeñas entre 80 a 100 MXN (4 a 5 dólares USA).

De la información obtenida de los informantes clave, se puede observar que las autoridades, al igual que los encuestados, perciben que la población del toronjil silvestre va disminuyendo, pero no se toman medidas para evitarlo. Así también se observa que existe una cadena de valor, que va desde las personas que lo extraen del campo o lo siembran (se encontró solamente un productor en las tres comunidades de estudio) hasta los vendedores finales. Así también se pudo percibir que la ganancia obtenida por la venta de este valioso recurso apenas alcanza para la subsistencia. En contraparte, investigaciones científicas han demostrado características importantes para el uso medicinal del toronjil Galvez *et al.* (2015). Pero este conocimiento no llega a estas comunidades y aún menos esta información genera desarrollo tecnológico para ellas, por otro lado, este conocimiento generado, en muchas ocasiones, es aprovechado por empresas biotecnológicas que obtienen productos de altísimo valor agregado.

CONCLUSIONES

En las comunidades en estudio, de acuerdo con la percepción de los habitantes locales, la población de toronjil silvestre está disminuyendo, esto además trae consigo otros problemas, como la pérdida de diversidad genética, lo cual las pone aun en un riesgo mayor. Por esta razón hace falta realizar estudios de diversidad genética. Debido a que estas plantas forman parte de un ecosistema, donde se encuentran otras especies, al disminuir sus poblaciones afectan el equilibrio de dicho ecosistema y esto puede provocar la extinción de otras especies. Si bien el conocimiento tradicional, empírico, respecto de las plantas medicinales, ha sido visto por la sociedad moderna como algo de poca importancia, ha dado rumbo a la ciencia para el

descubrimiento de principios activos de los medicamentos, al grado de que estos medicamentos, al menos en las comunidades referidas, provienen de las plantas medicinales.

LITERATURA CITADA

- Aparicio Aparicio, J. C., Voeks, R. A., & Silveira Funch, L. (2021). Are Mixtec Forgetting Their Plants? Intracultural Variation of Ethnobotanical Knowledge in Oaxaca, Mexico. *Economic Botany*, 75(3-4), 215-233. <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09535-2>
- Aguilar Borojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud Salud en Tabasco. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Alvarado, A. M., García-Trejo, F., Cardador-Martínez, A., & Magallán-Hernández, F. (2020). *Clinopodium mexicanum*: Potential and difficulties for the sustainable use of a Mexican medicinal plant. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 19(2), 149-160. <https://doi.org/10.37360/BLACPMA.20.19.2.8>
- Arjona Garcia, C. (2018). Urbanización como proceso de cambio en el conocimiento de plantas medicinales en dos comunidades de la Sierra de Huautla, Morelos [Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. En Tesis de maestría. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/548>
- Ávila-Uribe, Margarita Micaela García-Zárate, S. N., Sepúlveda-Barrera, A. S., & Godínez-Rodríguez, M. A. (2016). Plantas Medicinales en Dos Poblados del Municipio de San Martín De Las Pirámides, Estado De México. *Polibotánica*, 42, 215-245. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.11>
- Beltrán-Rodríguez, L. A., & Manzo-Ramos, F. (2013). Hersch Martínez Paul. 1996. Destino común: los recolectores y su flora Medicinal. Instituto Nacional De Antropología e Historia. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10(2), 257-260. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187054722013000200007&lng=es&tlng=es.
- De Blas, I. (2006). Software winEpi Facultad de Veterinaria (p.). <http://www.winepi.net/>
- Estrada-Reyes, R., López-Rubalcava, C., Ferreyra-Cruz, O. A., Dorantes-Barrón, A. M., Heinze, G., Moreno Aguilar, J., & Martínez-Vázquez, M. (2014). Central nervous system effects and chemical composition of two subspecies of *Agastache mexicana*; An ethnomedicine of Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 153(1), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.12.057>
- Gálvez, J., Estrada-Reyes, R., Benítez-King, G., Araujo, G., Orozco, S., Fernández-Mas, R., Almazán, S., & Calixto, E. (2015). Involvement of the GABAergic system in the neuroprotective and sedative effects of acacetin 7-O-glucoside in rodents. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 33, 683-700. <https://doi.org/10.3233/RNN-140486>
- Gomez Álvarez, R. (2012). Plantas medicinales en una Aldea del estado de Tabasco, México. *Fitotecnia Mexicana*, 35 (1), 43-49. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802012000100007&lng=es&tlng=es
- González-Trujano, M. E., Ventura-Martínez, R., Chávez, M., Díaz-Reval, I., & Pellicer, F. (2012). Spasmolytic and antinociceptive activities of ursolic acid and acacetin identified in *Agastache mexicana*. *Planta Medica*, 78(8), 793-799. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1298416>
- González Guinea, A., González Santiago, M. V., & Castellanos Suarez, J. A. (2018). El huerto familiar y la cultura. El espacio destinado a las plantas medicinales en Xochipala, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 215-227. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.860>
- Guzmán Maldonado, S. H., & González Chavira, M. M. (2017). Plantas medicinales, la realidad de una tradición ancestral. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletoinformativo/1

Recibido:
5/octubre/2021

Aceptado:
17/mayo/2022

- 044_4729_Plantas_medicinales_la_realidad_de_una_tradición_ancestral.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos
- Jiménez-Romero, E. M., Moreno-Vera, A. N., Villacís-Calderón, A. C., Rosado-Sabando, J. K., Morales Moreira, D. M., & Bravo Bravo, A. D. (2019). Estudio etnobotánico y comercialización de plantas medicinales del bosque protector Murocomba y su área de influencia del cantón Valencia, Ecuador. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 491–506. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art1597
- Maldonado, C., Paniagua-Zambrana, N., Rainer, W. B., Zenteno-Ruiz, F. S., & Fuentes, A. F. (2020). La importancia de las plantas medicinales, su taxonomía y la búsqueda de la cura a la enfermedad que causa el coronavirus (Covid-19). *Ecología en Bolivia*, 55(1), 1–5. http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v55n1/v55n1_a01.pdf
- Molina Mendoza, J. L., Galván Villanueva, R., Patiño Siciliano, A., & Fernández Nava, R. (2012). Plantas medicinales y listado florístico preliminar del municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 34(34), 259–291. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140527682012000200013&lng=es&tlng=es
- Ortega-Ortega, T., & Vázquez-García, V. (2014). *Satureja macrostema*: situación ambiental, conocimiento local y roles de género. *Madera y Bosques*, 20, 71–86. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712014000200007&lng=es&tlng=es.
- Santillán-Ramírez, M. A., López-Villafranco, M. E., Aguilar-Rodríguez, S., & Aguilar-Contreras, A. (2008). Estudio etnobotánico, arquitectura foliar y anatomía vegetativa de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* y *A. mexicana* ssp. *xolocotziana*. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(2), 513–524. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-34532008000200024&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Thompson, E. . . (1992). *Wiley Series in probability and statistics* (Vol. 1).
- Torres Díaz, G. (2019). Caracterización de la semilla, composición química del aceite esencial y efecto de la fertilización nitrogenada en *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* [Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/2101/1/191650.pdf>
- Valdés Cobos, A. (2013). Conservación y uso de plantas medicinales: el caso de la región de la Mixteca Alta Oaxaqueña, México. *Ambiente y Desarrollo*, 17(33), 87–99. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/7044>
- Villanueva-Solis, I., Arreguín-Sánchez, M. L., Fernández-Nava, L. D., & Quiroz-García, R. (2020). Plantas medicinales que se comercializan en el mercado 8 de julio y uno tradicional, ambos localizados en el centro de Actopan, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 50, 209–243. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.1>
- White-Olascoaga, L., Juan-Pérez, J. I., Chávez-Mejía, C., y Gutiérrez-Cedillo, J. G. (2013). Flora medicinal en San Nicolás, municipio de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica*, (35), 173-206. Recuperado en 10 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682013000100010&lng=es&tlng=es.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES MEDICINALES OFERTADAS EN EL MERCADO DE TEPEACA, PUEBLA, MÉXICO

RELATIVE IMPORTANCE OF MEDICINAL SPECIES OFFERED IN THE TEPEACA MARKET, PUEBLA, MEXICO

Reyes-Matamoros, J.; D. Martínez-Moreno; J.G. Fuentes-López y F. Basurto-Peña.

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES MEDICINALES OFERTADAS EN EL MERCADO DE TEPEACA, PUEBLA, MÉXICO.

RELATIVE IMPORTANCE OF MEDICINAL SPECIES OFFERED IN THE TEPEACA MARKET, PUEBLA, MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 271-289 México. Julio 2022

DOI: 10.18387/polibotanica.54.17



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/)).

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES MEDICINALES OFERTADAS EN EL MERCADO DE TEPEACA, PUEBLA, MÉXICO

RELATIVE IMPORTANCE OF MEDICINAL SPECIES OFFERED IN THE TEPEACA MARKET, PUEBLA, MEXICO

Reyes-Matamoros, J.;
D. Martínez-Moreno;
J.G. Fuentes-López
y F. Basurto-Peña.

IMPORTANCIA RELATIVA
DE LAS ESPECIES
MEDICINALES
OFERTADAS EN EL
MERCADO DE TEPEACA,
PUEBLA, MÉXICO.

RELATIVE IMPORTANCE
OF MEDICINAL SPECIES
OFFERED IN THE
TEPEACA MARKET,
PUEBLA, MEXICO.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 271-289. Julio 2022

DOI:

10.18387/polibotanica.54.17

J. Reyes-Matamoros / jenaro.reyes@correo.buap.mx

Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

D. Martínez-Moreno / davidman850@hotmail.com

J.G. Fuentes-López

*Facultad de Ciencias Biológicas,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.*

F. Basurto-Peña

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

RESUMEN: El uso de plantas medicinales en México está ampliamente difundido y son objeto de un activo comercio a nivel nacional e inclusive internacional. El objetivo del estudio fue registrar las plantas medicinales comercializadas en el mercado semanal o tianguis de Tepeaca, Puebla, México y evaluar la importancia relativa de las mismas. Se realizaron 16 entrevistas abiertas incluyendo a todos los comerciantes de plantas medicinales del tianguis. Se registraron 66 especies, 60 géneros y 38 familias. Las familias Asteraceae y Lamiaceae presentaron el mayor número de géneros y especies. De las especies registradas, 43 son nativas y 23 introducidas, 24 especies son cultivadas y 42 son recolectadas. El precio de venta promedio de las plantas es de \$10.00 el manojo o montón y la especie más costosa es el rábano negro con un costo de \$100.00 la pieza. Las partes de la planta más comercializadas fueron las hojas, tallos y flores, seguidas de lejos por corteza y raíz. Las especies medicinales se utilizan para tratar 46 padecimientos que se pueden agrupar en 12 categorías de Aparatos y Sistemas del cuerpo humano. La forma más frecuente de preparación es la de cocción y la forma de administración más recurrente es oral. Se obtuvo el Índice de importancia relativa de las especies como una medida de su importancia cultural. La persistencia de las plantas medicinales en tianguis y mercados se debe al arraigo que tiene la gente, en este caso los habitantes del municipio de Tepeaca para tratarse con plantas medicinales, esto se ve reflejado en el alto número de puestos que las ofertan y en el elevado número de especies para atender sus padecimientos. Las plantas medicinales son especies de significancia cultural para las poblaciones humanas y en el mercado de Tepeaca se agrupan en cuatro categorías de importancia.

Palabras clave: Tianguis, mercados tradicionales, plantas medicinales, etnobotánica médica.

ABSTRACT: The use of medicinal plants in Mexico is widely spread and they are the subject of an active trade at national and even international level. The aim of the study was to register the medicinal plants commercialized in the weekly market or tianguis of Tepeaca, Puebla, Mexico and to evaluate their relative importance. 16 open interviews were conducted including all the medicinal plant merchants of the tianguis. 66 species, 60 genera and 38 families were recorded. The Asteraceae and Lamiaceae presented the highest number of genera and species. Of the registered species, 43 are native and 23 introduced, 24 species are cultivated and 42 are collected. The average sale price of the plants is \$10.00 per bunch and the most expensive species is the black radish with a

cost of \$100.00 per piece. The most traded plant parts were leaves, stems and flowers, followed far behind by bark and roots. Medicinal species are used to treat 46 ailments that can be grouped into 12 categories of Apparatus and Systems of the human body. The most frequent form of preparation is the decoction and the most recurrent form of administration is oral. The Index of relative importance of the species was obtained as a measure of its cultural importance. The presence and persistence of medicinal plants in tianguis and markets is due to the tradition that people have, to treat their ailments with medicinal plants. This is reflected in the high number of sales sites that offer them and in the high number of species to treat ailments. Medicinal plants are species of cultural significance for human populations and in the Tepeaca market they are grouped into four categories of importance.

Key words: Tianguis, traditional markets, medicinal plants, medical ethnobotany.

INTRODUCCIÓN

El interés en las plantas medicinales para la cura de diversas enfermedades y padecimientos que afectan al ser humano se ha incrementado al reconocerse el importante papel de las plantas para el desarrollo de nuevos fármacos (Moron, 2010; Santillán, 2012).

En el país, el conocimiento, uso y manejo tradicional de la flora alcanza niveles altos y también se tiene evidencias de que existe un conocimiento detallado del entorno vegetal (Toledo, 1995). La alta diversidad vegetal y cultural del país ha resultado en un amplio uso de plantas, con entre de 10 000 a 12 000 especies útiles, de un total de 23 314 especies de plantas registradas para el territorio nacional (Villaseñor, 2016).

El uso de plantas medicinales en México está ampliamente difundido y muchas de ellas son objeto de un activo comercio a nivel nacional e inclusive internacional (Bye y Linares, 1983; Hersch, 1996; Hersch y Fierro, 2001; Linares & Bye, 2011; Solares *et al.*, 2012; Beltrán *et al.*, 2017).

A pesar de su importancia en los sistemas de salud del país y de que México ocupa el primer o segundo lugar en el mundo en cuanto a número de plantas medicinales, aún queda mucho por hacer al respecto pues a la fecha no se conoce con certeza cuantas especies de plantas medicinales se encuentran en el territorio nacional, el esfuerzo más reciente encaminado a tal objetivo data de hace 28 años con el reporte de 3103 especies de plantas medicinales en México (Argueta *et al.*, 1994).

Los mercados y tianguis son conocidos por su importancia en la vida económica y social de las comunidades y son una rica fuente de información etnobotánica, botánica y antropológica (Hernández X. *et al.*, 1983; Cook y Diskin, 1990; Argueta, 2016) y muchas de las especies de plantas medicinales son ofertadas en ellos en diversas zonas de México.

En Tepeaca hay noticia de la presencia de un tianguis desde la colonia (Grosso, 1989) el cual seguramente tiene antecedentes prehispánicos, dada la importancia de la región como recaudadora de tributos para el imperio azteca. Este tianguis continúa estableciéndose a la fecha, pero en la actualidad predominan los comerciantes foráneos que venden mercancías provenientes de otras partes del país y del mundo.

En cuanto a las plantas medicinales que se ofertan en el mercado de Tepeaca, estas constituyen un amplio campo de conocimientos y prácticas en las que un conjunto heterogéneo de personas recurre a estas para tratar padecimientos de diversa índole (Cases, 2007), entre ellos, malestares físicos y síndromes psicósomáticos (Martínez *et al.*, 2016).

Las plantas medicinales son el recurso terapéutico por excelencia de la medicina tradicional mexicana y puede constituir un importante componente para implementar nuevos planes de

salud, que combinen el conocimiento popular con el científico (Argueta y Cano, 1994; Moron, 2010; SEMARNAT, 2021). Particularmente las plantas silvestres utilizadas con fines medicinales se encuentran entre los productos forestales no maderables con mayor explotación y comercializados en los mercados tradicionales mexicanos (Flores y Valencia, 2007).

En los últimos años, en Puebla se han realizado estudios acerca de plantas medicinales que se ofertan en los mercados y tianguis, mismos que dan idea de la importancia y biodiversidad de estos recursos (García, 2002; Martínez *et al.*, 2006; Méndez, 2009; Sosa, 2013; Martínez *et al.*, 2016).

Entre las plantas medicinales puede haber algunas de mayor significancia cultural (Turner, 1998; Garibaldi & Turner, 2004; Escobar, 2016) es decir plantas que tienen particular importancia para un grupo humano y que pueden ser utilizadas o cosechadas en grandes cantidades, siendo de interés el poder reconocer cuales pueden ser estas plantas. En este trabajo se reportan las especies vegetales utilizadas como recursos herbolarios en el tianguis de Tepeaca, evaluando la importancia relativa de las plantas como un índice de su importancia cultural.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el tianguis de Tepeaca, mismo que se instala en esta población los viernes de cada semana, se hicieron en total 14 visitas al mercado entre junio y diciembre de 2017.

El municipio de Tepeaca se localiza en la parte central del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son 18°55'30" y 19°06'18" de latitud norte y 97°48'18" y 97°59'18" de longitud oeste, con altitud promedio de 2238 msnm (Fig. 1).

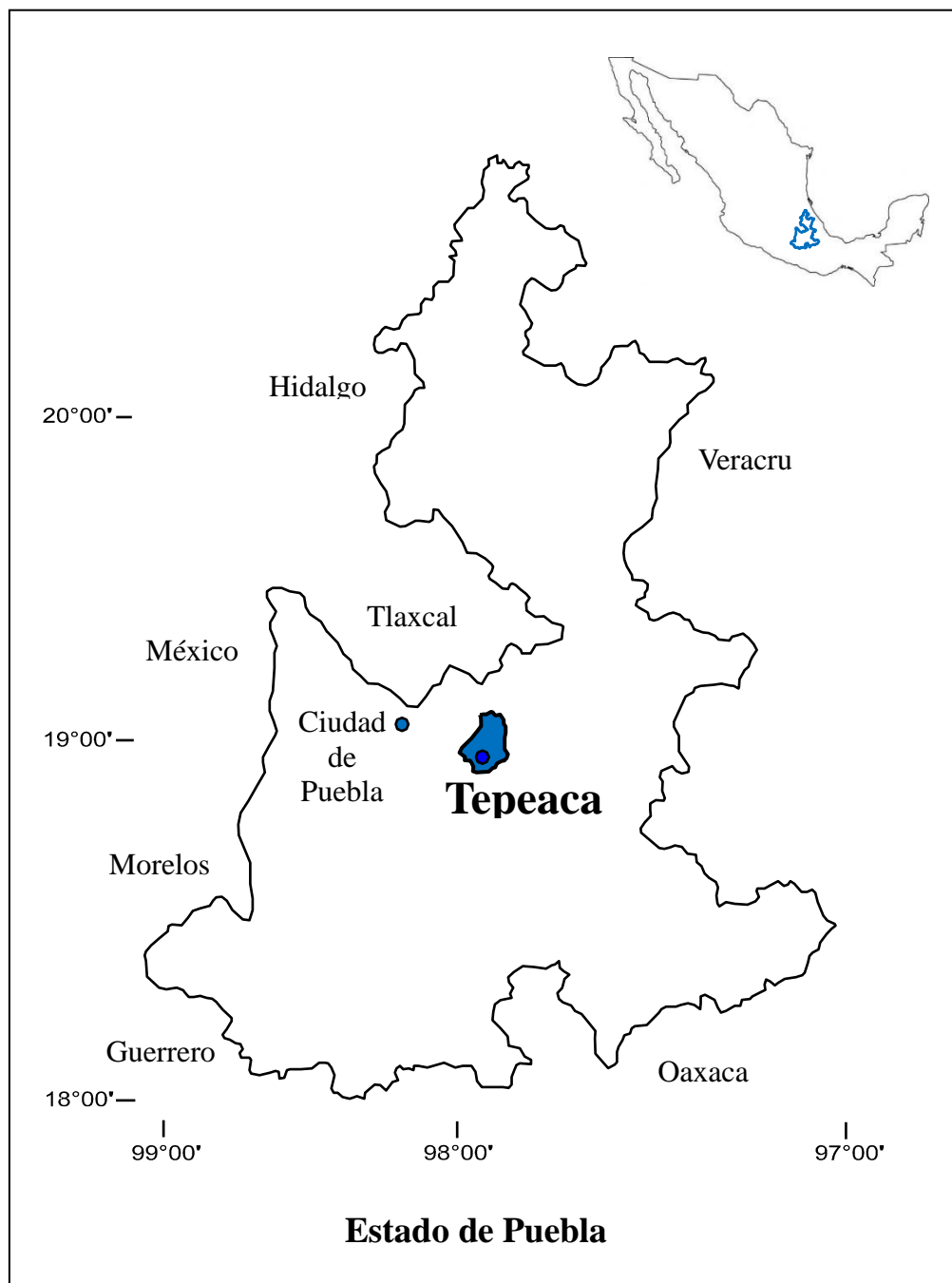


Fig. 1. Localización del tianguis de Tepeaca, Puebla.

Durante cada visita se recorrió la zona de verduras y legumbres, que es el sitio donde se ubican los puestos de plantas medicinales. Se realizaron entrevistas abiertas con 16 vendedores de las plantas. En estas entrevistas se preguntó por las plantas que se comercializan, su nombre común, para que se usen, forma de preparación, vía de administración, procedencia y obtención de las especies, también se obtuvo el costo por cada una pues se hizo compra-colecta de cada una de las plantas medicinales encontrada en cada uno de los puestos. Estas colectas se usaron también para hacer la determinación de las especies (Martínez, 2006).

Con la finalidad de evaluar la importancia de cada especie, en las visitas al tianguis se hizo el registro de presencia de todas las plantas medicinales ofrecidas a la venta en todos los puestos encontrados en cada ocasión.

Se estimó un índice de importancia relativa (IIR) de cada especie como frecuencia de la presencia de las mismas mediante la siguiente fórmula: $IIR = RE/RTE$; donde, RE es el registro de presencia de una especie particular y RTE es el registro de presencia de todas las especies (Martínez *et al.*, 2021).

RESULTADOS

En el tianguis de Tepeaca se registraron en la zona de verduras y legumbres un total de 66 puestos, de los cuales 16 (24 %) se dedican a las plantas medicinales, esto es, casi un cuarto de los puestos de esta sección del tianguis está dedicada a la venta de plantas medicinales.

La venta es al menudeo, las plantas se venden por montón o por manojo con un precio promedio de \$10.00, variando de \$5.00 a \$15.00. También se venden compuestos de plantas medicinales y el precio de los mismos varía de \$15.00 a \$35.00. La especie más cara es el rábano negro cuyo costo es de \$100.00 por una pieza.

Lo más común es que las plantas medicinales se vendan secas, pero también se ofertan plantas frescas. En el tianguis se registraron 66 especies, una que las cuales no fue posible determinar ('uña de gato'), las 65 especies determinadas pertenecen a 60 géneros y 38 familias (Cuadro 1). Los nombres científicos y las familias de las plantas se reportan de acuerdo con The plants of the world on line (POWO) de donde se obtuvo también el lugar de origen de las especies a fin de ubicarla como nativa de México o introducida.

Cuadro 1. Plantas medicinales comercializadas en el mercado de Tepeaca, Puebla, México.

| Familia, Genero y Especie | Nombre común | IIR | Presencia durante las visitas | Manejo | Aparato o Sistema/ Signos y Síntomas | Parte utilizada/ Forma de uso |
|--|----------------|-------|-------------------------------|-----------|--|--|
| ANACARDIACEAE <i>Schinus molle</i> hort. ex Engl. | Pirul de Monte | 0.004 | 2 | Colectada | Digestivo/ Úlcera, gastritis | Corteza/ Infusión |
| <i>Amphipterygium adstringens</i> (Schltdl.) Schiede ex Standl | Cuachalalate | 0.015 | 7 | Colectada | Digestivo/ Úlcera, gastritis | Corteza/ Infusión |
| ASTERACEAE <i>Calea ternifolia</i> Kunth var. <i>ternifolia</i> | Zacatechichi | 0.002 | 1 | Colectada | Digestivo/ Dolor de estómago, diarrea, indigestión, cólicos y bilis | Hojas/Infusión |
| <i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg. | Diente de León | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Cáncer | Flor/Infusión |
| <i>Cyclolepis genistoides</i> Gilles ex D. Don | Palo Azul | 0.020 | 9 | Colectada | Excretor/Diurético para piedras en riñones | Tallo/Infusión |
| <i>Chrysactinia mexicana</i> A. Gray | Calanca | 0.033 | 15 | Colectada | Digestivo/Dolor de estómago | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Calendula officinalis</i> L. | Mercadela | 0.020 | 9 | Cultivada | Digestivo y Respiratorio/ Gastritis, tos y dolor de garganta | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Cynara scolymus</i> L. | Alcachofa | 0.022 | 10 | Cultivada | Digestivo/Hígado | Hojas/Infusión |
| <i>Tagetes lucida</i> Cav. | Pericón | 0.033 | 15 | Colectada | Digestivo/Cólico y diarrea | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Chrysanthemum parthenium</i> (L.) Pers. | Santa María | 0.035 | 16 | Cultivada | Síndrome cultural y reproductivo/Aire y baños de enferma | Tallo, hojas y flores/Cocción |
| <i>Artemisia absinthium</i> L. | Hierbamaestra | 0.056 | 7 | Cultivada | Digestivo, excretor, reproductor/Bilis, riñones y dolores menstruales | Tallos y hojas/Infusión |
| <i>Heterotheca inuloides</i> Cass. | Árnica | 0.065 | 39 | Cultivada | Músculo-esquelético/ Desinflamante y desinfectante | Tallo, hojas y flores/ Infusión Cocción/ para lavar heridas después de una operación |
| <i>Matricaria recutita</i> L. | Manzanilla | 0.117 | 54 | Cultivada | Digestivo y síndrome cultural/ Dolor de estómago y para los bebés no guarden aire | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Tagetes erecta</i> L. | Cempazúchil | 0.030 | 14 | Cultivada | Reproductor/ Trastornos de la regla | Flores/Infusión |

| Familia, Genero y Especie | Nombre común | IIR | Presencia durante las visitas | Manejo | Aparato o Sistema/ Signos y Síntomas | Parte utilizada/ Forma de uso |
|--|-------------------------|-------|-------------------------------|-----------|---|---|
| BIGNONIACEAE <i>Tecoma stans</i> (L.) Griseb. | Amula de Monterrey | 0.015 | 7 | Colectada | Endocrino/Diabetes | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| BORAGINACEAE <i>Borago officinalis</i> L. | Borraja | 0.009 | 4 | Cultivada | Digestivo/Fiebre, calor y ardor de estómago | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Cordia boissieri</i> A. DC. | Anacahuite | 0.015 | 7 | Colectada | Respiratorio/Tos | Flores/Infusión |
| BRASSICACEAE <i>Raphanus sativus</i> L. | Rábano Negro | 0.013 | 6 | Cultivada | Excretor/Piedras en riñones | Raíz/Infusión |
| CHENOPODIACEAE <i>Chenopodium graveolens</i> Willd. | Epazote de Zorrillo | 0.015 | 7 | Colectada | Digestivo/Dolor de estómago | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| CONVOLVULACEAE <i>Ipomoea stans</i> Cav. | Tumbavaquera | 0.015 | 7 | Colectada | Nervioso/Nervios | Corteza/Infusión |
| CYATHEACEAE <i>Cyathea divergens</i> Kunze | Palo de Víbora | 0.007 | 3 | Colectada | Excretor/Lavado de riñones | Corteza/Infusión |
| EQUISETACEAE <i>Equisetum hyemale</i> L. | Cola de Caballo | 0.035 | 16 | Colectada | Excretor/Riñones | Tallo y hojas/ Infusión |
| ERICACEAE <i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth | Pinguica | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Piedras en riñones y mal de orín | Fruto/Infusión |
| GRAMINEAE <i>Cymbopogon citratus</i> Stapf | Té Limón | 0.085 | 35 | Colectada | Digestivo y nervioso/Dolor de estómago y diarrea, nervios | Hojas/Infusión |
| HIPPOCRATEACEAE <i>Hippocratea excelsa</i> Kunth | Cancerina | 0.022 | 10 | Colectada | Digestivo/Ulcera, antiinflamatorio y cicatrizante | Corteza/Infusión |
| KRAMERIACEAE <i>Krameria secundiflora</i> ex DC. | Clameria | 0.022 | 10 | Colectada | Digestivo/Disentería roja | Raíz/Infusión |
| LAMIACEAE <i>Salvia thymiflora</i> Willd. | Gobernadora | 0.002 | 1 | Colectada | Digestivo/Bilis | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Marrubium vulgare</i> L. | Marrubio | 0.002 | 1 | Cultivada | Tegumentario, reproductor, digestivo y síndrome cultural/Control de peso, caspa, baños de enferma y bilis | Tallo, hojas y flores/Cocción e infusión |
| <i>Salvia elegans</i> Vahl | Mirto Blanco | 0.009 | 4 | Colectada | Reproductivo y síndrome cultural/Baño de enfermas y aire | Tallo, hojas y flores/ Cocción e infusión |
| <i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Lint & Epling | Toronjil | 0.009 | 4 | Cultivada | Nervioso, digestivo y síndrome cultural/Nervios, cólicos y susto | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Clinopodium mexicanum</i> (Benth.) Govaerts | Alcipa (Menta de Monte) | 0.020 | 9 | Colectada | Digestivo/Dolor de estómago | Tallo, hojas y flores/Infusión |

| Familia, Genero y Especie | Nombre común | IIR | Presencia durante las visitas | Manejo | Aparato o Sistema/ Signos y Síntomas | Parte utilizada/ Forma de uso |
|--|------------------|-------|-------------------------------|-----------|---|---|
| <i>Mentha arvensis</i> L. | Hierbabuena | 0.043 | 20 | Cultivada | Digestivo/Dolor de estómago | Tallo y hojas/ Infusión |
| <i>Ocimum basilicum</i> L. | Albahaca | 0.033 | 15 | Colectada | Reproductivo, músculo-esquelético y síndrome cultural/Baño de enferma, reumas, aire | Tallo, hojas y flores/Cocción e infusión |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> L. | Romero | 0.065 | 30 | Cultivada | Reproductivo y síndrome cultural/Baño de enferma | Tallo, hojas y flores/ Cocción e infusión |
| LEGUMINOSAE <i>Mimosa tenuiflora</i> Benth. | Tepezcohuite | 0.015 | 7 | Colectada | Digestivo y tegumentario/ Gastritis y heridas externas | Corteza/Cocción |
| MAGNOLIACEAE <i>Talauma mexicana</i> G. Don. | Yoloxochitl | 0.015 | 7 | Cultivada | Circulatorio/Afecciones del corazón | Hojas/Macerado en alcohol, cocción e infusión |
| MALVACEAE <i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat | Flor de Manita | 0.020 | 9 | Colectada | Nervioso/Nervios | Flores/Infusión |
| MYRTACEAE <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. | Eucalipto | 0.002 | 1 | Colectada | Respiratorio/Tos | Hojas/Infusión |
| ONAGRACEAE <i>Oenothera rosea</i> Aiton | Hierba del Golpe | 0.015 | 7 | Colectada | Músculo-esquelético/Golpes | Tallo y hojas/ Infusión y cocción |
| PINACEAE <i>Pinus sp.</i> | Ocote | 0.024 | 11 | Colectada | Respiratorio/Tos | Corteza/Infusión |
| POLEMONIACEAE <i>Loeselia mexicana</i> Brand | Espinosillo | 0.013 | 6 | Colectada | Respiratorio, febrífugo, circulatorio y tegumentario/ Tos, calentura, hemorragias y caída del cabello | Tallos, hojas y flores/Cocción e infusión |
| RHAMNACEAE <i>Rhamnus purshiana</i> DC. | Cáscara Sagrada | 0.015 | 7 | Colectada | Endocrino/Diabetes | Corteza/Infusión |
| ROSACEAE <i>Cydonia oblonga</i> Mill. | Membrillo | 0.015 | 7 | Cultivada | Digestivo, excretor y síndrome cultural/ Disentería, riñones y empacho | Fruto/Infusión |
| <i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC. | Raíz de Tejocote | 0.015 | 7 | Colectada | Síndrome cultural/ Control de peso | Raíz/Infusión |
| <i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl. | Nispero | 0.002 | 1 | Cultivada | Endocrino/Diabetes | Hojas/Infusión |
| RUBIACEAE <i>Uncaria tomentosa</i> DC. | Uña de Gato | 0.015 | 7 | Colectada | Circulatorio/Mejora de la circulación | Flores/Infusión |

| Familia, Genero y Especie | Nombre común | IIR | Presencia durante las visitas | Manejo | Aparato o Sistema/ Signos y Síntomas | Parte utilizada/ Forma de uso |
|---|---------------------|-------|-------------------------------|-----------|---|----------------------------------|
| RUTACEAE <i>Citrus</i> sp. | Cascara de Sidra | 0.015 | 7 | Cultivada | Digestivo y síndrome cultural/ Mejora digestión y empacho | Cascara del fruto/Infusión |
| <i>Citrus</i> sp. | Azahar | 0.015 | 7 | Cultivada | Nervioso/Calmar nervios | Flor/Infusión |
| <i>Ruta chalepensis</i> L. | Ruda | 0.024 | 11 | Cultivada | Síndrome cultural/Para el aire | Tallo y hojas/Ramo para limpias |
| SALICACEAE <i>Salix taxifolia</i> Kunth | Taray | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Limpiar riñones | Corteza/Infusión |
| SAPINDACEAE <i>Serjania triquetra</i> Radlk. | Palo Tres Costillas | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Limpiar riñones | Ramas/Infusión |
| SCROPHULARIACEAE <i>Verbascum thapsus</i> L. | Gordolobo | 0.013 | 5 | Colectada | Digestivo y respiratorio/ Bilis y tos | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| <i>Leucophyllum pringlei</i> Standl. | Romero de Monte | 0.004 | 2 | Colectada | Digestivo, músculo-esquelético y síndrome cultural/Dolor de estómago, dolor de cabeza y baño de enferma | Tallo y fojas/Cocción e infusión |
| SELAGINELLACEAE <i>Selaginella pilifera</i> A.Br. | Doradilla | 0.033 | 15 | Colectada | Excretor/ Riñones y vías urinarias | Toda la planta/Infusión |
| SIMAROUBACEAE <i>Quassia amara</i> L. | Cuasia | 0.015 | 7 | Colectada | Digestivo/Bilis | Ramas/Infusión |
| SOLANACEAE <i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp. | Hierba del Perro | 0.015 | 7 | Colectada | Músculo-esquelético y síndrome cultural/Dolor de cabeza, mordedura de víbora y baño de enferma | Hojas y tallo/Cocción |
| STERCULIACEAE <i>Guazuma ulmiflora</i> Lam. | Guásima | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Riñones | Tallo, hojas y flores/Infusión |
| TAXODIACEAE <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. | Ahuehuate (Sabino) | 0.015 | 7 | Colectada | Digestivo/Ulceras y diarrea | Ramas y hojas/Infusión |
| THEACEAE <i>Ternstroemia sylvatica</i> Choisy | Flor de Tila | 0.002 | 1 | Colectada | Nervioso y circulatorio/ Nervios y presión | Flores y fruto/Infusión |
| TURNERACEAE <i>Turnera diffusa</i> Willd. | Damiana de Guerrero | 0.015 | 7 | Colectada | Excretor/Limpia riñones | Tallo y hojas/Infusión |
| UMBELIFERAE <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. | Hinojo | 0.013 | 6 | Cultivada | Digestivo/Disentería | Tallo y hojas/Infusión |
| URTICACEAE <i>Cecropia</i> Loefl. sp. | Guarumbo | 0.015 | 7 | Colectada | Endocrino/Diabetes | Tallo y hojas/Infusión |

| Familia, Genero y Especie | Nombre común | IIR | Presencia durante las visitas | Manejo | Aparato o Sistema/ Signos y Síntomas | Parte utilizada/ Forma de uso |
|---|--------------|-------|-------------------------------|-----------|---|----------------------------------|
| VALERINACEAE <i>Valeriana officinalis</i> L. & Maillefer | Valeriana | 0.015 | 7 | Cultivada | Nervioso/Insomnio y ansiedad | Corteza/Infusión |
| VERBENACEAE <i>Lantana hispida</i> Kunth | Salvareal | 0.020 | 9 | Colectada | Digestivo y síndrome cultural/Dolor de estómago y baño de enferma | Tallo y hojas/Cocción e infusión |
| ZINGIBERACEAE <i>Zingiber officinale</i> Roscoe | Gengibre | 0.009 | 4 | Cultivada | Nervioso/Para el insomnio | Raíz/Infusión |

Las familias sobresalientes en cuanto a número de especies fueron Asteraceae (11 géneros, 13 especies) y Lamiaceae (6 géneros, 8 especies). Del resto de las familias, 30 están representadas por una sola especie, 4 por 2 especies y 2 por 3 especies (Fig. 2).

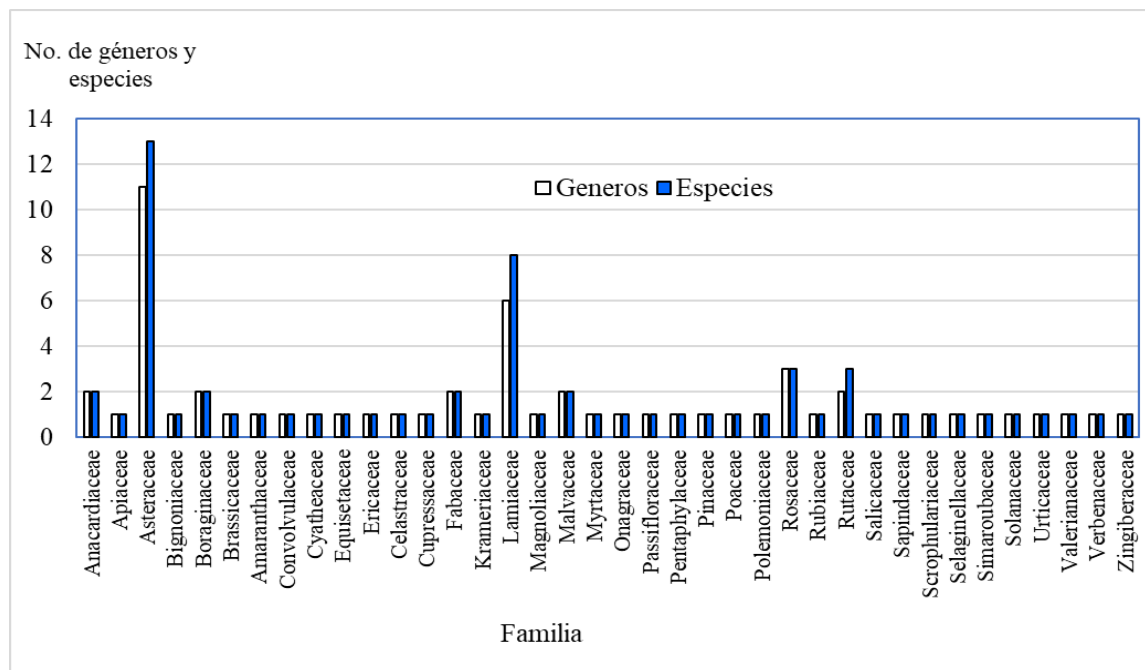


Fig. 2. Número de especies de plantas medicinales por familia en el Tianguis de Tepeaca, Puebla.

De las especies determinadas, 19 son árboles, 17 son arbustos, 27 son hierbas y dos son bejucos leñosos.

En relación con el manejo y origen de las plantas, 24 especies son cultivadas y 42 especies son recolectadas, 43 especies son nativas y 23 son introducidas (Cuadro 1).

Con las plantas medicinales registradas se tratan 46 padecimientos que se pueden agrupar por aparatos y sistemas del cuerpo humano en 12 categorías (Cuadro 2, Fig. 3).

Cuadro 2. Aparatos y sistemas del cuerpo humano y padecimientos tratados con plantas medicinales del tianguis de Tepeaca, Puebla.

| Aparatos y sistemas | Padecimientos |
|---------------------------------|---|
| Aparato circulatorio | Afecciones del corazón, hemorragia, mejorar circulación, presión |
| Aparato digestivo | Bilis, calor y ardor del estómago, cólicos, diarrea, disentería, disentería roja, dolor de estómago, gastritis, hígado, indigestión, úlcera |
| Aparato excretor | Diurético, mal de orín, lavar o limpiar riñones, piedras en riñones, riñones, vías urinarias |
| Aparato reproductor | Baños de enferma (para 'limpiar' o desinflamar), dolores menstruales, trastornos de la regla |
| Aparato respiratorio | Dolor de garganta, tos |
| Signos y síntomas | Calentura o fiebre, dolor de cabeza |
| Síndromes de filiación cultural | Aire, empacho, para que los bebes no guarden aire, susto |
| Sistema endócrino | Diabetes |
| Sistema músculo-esquelético | Desinfectante, desinflamante, golpes, lavar heridas, reumas |
| Sistema nervioso | Ansiedad, insomnio, nervios (calmar nervios) |
| Sistema tegumentario | Caspa, caída del cabello, cicatrizante |
| Otros | Cáncer, control de peso, mordedura de víbora |

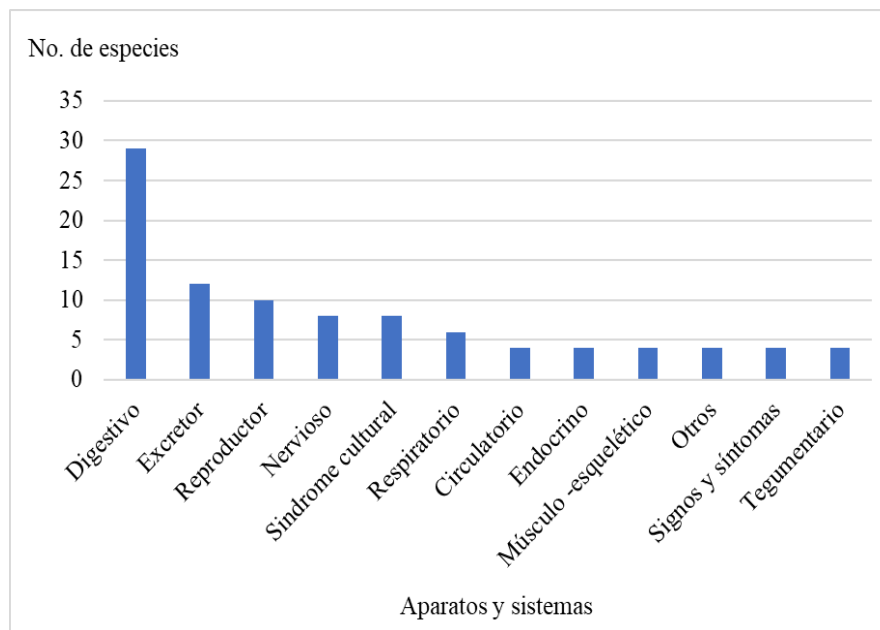


Fig. 3. Número de especies utilizadas por aparatos y sistemas del cuerpo humano.

Las partes u órganos de las plantas que más se comercializan son hojas, tallos y flores. También se venden cortezas, raíces, frutos, ramas, madera, cáscara del fruto y plantas enteras (Fig. 4). Es común que se venda la parte aérea de las especies, que pueden incluir tallo y hojas, o tallos, hojas y flores o ramas y hojas.

El Índice de Importancia Relativa (IIR) de las especies varía de 0.002 a 0.117, los valores más altos indican mayor presencia en el mercado.

A partir de la gráfica de IIR obtenida (Fig. 5) se pueden definir 4 grupos de plantas con base en los puntos de inflexión: 1 importancia muy alta, 2 importancia alta, 3 importancia media, 4 importancia baja.

El primer grupo incluye seis especies (manzanilla, té limón, árnica, romero, hierbamaestra y hierbabuena), todas cultivadas y todas, salvo el árnica, introducidas.

En el segundo grupo se encuentran 17 especies, de estas cinco son introducidas (santa María, albahaca, ruda, alcachofa, mercadela) y 12 nativas (cola de caballo, calanca, pericón, doradilla, cempasúchil, ocote, cancerina, clamera, alcipa, palo azul, flor de manita y salvareal), con seis especies cultivadas y 11 recolectadas.

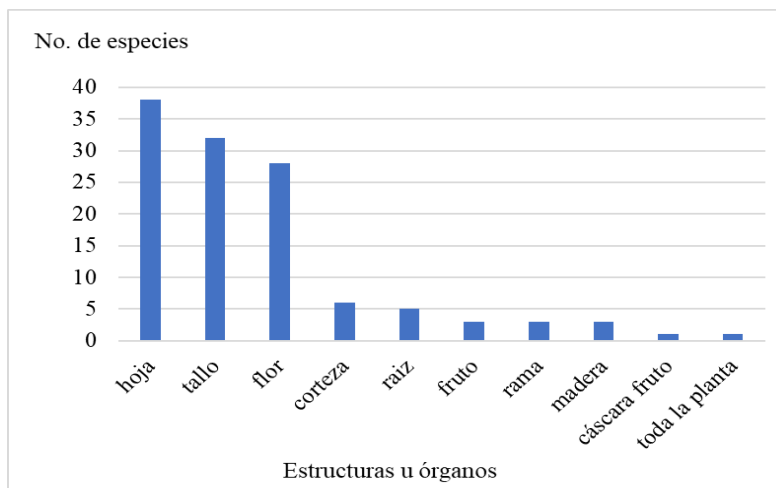


Fig. 4. Estructuras usadas de las plantas medicinales de Tepeaca, Puebla.

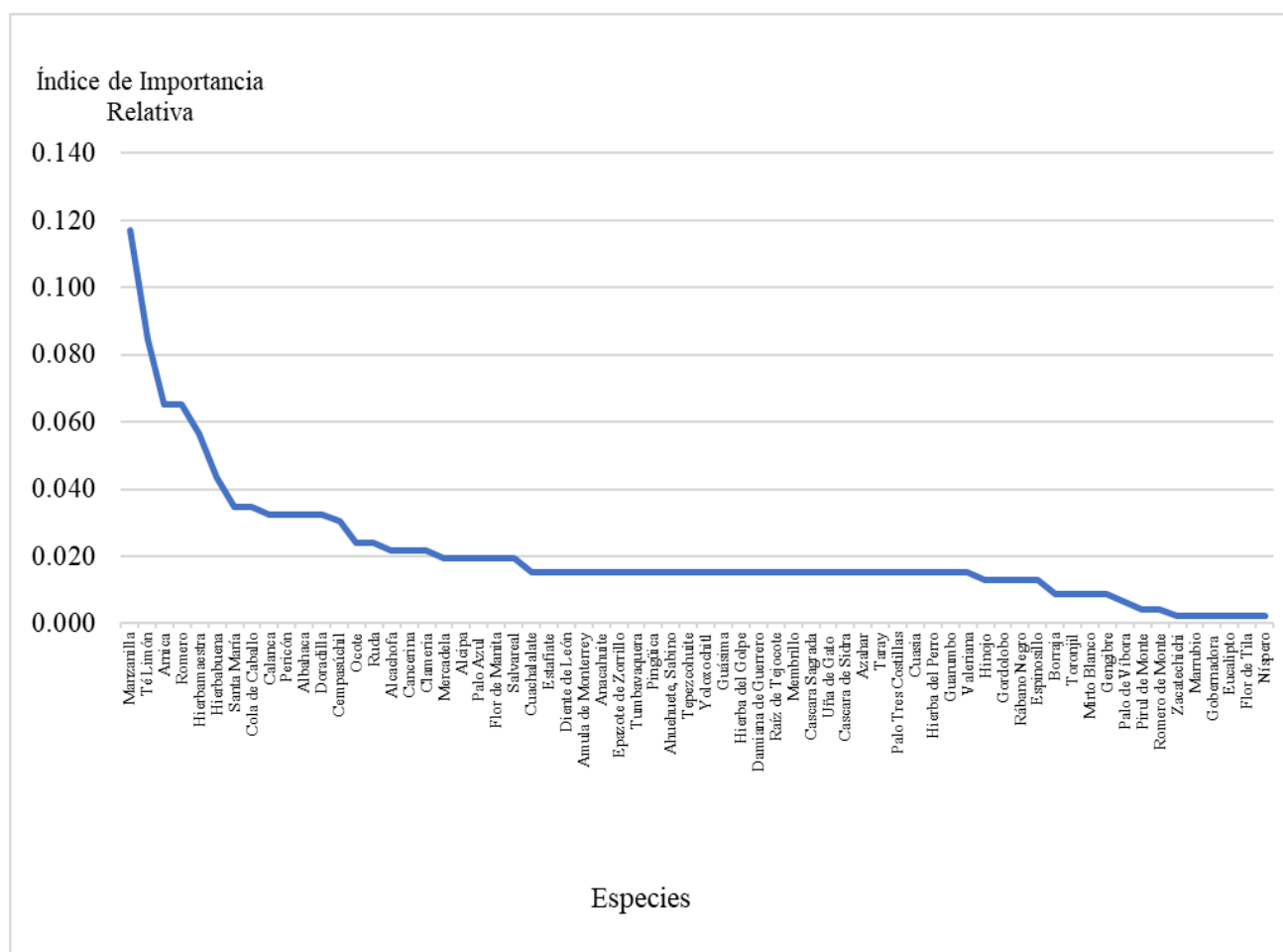


Fig. 5. Índice de importancia relativa de las especies medicinales de Tepeaca, Puebla.

El tercer grupo está conformado por 26 especies (Cuadro 1, Fig. 5). Todas con el mismo valor de IIR (0.015), con 21 especies nativas y cuatro introducidas, más la ‘uña de gato’ que no fue determinada. De las especies introducidas una está naturalizada (diente de león) y tres son cultivadas (membrillo, sidra y azahar); todas las especies nativas en este grupo son recolectadas. El cuarto grupo incluye 17 especies, ocho introducidas (cinco cultivadas y tres naturalizadas), de las nueve especies nativas, solo el toronjil es cultivado y ocho son recolectadas (Cuadro 1, Fig. 5).

DISCUSIÓN

El mercado de Tepeaca es un mercado tradicional o tianguis en el que se encontró un elevado número de especies de plantas medicinales (66), de géneros (60) y de familias (38) que son ofertadas en 16 puestos, mismos que equivalen a la cuarta parte de los puestos que se registraron en la sección de verduras y legumbres, lo que puede considerarse como un indicador de que la demanda de estas plantas es alta.

Esta demanda puede deberse a que el costo de las plantas medicinales es bajo, pero también existe un importante componente cultural, la población recurre a médicos tradicionales, generalmente conocidos como yerberos o yerberas, dado que les resuelven sus problemas de salud y en su propio contexto cultural, además de que muchas de los padecimientos o enfermedades que manifiesta la gente, no son atendidos por la medicina ‘oficial’ o alópata (Trotter & Chavira, 1981; Berenzon *et al.*, 2006).

Las familias con mayor número de especies medicinales fueron Asteraceae y Lamiaceae, que son dos de las familias con mayor número de especies en México (Ramamoorthy & Elliot, 1993; Villaseñor *et al.*, 2005; González *et al.*, 2020) y son también dos familias muy importantes en la flora medicinal del país (Aguilar *et al.*, 1994; Caballero y Cortés, 2001).

Del resto de las familias solo Rosaceae y Rutaceae están representadas por tres especies, las demás cuentan con una o dos especies, de tal suerte que la diversidad de familias y géneros resulta alta.

El número de familias géneros y especies en el tianguis de Tepeaca concuerda con lo reportado para otros tianguis del estado de Puebla, como Amozoc (Rodríguez, 2016) e Izúcar de Matamoros (Martínez *et al.*, 2016). Sin embargo, si se compara con el mercado Independencia de la Ciudad de Puebla, que es un mercado establecido y permanente, el número de especies es más reducido en Tepeaca, pues se reportan 193 especies en el mercado Independencia (Sosa, 2013) contra 66 del tianguis de Tepeaca. Algo similar ocurre con respecto al mercado de Acatlán, en donde el número de especies reportado es de 144 (Martínez *et al.*, 2016).

La diferencia en el número de plantas medicinales registradas en Tepeaca con respecto de Acatlán y de la ciudad de Puebla puede deberse al tipo de mercado y a la zona en la cual se encuentra ubicado. El mercado Independencia es un mercado permanente de una ciudad grande y que es abastecido de otras regiones del estado y del país. En el caso de Acatlán, que también funciona como un tianguis, la diferencia puede deberse al número de meses muestreados, en Acatlán se trabajó durante todo un año (Martínez *et al.*, 2016) en tanto que el presente estudio abarca solo siete meses y es de suponerse que, de complementarse el muestreo a un año, el número de especies registradas se incrementara.

Entre las características de la flora medicinal del tianguis de Tepeaca resaltan las siguientes: predominan las especies nativas sobre las introducidas en una proporción de casi dos a uno; la mayoría de las especies son de recolecta, incluidas algunas especies introducidas pero ya naturalizadas en el país, únicamente 20 especies son cultivadas, casi todas ellas introducidas con solo dos especies nativas, árnica y toronjil; los órganos y estructuras vegetales de mayor

uso son las partes aéreas como hojas, tallos y flores, seguidas de lejos por raíces y cortezas, lo que está en concordancia con lo que ocurre en otros tianguis y mercados del estado de Puebla (Sosa, 2013; Rodríguez, 2016; Martínez *et al.*, 2016).

La forma de preparación para todas las especies es en decocción, una además se macera en alcohol y otra es usada sin preparación, en 'ramos para limpias'. La mayoría se administra tomada, pero también en lavados, baños y de manera tópica o externa.

La mayoría de las especies que se comercializan son para tratar padecimientos de los aparatos digestivo (29 especies), excretor (12 especies) y reproductor (10 especies), lo que coincide con diversos trabajos sobre plantas medicinales en que se menciona a estos aparatos y sistemas como los más frecuentes para los cuales se recurre a la medicina tradicional (Tortoriello *et al.*, 1995; Martínez *et al.*, 2016). Berenzon *et al.* (2006) reportan que en la República Mexicana se recurre a los terapeutas tradicionales para curar fiebre, diarrea, problemas de piel, tos intensa, dolor de garganta, nervios, mal de ojo, susto, caída de mollera y empacho, así como enfermedades del riñón, males cardiacos, problemas respiratorios y estomacales, al igual que ocurre en Tepeaca.

Las seis especies con mayor IIR, y que pueden considerarse las de mayor importancia cultural, son todas cultivadas, lo que reafirma su importancia (Escobar, 2016), pero algo que llama la atención es que cinco son introducidas y solo una es nativa. Lo anterior puede ser debido a que dichas especies exóticas fueron introducidas de manera muy temprana luego de la invasión española al territorio que ahora es México y están, luego de más cinco siglos, plenamente incorporadas como recursos herbolarios de la medicina tradicional mexicana, son especies que se encuentran frecuentemente en huertos y traspatios, además de que su cultivo comercial es también frecuente.

Entre las 43 especies con importancia cultural alta y media predominan las plantas nativas y se obtienen principalmente mediante recolecta, solo el 21% de las especies en estos grupos son introducidas, todas ellas cultivadas, con solo una especie nativa, el cempasúchil, manejada como cultivo.

Las plantas con importancia cultural baja suman 17 especies, entre ellas 8 introducidas, de las cuales tres se encuentran naturalizadas en el territorio nacional y se obtienen mediante recolecta. Entre las especies de este grupo se encuentran algunas que provienen de zonas cálidas húmedas o templadas húmedas (palo de víbora, jengibre, flor de tila), es decir, que no son propias de la región de Tepeaca, así como el rábano negro, especie de reciente introducción y que además es la más costosa.

CONCLUSIONES

La presencia y persistencia de plantas medicinales en tianguis y mercados de Puebla y otras regiones del país se debe al arraigo que tiene la gente, en este caso los habitantes del municipio de Tepeaca y comunidades adyacentes para tratarse con plantas medicinales, esto se ve reflejado en el alto número de puestos que las ofertan y en el elevado número de especies usadas para atender sus padecimientos.

Las plantas medicinales son especies de importancia cultural para las poblaciones humanas y en el caso del tianguis de Tepeaca se encuentran cuatro grupos, delimitados por su índice de importancia relativa.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A., Camacho, J., Chino, S., Jacquez, P., y López, M.E. (1994). Herbario medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social. Información etnobotánica, IMSS, México.
- Argueta, V., A., y Cano, A.J. (1994). Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana. México: Instituto Nacional Indigenista.
- Argueta, A. (2016). El estudio etnobiológico de los tianguis y mercados en México. *Etnobiología*, 14(2), 38-46.
- Beltrán, L., Manzo, F., Maldonado, B., Martínez, A., y Blancas, J. (2017). Wild medicinal species traded in the Balsas Basin, Mexico: Risk analysis and recommendations for their conservation. *Journal of Ethnobiology*, 37(4), 743-764. doi.org/10.2993/0278-0771-37.4.743
- Berenzon, G., S., Ito, S., E., y Vargas, G., L.A. (2006). Enfermedades y padeceres por los que se recurre a terapeutas tradicionales de la Ciudad de México. *Salud Pública de Mexico*, 48(1), 45-56.
- Bye, R., & Linares, E. (1983). The role of plants found in the Mexican markets and their importance in ethnobotanical studies. *Journal of Ethnobiology*, 3(1), 1-13.
- Caballero, J., y Cortés, L. (2001). Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales de México. En: Rendon, B., Rebollar, S., Caballero, J. y Martínez, M.M. (Eds.). *Plantas, cultura y sociedad* (pp. 79-100). México: Universidad Autónoma Metropolitana, SEMARNAP.
- Cases, C., M.A. (2007). Las plantas aromáticas y medicinales. Descripción de las especies fundamentales. Principios activos. En: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) (Ed.). *Jornadas técnicas dedicadas a las plantas aromáticas y medicinales* (pp. 11-17). España, Brihuega: INIA. http://www.inia.es/gcontrec/pub/jornadas_tecnicas_pam_1169639892171.pdf
- Cook, S., y Diskin, M. (1990). Análisis e historia en la economía de mercado campesino del Valle de Oaxaca. En M. Diskin y S. Cook (Eds.). *Mercados de Oaxaca* (pp. 25-53). México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Instituto Nacional Indigenista.
- Escobar, F., T. (2016). *Importancia cultural y prácticas de manejo de las plantas asociadas a dos rituales Totonacos en la Sierra Norte de Puebla*. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana, México.
- Flora of North America. (2022). *Equisetum hyemale*. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=233500618
- Flores, P., A., & Valencia, D., S. (2007). Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. *Biological Conservation*, 136(3), 372-387. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.12.017>
- García, E.I. (2002). *Estudio etnobotánico en plantas medicinales que se venden en el mercado cinco de mayo en Puebla*. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Garibaldi, A., & Turner, N. (2004). Cultural keystone species: Implications for ecological conservation and restoration. *Ecology and Society*, 9 (3), 1. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art1>
- González J.G., Bedolla B.Y., Cornejo, G., Fernández, J.L., Fragoso, I., García-Peña, M.R., Harley, R.M., Klitgaard, B., Martínez-Gordillo, M., Wood, J.R., Zamudio, S., Zona, S., & Xifreda, C.C. (2020). Richness and distribution of *Salvia* subg. *Calosphace* (Lamiaceae). *Int. J. Plant Sci.* 181(8), 831–856.
- Grosso, J. (1989). El tianguis de Tepeaca a fines del siglo XVIII. Lecturas históricas de Puebla 27. Gobierno del Estado de Puebla. Secretaría de Cultura. Puebla, México.
- Hernández X., E., Vargas, A. Gómez, N., Montes, J., y Brauer, F. (1983). Consideraciones etnobotánicas de los mercados de México. *Revista de Geografía Agrícola*, 4, 13-28.
- Hersch, M., P. (1996). Destino común: los recolectores y su flora medicinal. El comercio de la flora medicinal silvestre desde el suroccidente poblano. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

- Hersch, M., P., y Fierro, A. (2001). El comercio de plantas medicinales: algunos rasgos significativos en el centro de México. En: Rendón, B. Rebollar, S. Caballero, J. y M.A. Martínez (Eds.). *Plantas, cultural y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI* (pp. 53-75). México: Universidad Autónoma Metropolitana y Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Linares, E., & Bye, R. (2011). La dinámica de un mercado periférico de plantas medicinales de México: el tianguis de Ozumba, Estado de México, como centro acopiador para el mercado de Sonora (Mercado central). En: Long, J. y Attolini, A. (coord.). *Caminos y mercados de México*. UNAM, INAH, México. <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/caminosymercados/mercados.html>
- Martínez, D. (2006). Métodos para la determinación de material botánico: tipo de claves. En J. Martínez, R.M. González y J.R. Dávila (Eds.). *Manual de métodos de recolecta de plantas y animales* (pp. 41-56). México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Martínez, M., D., Alvarado, F., R., Mendoza, C., M., y Basurto, P., F. (2006). Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 79-87. DOI: 10.17129/botsci.1735
- Martínez, D., Valdés, G., Basurto, F., Andrés, A.R., Rodríguez, T., y Figueroa, A. (2016). Plantas medicinales de los mercados de Izúcar de matamoros y Acatlán de Osorio, Puebla. *Polibotánica*, 41, 153-178. DOI: 10.18387/polibotanica.41.10
- Martínez, D., Reyes, J., López, A.L., y Basurto, F. (2021). Importancia relativa de frutos y verduras comercializadas en el mercado de Izúcar de Matamoros, Puebla, México. *Polibotánica*, 51, 229-248. DOI: 10.18387/polibotanica.51.15
- Méndez, S.A. (2009). *Plantas útiles del mercado de Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla, México*. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Moron, F. (2010). ¿Son importantes las plantas medicinales en la actualidad? *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 15(2), 1-2.
- POWO. (2022). *Plants of the world online*. Royal Botanic Gardens Kew. Disponible en: <https://powo.science.kew.org/>
- Ramamoorthy, T.P., & Elliott, M. (1993). Mexican Lamiaceae: diversity, distribution, endemism and evolution. In: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A., Fa, J. (Eds.). *Biological diversity of Mexico origins and distribution*. Oxford University Press, New York.
- Rodríguez, V., E. (2016). *Las plantas medicinales que se comercializan en el mercado de Amozoc de Mota, Puebla*. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Santillán, M.L. (2012). *El uso tradicional de las plantas medicinales, un aporte para la ciencia*. Ciencia UNAM, México. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/97/El_uso_tradicional_de_las_plantas_medicinales_un_aporte_para_la_ciencia
- SEMARNAT. (2021). *Plantas medicinales de México*. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/plantas-medicinales-de-mexico?>
- Solares, F., Vázquez, J., y Cortés, C. (2012). Canales de comercialización de la corteza de cuachalalate en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(12), 29-42. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63439000004>
- Sosa, M.R. (2013). *Comercialización, uso y obtención de plantas medicinales que se expendan en el mercado Independencia de la ciudad de Puebla, Puebla*. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Toledo, V.M. (1995). New paradigms for a new ethnobotany: reflections on the case of México. In R.E. Schultes & S.V. Reis (Eds.). *Ethnobotany evolution of a discipline* (pp. 75-88). Portland, Oregon: Dioscorides Press.
- Tortoriello, J., Meckes-Fischer, M., Villareal, M.L., Berlín, B., & Berlín, E. (1995). Spasmolytic activity of medicinal plants used to treat gastrointestinal and respiratory diseases in the Highland of Chiapas. *Phytomedicine*, 2(1), 57-66. DOI: 10.1016/S0944-7113(11)80050-4

Recibido:

11/octubre/2021

Aceptado:

17/mayo/2022

- Trotter, R.T., & Chavira, J.A. (1981). *Curanderismo: Mexican American folk health system*. Georgia: University of Georgia Press.
- Turner, N. (1988). The importance of a Rose: Evaluating the cultural significance of plants in Thompson Lilloet Interior Salish. *American Anthropologist*, 90 (2), 272-290.
- Vibrans, H. (2022). *Equisetaceae. Equisetum hyemale L.* Colegio de Postgraduados, México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/equisetaceae/equisetum-hyemale/fichas/ficha.htm>
- Villaseñor, J.L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor, J.L., Maceda, P., Colín, L., y Ortiz, E. (2005). Estimación de la riqueza de especies de Asteraceae mediante la extrapolación a partir de datos de presencia-ausencia. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76, 5-18. DOI: 10.17129/botsci.1700