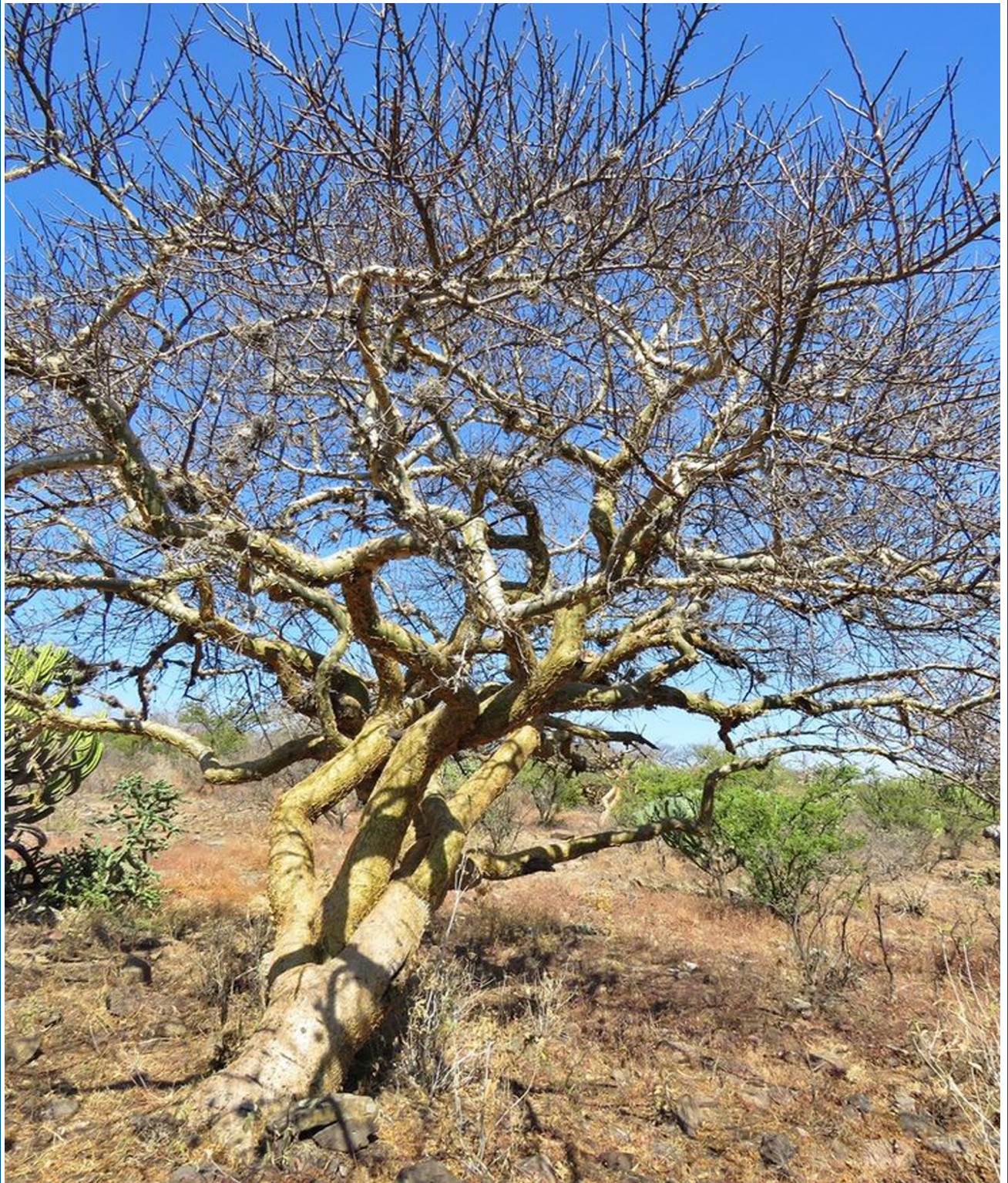


# POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768

ISSN 2395-9525



Núm. 60

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

Julio 2025

PÁG.

CONTENIDO

- 1 *Mammillaria scoria* (cactaceae) una nueva especie de Querétaro, México  
*Mammillaria scoria* (Cactaceae) a new species from Querétaro, México  
Pedro González-Zamora | David Aquino | Daniel Sánchez
- 15 Revisión del género *Karwinskia* (Rhamnaceae) en México  
Review of the *Karwinskia* genus (Rhamnaceae) in Mexico  
Rafael Fernández Nava | María de la Luz Arreguín Sánchez
- 39 Diversidad florística de las áreas verdes urbanas de Miahuatlán, una ciudad pequeña de Oaxaca, México  
Floristic diversity of the urban green areas of Miahuatlán, a small city from Oaxaca, Mexico  
Víctor Gutiérrez Pacheco | Deisy Coromoto Rebolledo López
- 61 Caracterización morfológica de especies del género *Hylocereus* (Cactaceae) en una unidad de cultivo localizada en Molcaxac, Puebla, México  
Morphological characterization of species of the genus *Hylocereus* (Cactaceae) in a cultivation unit located in Molcaxac, Puebla, Mexico  
Vianey del Rocío Torres Pelayo
- 79 Estandarización del proceso de diafanización vegetal en las especies: *Adiantum pedantum* L. (Pteridaceae), *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott (Nephrolepidaceae) y una Spermatophyta *Pyracantha koidzumii* Hayata Rehder Rosaceae  
Standardization of the plant diaphanization process; of *Adiantum pedantum* L. (Pteridaceae), *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott (Nephrolepidaceae) and one Spermatophyta *Pyracantha koidzumii* Hayata Rehder (Rosaceae)  
Ruth Concepción Márquez Juárez | Arantxa Chowell-López | Diego Martínez Mata | Gabriela Sánchez Fabila Sánchez Fabila | Roberto Moreno Colín | Pilar Amellali Badillo-Suárez | Irma Estrella Beatriz Manuell Cacheux | Rogelio Monterrubio Valdivia
- 91 Análisis de la estructura de un bosque en una región del suroeste del estado de Durango  
Analysis of the structure of a forest in a southwestern region of the state of Durango  
Manuel Antonio Díaz-Vásquez | Pedro Antonio Domínguez-Calleros | Norberto Domínguez-Amaya | Héctor Manuel Loera-Gallegos | Jesús Alejandro Soto-Cervantes
- 107 Estructura y diversidad arbórea de una selva mediana perennifolia en el complejo ecoturístico Agua Selva, Tabasco, México  
Tree structure and diversity of a medium evergreen forest in the Agua Selva ecotourism complex, Tabasco, Mexico  
Manuel Pérez de la Cruz | Josué García León | José del Carmén Gerónimo Torres | Facundo Sánchez Gutiérrez | Miguel Alberto Magaña Alejandro | Aracely de la Cruz Pérez
- 123 Diversidad del sotobosque; un atributo de evaluación en reforestaciones utilizadas como estrategias de restauración forestal  
Understory diversity; an evaluation attribute in reforestations used as a forest restoration strategy  
Isidoro Herrera Ávila | Francisca Ofelia Plascencia Escalante | Marfín Pérez Suárez | Patricia Hernández De La Rosa | Gregorio Ángeles Pérez
- 141 Estructura y diversidad arbórea bajo dos esquemas de manejo forestal e influencia de la orientación geográfica en un bosque de Durango, México  
Tree structure and diversity under two forest management schemes and the influence of geographic orientation in a forest in Durango, Mexico  
José de Jesús Graciano Luna | Eduardo Alanís Rodríguez | Oscar Aguirre Calderón | César Martín Cantú Ayala | José Yerena Yamalle | Cristian Martínez Adriano | José Luján Soto
- 163 Reserva de carbono orgánico y nitrógeno en Luvisol bajo diferentes usos de suelo en Oaxaca, México  
Organic carbon and nitrogen reserve in Luvisol under different land uses in Oaxaca, México  
Celestino Sandoval García | Israel Cantú Silva
- 177 Estimación de carbono a nivel árbol individual en bosque natural mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT)  
Carbon estimation at individual tree level in natural forest using unmanned aerial vehicles (UAV)  
Jaime Briseño Reyes | Susana Isabel Hinojosa-Espinoza | José Javier Corral-Rivas | Jesús Aguirre-Gutiérrez | Daniel José Vega-Nieva | Héctor Manuel De los Santos Posadas
- 199 Variación morfométrica y espacial urbana de tres especies arbóreas en función del ancho de camellón en calles de la ciudad de San Luis Potosí, México  
Morphometric and urban spatial variation of three tree species in relation to street median width in the city of San Luis Potosí México  
Andrea Candia Lomelí | Carlos Renato Ramos Palacios | Jonathan Hammurabi González Lugo | Fredy Alexander Alvarado Roberto
- 229 Descripción inicial de la fenología de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. árbol endémico de la Sierra Madre Occidental  
Initial description of the phenology of *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. endemic tree of the Sierra Madre Occidental  
Rosa Elvira Madrid Aispuro | José Ángel Prieto Ruiz | Arnulfo Aldrete | Silvia Salcido Ruiz | Eduardo Daniel Vivar Vivar | Laura Elena Martínez Nevárez
- 245 Registro polínico en miel de *Apis mellifera* L. de dos localidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México  
Pollen record on honeybee honey of *Apis mellifera* L. of Sierra of Manantlan Biosphere Reserve, Jalisco, México  
Xochilt Morales Najarro | Iris Grisel Galván Escobedo | Monserrat Vázquez Sánchez | Montserrat Medina Acosta

PÁG.

CONTENIDO

- 263 Efecto de complejos orgánicos en la micropropagación de *Phalaenopsis* var. Dudu  
Effect of organic complexes on micropropagation of *Phalaenopsis* var. Dudu  
Amaury Arzate Fernández | Sandra Martínez Martínez | Tomás Norman Mondragón | María Mariezcurrena Berazain | Arely Piña Sampedreño
- 273 Evaluación de las respuestas de tres variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculadas con bacterias cuando se cultivan en condiciones de estrés por aguas residuales y sulfato de cobre.  
Evaluation of the responses of three tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with bacteria when grown under stress conditions due to wastewater and copper sulfate  
Abdul Khalil Gardezi | Leticia Manuela Inzunza Medina | Guillermo Carrillo Castañeda | Hector Manuel Ortega Escobar | oscar raul mancilla villa | Juan Enrique Rubiños Panta | Jorge flores Velazquez | Mora Meraz Maldonado | Sergio Roberto Marquez Berber | Hector Flores Magdaleno | Gabriel Haro Aguilar
- 291 Especies de *Meloidogyne* asociadas a cultivos hortícolas en el Valle de Tepeaca, Puebla, México  
Perineal patterns and isozyme phenotypes for the identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in vegetables from the Tepeaca Valley, Puebla, Mexico  
María Gabriela Medina Canales | Ana Karen Alquicira Jimenez | Norma García Aguilar | Iliá Mariana Escobar Ávila | Alejandro Tovar Soto
- 307 Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en el estado nutrimental del nopal-verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill variedad Milpa Alta  
Effect of soil physical and chemical properties on the nutritional status of nopal-vegetable (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill variety Milpa Alta  
Bertha Patricia Zamora Morales | Aurelio Báez Pérez | Leticia Bonilla-Valencia | Jorge Artemio Zegbe Domínguez | Marisela Cristina Zamora Martínez | Abel Quevedo-Nolasco
- 325 Evaluación fitoquímica de extractos de la resina de *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl.  
Phytochemical evaluation of resin extracts of *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl.  
Luis Antonio Flores-Hernández | Fanny Imelda Pastenes-Felizola | Fanny Imelda Pastenes-Felizola | Jose Luis Díaz-Núñez | Pablo Noé Núñez-Aragón
- 337 Callogénesis y análisis fitoquímico de *Euphorbia nutans* Lag.  
Calllogenesis and phytochemical analysis of *Euphorbia nutans* Lag.  
Daniel Aguilar Jiménez | Benito Reyes Trejo | José Luis Rodríguez De la O | Juan Martínez Solís
- 355 Evaluación de dos métodos de desinfección de sustratos para la producción de *Pleurotus ostreatus*  
Evaluation of two substrate disinfection methods for the production of *Pleurotus ostreatus*  
Rosa Elena Hernández Hernández | Veronica Rosales Martinez | Carolina Flota Bañuelos | Mónica Leticia Osnaya González | Porfirio Morales Almora
- 367 Conservación genómica de dos especies del orden Asparagales con cariotipo bimodal, empleando hibridación genómica *in situ* (GISH)  
Genomic conservation of two species of the order Asparagales with bimodal karyotype, using genomic *in situ* hybridization (GISH)  
María José García Castillo | Luis Carlos Rodríguez Zapata | Lorenzo Felipe Sanchez Teyer
- 381 Prácticas de manejo para la producción de (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) en productores del Municipio de Pungarabato, Guerrero, México  
Management practices for the production of (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) in producers of the Municipality of Pungarabato, Guerrero, Mexico  
Jaime Olivares | Santos Rodríguez Mejía | Saúl Rojas Hernández | Teolincacihualt Romero Rosales | Miguel Ángel Damian Valdéz | Vania Jiménez Lobato | Lucero Sarabia Salgado
- 395 Manejo del ramón *Brosimum alicastrum* Sw. en huertos familiares de Tzucacab, Yucatán, México  
Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) management in home gardens of Tzucacab, Yucatán, México  
Rosalba Esther Mex Mex | Juan José Jiménez Osornio | Patricia Irene Montañez-Escalante | Héctor Estrada Medina | Guadalupe del Carmen Reyes Solis
- 411 Rescate y conservación del conocimiento tradicional sobre plantas medicinales en la sierra de Taxco, Guerrero, México: El caso del Toronjil (*Agastache mexicana* subsp. *mexicana*)  
Rescue and conservation of traditional knowledge on medicinal plants in the Sierra de Taxco, Guerrero, Mexico: The case of Toronjil (*Agastache mexicana* subsp. *mexicana*)  
Judith Morales Barrera | Blas Cruz-Lagunas | Miguel Angel Gruintal-Santos | Mirna Vázquez-Villamar | Teolincacihualt Romero-Rosales | Saúl Rojas-Hernández | Tania de Jesús Adame Zambrano
- 441 Etnobotánica de los chiles silvestres en dos comunidades ch'oles de Tacotalpa, Tabasco, México  
Ethnobotany of wild chili peppers in two ch'ol communities of Tacotalpa, Tabasco, Mexico  
Guadalupe Morales Valenzuela | María Isabel Villegas Ramírez
- 459 Caracterización sensorial para la diferenciación de mezcal ancestral de dos zonas productoras de Oaxaca, México  
Sensory characterization for the differentiation of ancestral mezcal from two producing areas of Oaxaca, Mexico  
Susana Yareth López García | Anastacio Espejel García | Arturo Hernández Montes | Landy Hernández Rodríguez | Ariadna Isabel Barrera Rodríguez

# REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## EDITOR EN JEFE

*Rafael Fernández Nava*

## EDITORA ASOCIADA

*María de la Luz Arreguín Sánchez*

## COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

*Christiane Anderson*  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan, US

*Delia Fernández González*  
Universidad de León  
León, España

*Heike Vibrans*  
Colegio de Postgraduados  
Estado de México, México

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

*Hugo Cota Sánchez*  
University of Saskatchewan  
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

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

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

*Claude Sastre*  
Muséum National d'Histoire Naturelle  
Paris, Francia

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

*Mauricio Velayos Rodríguez*  
Real Jardín Botánico  
Madrid, España

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

*Noemi Waksman de Torres*  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Monterrey, NL, México

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

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

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

*Tom Wendt*  
University of Texas  
Austin, Texas, US

*José Manuel Rico Ordaz*  
Universidad de Oviedo  
Oviedo, España

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

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

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

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

## DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

*Luz Elena Tejeda Hernández*

## OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Pedro Aráoz Palomino*

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

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

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

e) CONCLUSIONES.

#### ESPECIFICACIONES DE FORMATO PARA EL CUERPO DEL TRABAJO

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

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

## ESTRUCTURA Y FORMATO DE LOS AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

## 9. REVISIÓN Y PUBLICACIÓN

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

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

## PUBLICATION GUIDELINES

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

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

### FOR PUBLICATION OF ARTICLES

Originals that comply with the following requirements will be accepted:

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

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

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

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

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

a) in jpg format

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

c) all characters must be legible and contrasted

6. All articles must include:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## FORMAT SPECIFICATIONS FOR THE BODY OF WORK

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

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

## STRUCTURE AND FORMAT OF ACKNOWLEDGMENTS AND BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

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

## 9. REVIEW AND PUBLICATION

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

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

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

**Dr. Rafael Fernández Nava**  
Editor en Jefe de

## POLIBOTÁNICA

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

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

Dirección Web  
*http://www.polibotanica.mx*

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

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

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

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

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.





**Polibotánica**

ISSN electrónico: 2395-9525

[polibotanica@gmail.com](mailto:polibotanica@gmail.com)

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

# **DIVERSIDAD DEL SOTOBOSQUE: UN ATRIBUTO DE EVALUACIÓN EN LAS ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FORESTAL**

## **UNDERSTORY DIVERSITY: AN ASSESSMENT ATTRIBUTE IN FOREST RESTORATION STRATEGIES**

**Herrera Ávila, I., F.O. Plascencia Escalante, M. Pérez Suárez, P. Hernández de la Rosa,  
G. Ángeles Pérez**

DIVERSIDAD DEL SOTOBOSQUE: UN ATRIBUTO DE EVALUACIÓN EN LAS  
ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN FORESTAL

UNDERSTORY DIVERSITY: AN ASSESSMENT ATTRIBUTE IN FOREST  
RESTORATION STRATEGIES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 123-139 México. Julio 2025

DOI: 10.18387/polibotanica.60.8



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/)).

**Diversidad del sotobosque: un atributo de evaluación en las estrategias de restauración forestal****Understory diversity: an assessment attribute in forest restoration strategies**

Herrera Ávila, I.,  
F.O. Plascencia Escalante,  
M. Pérez Suárez,  
P. Hernández de la Rosa,  
G. Angeles Pérez

DIVERSIDAD DEL  
SOTOBOSQUE: UN  
ATRIBUTO DE  
EVALUACIÓN EN LAS  
ESTRATEGIAS DE  
RESTAURACIÓN  
FORESTAL

UNDERSTORY DIVERSITY:  
AN ASSESSMENT  
ATTRIBUTE IN FOREST  
RESTORATION  
STRATEGIES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 123-139. Julio 2025

DOI:  
10.18387/polibotanica.60.8

**Isidoro Herrera-Ávila** <https://orcid.org/0009-0007-0746-5053>

Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados.  
Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México 56234

**Francisca Ofelia Plascencia-Escalante** / [fplascen@colpos.mx](mailto:fplascen@colpos.mx) 

<https://orcid.org/0000-0002-9475-5716>

Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados  
Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México 56234

**Marlín Pérez-Suárez** <https://orcid.org/0000-0002-7969-0061>

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del  
Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo Piedras  
Blancas, Toluca, Estado de México, 50295

**Patricia Hernández-de la Rosa** <https://orcid.org/0000-0001-8577-1127>

**Gregorio Ángeles Pérez** <https://orcid.org/0000-0002-9550-2825>

Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados  
Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México 56234

**RESUMEN** La diversidad y abundancia de las especies presentes en el sotobosque son atributos de un ecosistema que ayudan a conocer la integridad, y por tanto la eficiencia de las reforestaciones que son empleadas como estrategia de restauración ecológica. El objetivo fue evaluar la diversidad vegetal del sotobosque en una zona degradada (ZD), dos zonas reforestadas con *Pinus montezumae* Lamb. de 5 y 9 años de edad (ZR5, ZR9) y un bosque de referencia (BR, remanente de bosque natural con cierto grado de perturbación). En sitios circulares, de 100 m<sup>2</sup> y 1 m<sup>2</sup> dentro de cada zona, se recolectaron e identificaron las especies presentes en el sotobosque y se estimó la diversidad alfa (índices de diversidad de Margalef, Simpson y equidad) y beta (índice de similitud de Jacard), y se calculó el índice de valor de importancia relativa (IVIR). El mayor índice de riqueza y diversidad alfa se registró en ZR5 (4.26 y 0.90 respectivamente) y, esta presentó un 64% de especies compartidas con ZR9. El BR presentó un valor máximo de IVIR de 14.40, representado por *Piptochaetium virescens* (Kunth) Parod) y en las ZD, ZR5 y ZR9 por *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc. obtuvo los valores mayores (13.34, 7.68 y 21.39, respectivamente). El estudio mostró que la composición y riqueza de especies del sotobosque está influenciado por la edad de las reforestaciones. Se evidenciaron algunas diferencias entre las zonas bajo estudio, que reestablecen la cubierta vegetal del sotobosque e inician la recuperación de las zonas degradadas.

**Palabras clave:** *Pinus montezumae* Lamb., riqueza, diversidad alfa y beta, sotobosque.

**ABSTRACT:** The species diversity and abundance present in the understory are ecosystem attributes that allow to understand its integrity and, therefore, the efficiency of reforestation strategies used as an ecological restoration strategy. The objective was to evaluate the plant diversity of the understory in a degraded area (ZD), two areas reforested with *Pinus montezumae* Lamb., 5 and 9 years old (ZD5, ZD9), and a reference forest (BR, a remnant of natural forest with some degree of disturbance). In circular plots of 100 m<sup>2</sup> and 1 m<sup>2</sup> within each area, the species present in the understory were collected and identified, and alpha diversity

(Margalef, Simpson, and evenness diversity indices) and beta diversity (Jacard similarity index) were estimated, and the relative importance value index (IVIR) was calculated. The highest species richness index and alpha diversity were recorded in ZR5 (4.26 and 0.90, respectively) and, the latter shared 64% of species with ZR9. The BR showed a maximum IVIR value of 14.4, represented by *Piptochaetium virescens* (Kunth) Parod., and in ZD, ZR5 and ZR9 by *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc. obtained the highest values (13.34, 7.68, and 21.39, respectively).

The study showed that the composition and species richness of the understory are influenced by the age of reforestation. Some differences were evident between the study areas, which reestablished the understory vegetation cover and initiated the recovery of degraded areas.

**Key words:** *Pinus montezumae* Lamb., richness, alpha and beta diversity, understory.

## INTRODUCCIÓN

La restauración de los ecosistemas se ha convertido en una necesidad fundamental para los retos ambientales y socio económicos que enfrentan los ecosistemas a nivel mundial (Fremout *et al.*, 2022) debido a que una de las principales metas de la restauración es que las acciones implementadas lleven al incremento o recuperación de las funciones y servicios de estos (Derhé *et al.*, 2016; Bhutia *et al.*, 2019; Staples *et al.*, 2020). La restauración tiene impactos positivos en la biodiversidad (Huang *et al.*, 2019; Mestre *et al.*, 2017) y, por tanto, en el suministro de servicios ecosistémicos (Huang *et al.*, 2019; Deng *et al.*, 2023), ya que el número e identidad de las especies presentes influyen en una o varias de las funciones del ecosistema, como la producción y descomposición de hojarasca, almacén de carbono, retención de humedad, entre otros (Ma *et al.*, 2024; Ou *et al.*, 2020).

El sotobosque es un componente vital en los ecosistemas forestales (Su *et al.*, 2021) debido a que es un estrato de vegetación distinguible de un estrato superior -generalmente compuesto de árboles. En el sotobosque se encuentran plántulas de especies arbóreas con alturas menores a 1.5 m, además de arbustos, herbáceas líquenes y briofitas (hepáticas, antoceros y musgos), rosetas y trepadoras, entre otras. Por tanto, el sotobosque contribuye significativamente a la complejidad, estructura y función de los ecosistemas forestales restaurados (Balandier *et al.*, 2022; Deng *et al.*, 2023; Landuyt *et al.*, 2019; Mejía-Canales *et al.*, 2018). No obstante, dicha influencia requiere de un proceso de cambio continuo, de tal manera que conforme se incrementa el tiempo de la restauración, la composición y estructura vegetal cambia (Rodríguez-Calcerrada *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2024). De acuerdo con Ma *et al.* (2024) la diversidad de arbustos y herbáceas en bosques secundarios es significativamente afectada por la edad de la restauración (1, 10, 30, 60 y 90 años), donde las áreas de 10 y 90 años se registraron los mayores valores, lo cual está asociado a diversos factores tanto bióticos como abióticos de los sitios.

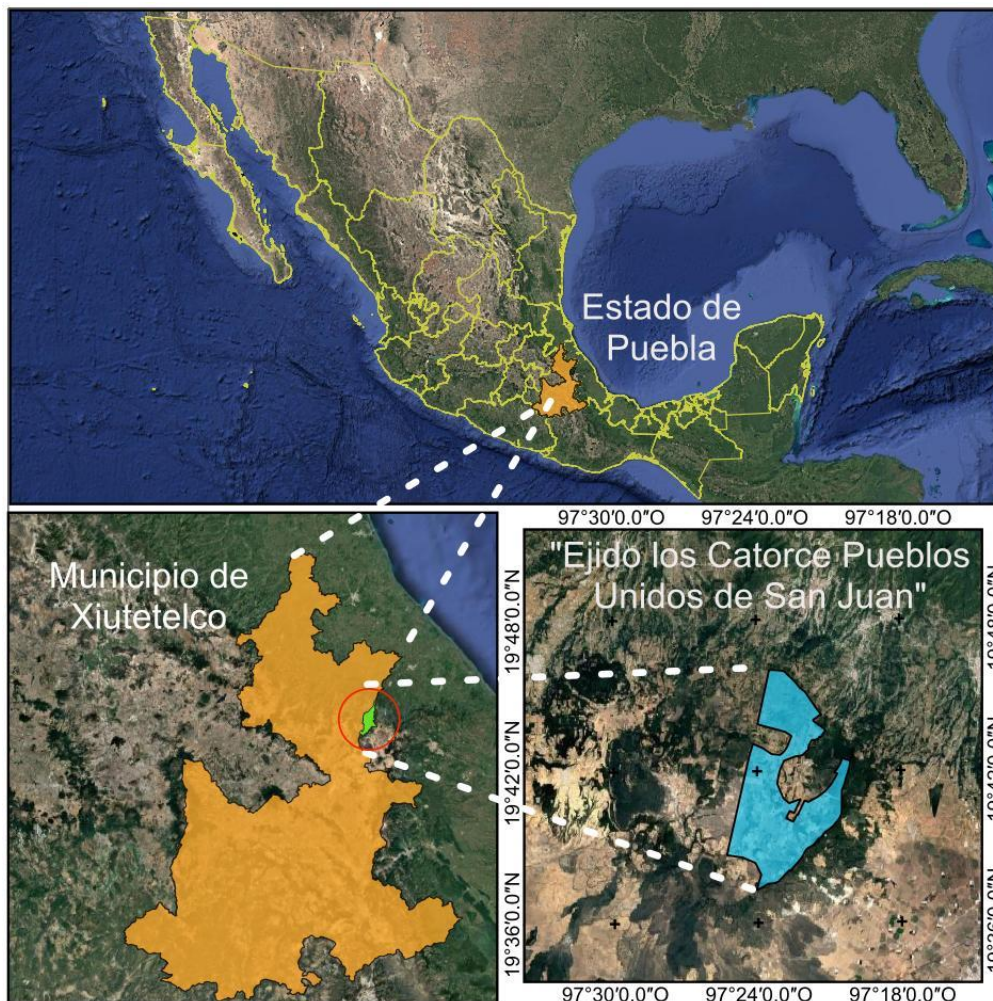
De acuerdo con la Sociedad de Restauración Ecológica (Gann *et al.*, 2016) existen atributos que deben tomarse en consideración para determinar si un sitio restaurado contiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin la intervención del hombre. Entre dichos atributos se encuentran: 1. estructura: donde se observen las diferentes edades, especies, tamaño de los individuos que forman una la comunidad, bosque o ecosistema; 2. presencia de especies nativas hasta donde sea posible; 3. presencia de grupos funcionales; y 4. presencia de poblaciones con capacidad reproductiva. Estos atributos pueden ser evaluados en cualquier ecosistema, mediante tres características principales: 1. estructura 2. diversidad (taxonómica y funcional) y 3. procesos ecológicos (Ruiz-Jaén & Aide, 2005). Aunado a lo anterior, se encuentra el uso de un ecosistema o bosque de referencia con el que se puedan comparar los atributos de la zona restaurada que se está evaluando (Gann *et al.*, 2016). Bajo este contexto, la diversidad del sotobosque ha sido utilizada como un indicador de la integridad de los ecosistemas (Zhang *et al.*, 2021), por lo que las metas en los trabajos de restauración deben incluir también la restauración de las especies del sotobosque, particularmente con especies nativas (Chen *et al.*, 2018).

En México como en otros lugares del mundo, una de las prácticas ampliamente utilizadas para la recuperación de los ecosistemas forestales han sido las reforestaciones (Derhé *et al.*, 2016) las cuales tratan de acelerar los procesos de sucesión natural a través de la modificación

del microclima, además de otros beneficios. Lo anterior ha resultado en el reconocimiento de la importancia de las reforestaciones en la recuperación de zonas deforestadas y degradadas, por lo que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) llevó a cabo la restauración forestal a gran escala mediante la operación del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) durante el periodo 2013-2018 (Méndez-Toribio *et al.*, 2018). Sin embargo, la gran mayoría de las investigaciones han estado enfocadas a evaluar el “éxito” de las reforestaciones de las especies arbóreas, mientras que la dinámica de las comunidades vegetales del sotobosque ha recibido muy poca atención (Duan *et al.*, 2019; Deng *et al.*, 2013). En México las reforestaciones se han considerado exitosas por el hecho de presentar una alta supervivencia de las especies plantadas. Sin embargo, la información es insuficiente cuando se pretende considerar que un ecosistema ha recuperado sus procesos y funciones, dado que es importante considerar la composición, riqueza, abundancia y diversidad, entre otros parámetros de las especies presentes en el sotobosque de los ecosistemas restaurados. Por tanto, la hipótesis de este trabajo fue que, a mayor edad de la reforestación, esta presentará menor diversidad vegetal en el sotobosque, dado que se asemejaría cada vez más a un Bosque de Referencia (BR). Para probar lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar la riqueza, la diversidad, y composición de especies del sotobosque (arbustos y herbáceas) en dos zonas reforestadas con *Pinus montezumae* Lamb. de diferentes edades, una zona sin reforestar referida posteriormente como zona degradada y un bosque de referencia en el noreste del estado de Puebla. Lo anterior, bajo la expectativa de que este trabajo sirva para demostrar la importancia de considerar al sotobosque en los programas, evaluaciones e iniciativas de recuperación de áreas degradadas y deforestadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, municipio de Xiutetelco, al noreste del estado de Puebla (19°38'19.40" N -97°24'8.71" O y 19°45'12.72" N -97°22'3.77" O) (INEGI, 2021), con una elevación entre 2,500 y 3,000 m (Figura 1).

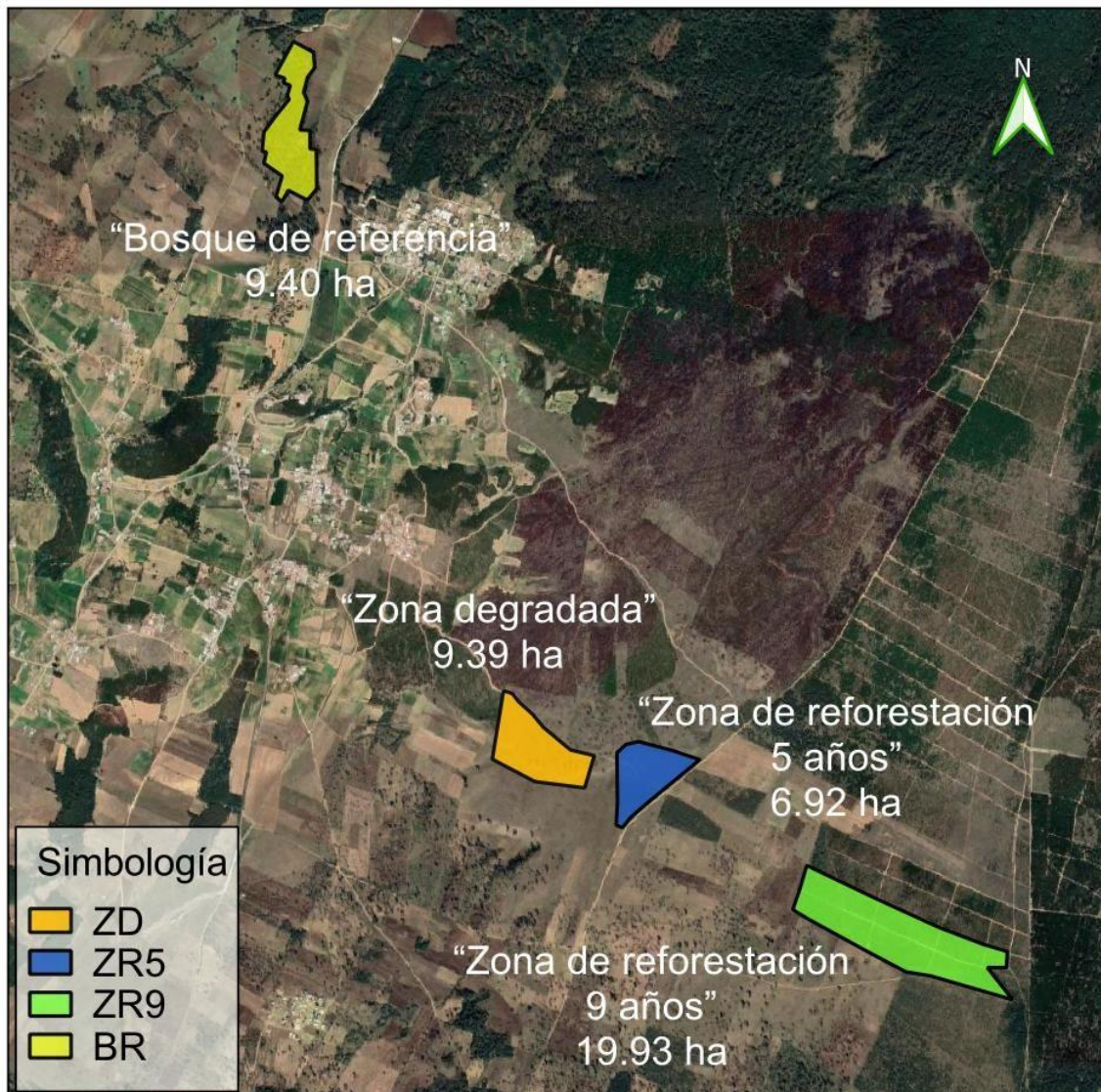


**Figura 1.** Ubicación geográfica del ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.  
**Figure 1.** Geographical location of the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

El clima predominante es templado-subhúmedo, la temperatura media anual entre 12-18 °C y la precipitación promedio de 650-850 mm por año (García, 2004). Los suelos dominantes son Regosol éutrico y Andosol ócrico (INEGI, 2020). La vegetación original predominante es bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, como *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl., *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. y *Alnus jorullensis* Kunth.

También existen diversas zonas de transición de matorral xerófilo, con diversas especies de pastos y especies arbóreas de bajo porte, típicas de clima semiárido (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2023).

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionaron cuatro zonas con condiciones abióticas y fisiográficas similares (exposición, pendiente y altitud). Dos zonas reforestadas con *P. montezumae* de 5 y 9 años (ZR5 y ZR9), un bosque de referencia de *P. montezumae* Lamb. y *P. teocote* Schiede ex Schltdl. (BR), área arbolada (remanente del bosque natural con cierto grado de perturbación) y una zona degradada (ZD), considerada como el testigo (t0), previa a la reforestación (Figura 2).



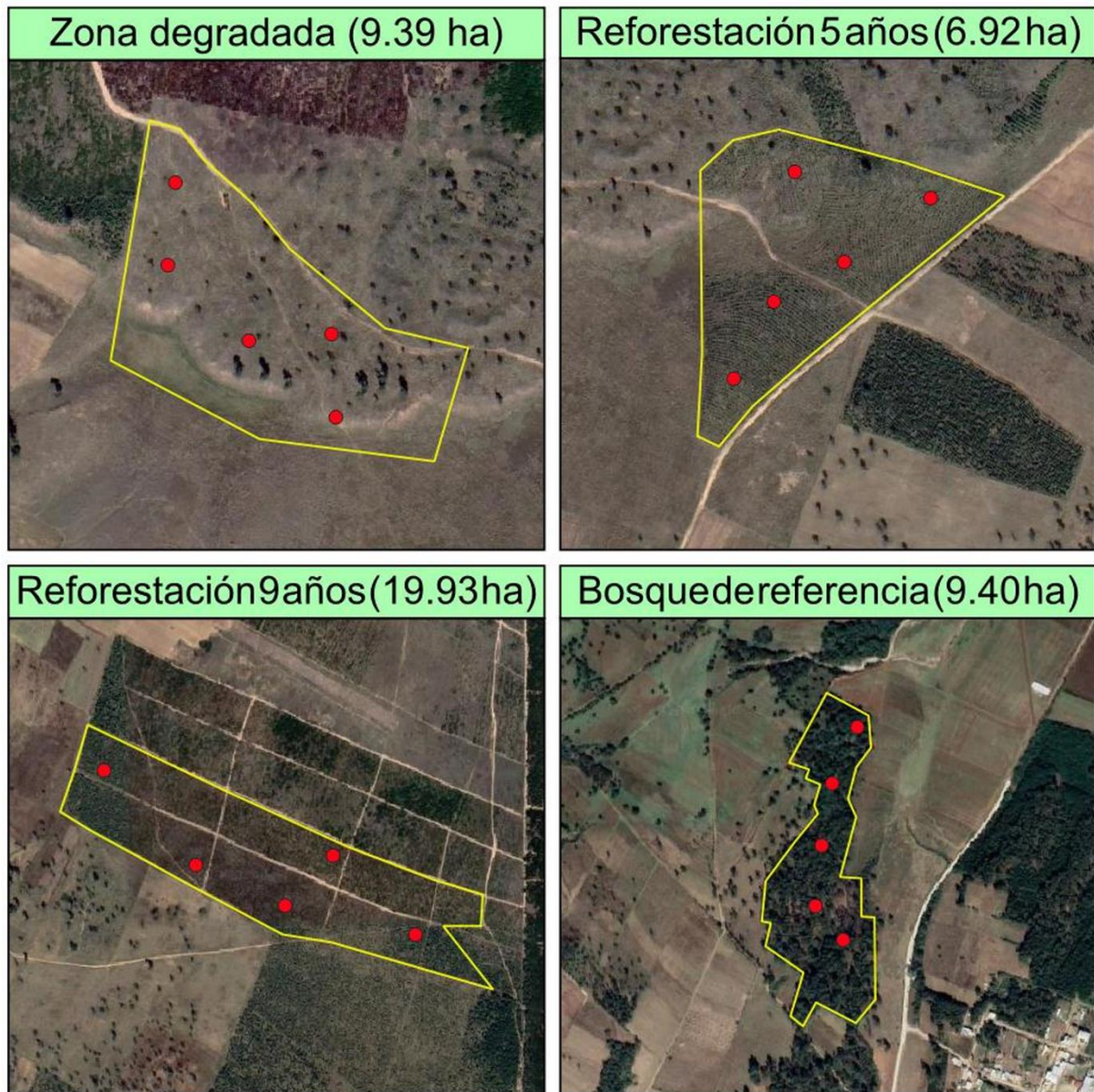
**Figura 2.** Ubicación de las cuatro zonas de estudio en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla: degradada (ZD), dos reforestaciones con *Pinus montezumae* (ZR5 y ZR9) y un bosque de referencia (BR).

**Figure 2.** Location of the four study areas in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla: degraded (ZD), two reforestations with *Pinus montezumae* (ZR5 and ZR9) and a reference forest (BR).

#### Diversidad del sotobosque

Mediante un muestreo aleatorio se seleccionaron cinco sitios circulares de 100 m<sup>2</sup> por zona (Figura 3) utilizando una malla de puntos (cada 100 m). Dentro de los sitios de 100 m<sup>2</sup> se establecieron cuatro sub-sitios de 1 m<sup>2</sup>, con la finalidad de evaluar las especies herbáceas del sotobosque.





**Figura 3.** Distribución de los sitios de muestreo dentro de las zonas de estudio; zona degradada (ZD), dos reforestaciones con *Pinus montezumae* de 5 y 9 años (ZR5 y ZR9) y un bosque de referencia (BR), en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

**Figure 3.** Distribution of sampling sites within study areas; degraded zone (ZD), two reforestations with *Pinus montezumae* of 5 and 9 years old (ZR5 and ZR9) and a reference forest (BR), in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

En los sitios de 100 m<sup>2</sup> se identificaron *in situ* las especies arbustivas (plantas con crecimiento secundario leñoso y sin una definición del tallo principal) y se registró el número de individuos por especie (densidad) y diámetro de copa (cm), a partir de la cual se calculó la superficie de la copa (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008) para posteriormente transformarla en cobertura. En los cuatro subsitios de un m<sup>2</sup>, se estimó la cobertura (%) de cada una de las especies herbáceas. Las especies no reconocidas en campo fueron llevadas al herbario

(CHAP) de la División de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma Chapingo para su identificación.

Por otra parte, se generaron curvas área-especie utilizando el software EstimateS 9.1 (Moreno, 2001; Magurran, 2004; Ventura-Ríos *et al.*, 2017), para determinar la intensidad de muestreo del área total del estudio. Lo anterior indicó que en el área muestreada se capturó el 70% de la riqueza total del área de estudio. La diversidad alfa se determinó como el número de especies (riqueza total) dentro de cada zona estudiada, además de determinar la diversidad utilizando los índices de Margalef, de Simpson y el de equidad (Moreno, 2021).

Para determinar la diversidad beta ( $\beta$ ; es decir la similitud florística entre las zonas de estudio), se utilizó el índice de Jaccard (Moreno, 2001; Koleff, 2005). Este se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

$I_j$  = Índice de semejanza florística de Jaccard

$a$  = Número de especies que se encuentran en la comunidad a

$b$  = Número de especies que se encuentran en la comunidad b

$c$  = Número de especies presentes en ambas comunidades a y b

El Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) se calculó para las especies del sotobosque (herbáceas y arbustivas) a partir de la dominancia (cobertura) y frecuencia relativa (Mostacedo & Fredericksen, 2000)(Alday *et al.*, 2012).

$$IVIR = \frac{\text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}}{2} * 100$$

Donde:

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

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

La *frecuencia relativa* se estimó de la siguiente manera:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Núm. de sitios donde se presenta la especie}}{\text{Número total de sitios muestreados}}$$

Donde:

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

### Análisis estadístico

Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de estudio en las variables de la diversidad vegetal, se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Dado que en todos los casos se cumplió con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, con un nivel de confianza del 95%, seguido de una prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), utilizando el software R en la plataforma R Studio (The R Core Team, 2022).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Riqueza y composición vegetal.

La riqueza específica total en el área muestreada arrojó 41 especies en el sotobosque entre arbustos y herbáceas, las cuales se distribuyeron en 17 familias. El 80% de las especies encontradas (33) fueron nativas y un 20% (8) exóticas (CONABIO, 2023) (Apéndice 1). Respecto a la riqueza total dentro de las zonas de estudio, se presentó el siguiente orden decreciente: ZR5>ZD>ZR9>BR (Tabla 1). No obstante, entre ZR5 y ZD la riqueza total no fue significativamente diferente), pero sí de estas al compararlas con ZR9 y BR ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Tabla 1), así como entre estas dos últimas.

**Tabla 1.** Número de especies y comparación de medias (entre paréntesis) por forma de vida entre las cuatro zonas de estudio: una zona degradada (ZD), en dos reforestaciones (ZR5 y ZR9) y un bosque de referencia (BR), en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

**Table 1.** Number of species and comparison of means (in parentheses) by life form between the four study areas: a degraded zone (ZD), in two reforestations (ZR5 and ZR9) and a reference forest (BR), in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla

Forma de vida	ZD	ZR5	ZR9	BR
Herbáceas	32 (21.8) <sup>a</sup>	31 (22.0) <sup>a</sup>	24 (14.4) <sup>b</sup>	17 (9.0) <sup>c</sup>
Arbustos	0 (0) <sup>b</sup>	2 (2.0) <sup>a</sup>	2 (2.0) <sup>a</sup>	2 (2.0) <sup>a</sup>
Riqueza Total	32 (21.8) <sup>a</sup>	33 (24) <sup>a</sup>	26 (16.4) <sup>b</sup>	19 (11.0) <sup>c</sup>

ZD: zona degradada, ZR5: zona con 5 años de haber sido reforestada, ZR9: zona con 9 años de haber sido reforestada, y BR: bosque de referencia. Comparación entre zonas de estudio para una misma forma de vida. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre zonas para cada forma de vida ( $\alpha = 0.05$ ).

ZD: degraded zone, ZR5: zone that has been reforested for 5 years, ZR9: zone that has been reforested for 9 years, and BR: reference forest. Comparison between study zones for the same life form. Different letters indicate significant statistical differences ( $\alpha \leq 0.05$ ), between zones for the life form.

En el sotobosque las especies herbáceas fueron las más abundantes en todas las zonas estudiadas (Tabla 1), con un mayor número de especies. No obstante, destaca que el BR fue el que presentó una menor riqueza total de especies herbáceas (17 especies). Respecto a los arbustos, estos presentaron 0 especies en la ZD, significativamente menor a ZR5=ZR9=BR. Si bien no hay un patrón en cuanto al incremento de la riqueza de especies conforme se incrementa la edad de los rodales analizados en este estudio, resalta el hecho de que ZD y ZR5 no presentan diferencias estadísticas significativas en riqueza, mientras que ZR9 se diferencia de dichas zonas, así como de BR.

De acuerdo con Ma *et al.* (2024) la disponibilidad de luz afecta directamente a las especies herbáceas, particularmente a las perennes, por lo que tanto la diversidad de arbustos perennes y herbáceas fue significativamente afectada por la edad de la restauración. Dichos autores señalaron que los valores mayores en diversidad específica se presentaron en las áreas de 10 y 90 años, comparado con los menores valores encontrados a los 60 años. Así en nuestro estudio, el BR como se esperaba, presentó la menor riqueza de especies en el sotobosque, posiblemente por la entrada menor de luz por efecto de la cobertura del dosel arbóreo. En varios estudios se ha demostrado que el dosel superior tiene un efecto sobre la composición del sotobosque (Chen *et al.*, 2018), debido a que este modifica el ambiente lumínico en el interior del bosque por la reducción en la trasmisión de hacia la parte baja. Este se considera una de las principales fuerzas que determinan la abundancia de especies en el sotobosque, ya que la menor entrada de luz modifica las condiciones ambientales, disminuye la temperatura y aumenta la humedad en el piso forestal, lo que a su vez modifica la química del matillo y suelo superficial (Ou *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2020).

La similitud entre ZR5 y ZD en cuanto a la mayor riqueza de especies herbáceas es apoyado por los resultados de Poudel *et al.* (2019), quienes encontraron que en los rodales más jóvenes

se presenta una mayor diversidad de especies herbáceas y que la edad del rodal tiene un efecto en la composición, la diversidad y la abundancia de las especies en el sotobosque. Por otro lado, la presión antrópica (e.g., fuego, pastoreo, tala no regulada) puede modificar drásticamente la compleja relación entre los factores abióticos y bióticos. Por ejemplo, el microclima se ve modificado al aumentar la radiación solar y disminuir la disponibilidad de agua en el suelo (Kutnar *et al.*, 2019; Ou *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2020) lo que se puede observar en ZD y ZR5. Bajo estas condiciones las especies pioneras contribuyen al aumento de la riqueza específica (Gotelli, 2008; Ares *et al.*, 2010), aunque estas especies no persisten de manera indefinida. La presencia de las especies pioneras tiene efectos positivos tanto en la estabilización del suelo (e.g., gramíneas amacolladas) como en la aportación de sombra. Adicionalmente, cuando estas especies mueren y se incorporan al mantillo, durante el proceso de descomposición aportan nutrientes al suelo a una mayor velocidad que otro tipo de especies, favoreciendo la presencia de nuevas especies en el proceso de sucesión. Las especies pioneras son remplazadas por especies tolerantes a la sombra a medida que el dosel superior se va cerrando (Poudel *et al.*, 2019). Bajo este contexto, en el área de estudio, la perturbación por actividades humanas (principalmente pastoreo) de poblados aledaños puede explicar parcialmente la menor riqueza encontrada en el BR (Kutnar *et al.*, 2019; Granados-Victorino *et al.*, 2015; Luna-Bautista *et al.*, 2015).

La riqueza y diversidad del sotobosque, son los componentes más importantes de la diversidad vegetal en los estratos de un bosque, contribuyendo a diferentes funciones en el ecosistema (Quijada *et al.*, 2020; Mejía-Canales *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2018). A pesar de que las especies herbáceas representan únicamente el 1% de la biomasa de los bosques, estas contribuyen en más de un 20% al matillo foliar del piso forestal, el cual destaca por su importancia en la incorporación de nutrientes que puede ser mucho más alta que la que proporcionan los árboles (Gillam, 2007). En este estudio, ZD y ZR5 presentan condiciones y características similares en relación con la cantidad de luz, suelos pobres en nutrientes y poca humedad, pudiendo generar ambientes que promueven la dominancia de especies pioneras (Cabrera-Luna & Gómez-Sánchez, 2005).

En cuanto a las familias registradas en todo el sotobosque se encontró que las de mayor número de especies fueron la Asteraceae (13), Poaceae (5), Fabaceae (3) y Lamiaceae (3), las cuales son características de regiones montañosas, áridas y semiáridas de México, concordando con lo reportado por Pompa-Castillo *et al.* (2021), en una zona montañosa similar a la del presente estudio. Por tanto, conocer con mayor detalle las interacciones entre los diferentes factores bióticos y abióticos de un sitio, permitirá tomar mejores decisiones para su recuperación.

#### **Diversidad alfa y beta del sotobosque**

El índice de diversidad de Margalef mostró diferencias estadísticas significativas ( $\alpha= 0.05$ ) entre las zonas de estudio, donde el valor mayor se encontró en ZD (4.67) y ZR5 (4.26), es decir en la zona degradada y la plantación más joven y, el menor valor en el BR (2.42) (Tabla 2). La diversidad calculada con el índice de Simpson mostró diferencias estadísticas entre condiciones evaluadas, observándose mayor diversidad en ZR5 (0.90) y ZD (0.88) que coincide con el resultado observado con el índice de Margalef. La zona del BR (0.80) presentó un valor intermedio y ZR9, la condición que presentó la menor diversidad (0.78) (Tabla 2). Por tanto, se observó un patrón de disminución de la diversidad con el aumento de la edad del rodal. Al respecto, Morales-Salazar *et al.* (2012) sostienen que el aumento en la diversidad de especies está en función de la edad del bosque y de su estadio sucesional, además que la diversidad del sotobosque presenta una variación significativa a lo largo de gradientes bióticos y abióticos (Deng *et al.*, 2023). Lo anterior, puede explicar parcialmente lo observado en el presente estudio, donde el BR mostró la menor riqueza y diversidad de especies en el sotobosque (Tabla 1, 2).

**Tabla 2.** Índice de Margalef, índice de Simpson y equidad del sotobosque en las cuatro zonas de estudio en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

**Table 2.** Margalef richness index, Simpson index, and understory equity, in the four study zones in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

Zonas	Índice de Margalef	Índice de Simpson (1-D)	Equidad (1/D)/S
ZD	4.67 a	0.88 ab	0.39 ab
ZR5	4.26 a	0.90 a	0.45 ab
ZR9	3.16 b	0.78 c	0.30 b
BR	2.42 b	0.80 bc	0.47 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre zonas para los índices de Margalef y Simpson y la equidad ( $\alpha \leq 0.05$ ). ZD: zona degradada, ZR5: zona reforestada de 5 años, ZR9: zona reforestada de 9 años y BR: bosque de referencia.

Different letters indicate statistically significant differences between zones for the Margalef and Simpson indices and equity ( $\alpha \leq 0.05$ ). ZD: degraded area, ZR5: 5-year reforested area, ZR9: 9-year reforested area and RF: reference forest.

El índice de Simpson está influenciado por la abundancia de las especies dominantes (Magurran, 2004), lo cual es evidente en ZR9 por los valores de diversidad y equidad, atribuido principalmente a la especie dominante *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc. (Tabla 2). La presencia, abundancia y dominancia de dicha especie en el área de estudio es destacable, y puede verse favorecida por los incendios, tala no regulada y pastoreo que se registran ahí. Sus atributos de ser una gramínea perenne y pionera que forma grandes macollos, además de su raíz fibrosa, le confieren resistencia y capacidad para permanecer en sitios expuestos a perturbaciones tanto naturales como antrópicas (Mejía-Saules, 1993). *Baccharis conferta* Kunth y *Senecio salignus* D.C. también registradas en la zona de estudio, son especies pioneras que aparecen y se desarrollan después de una perturbación (incendio, agricultura, tala no regulada y pastoreo) por lo que estas especies son importantes en la incorporación de materia orgánica al suelo y reciclaje de nutrientes, así como provisión de refugios y alimento para fauna (Rendón-Pérez *et al.*, 2021).

En cuanto a la diversidad beta, ZR5 y ZR9 compartieron un 64% de especies y SD-ZR5 un 63%. Por el contrario, el BR presentó el menor porcentaje de especies compartidas con las demás zonas (Tabla 3). Chust *et al.* (2006) señalan que la diversidad beta se correlaciona con la distancia geográfica entre condiciones evaluadas, el clima (especialmente la precipitación) y la elevación; mientras que la pendiente y la geología del lugar registraron una correlación baja en un bosque tropical en Panamá. Si bien en este estudio no se analizó la correlación con variables ambientales, las observaciones en campo indican una mayor disponibilidad de luz en ZD, ZR5 y ZR9, que en BR. Para tener mayores evidencias es conveniente medir otros factores abióticos como podrían ser variables físico-químicas del suelo (textura, disponibilidad de nutrientes, saturación de bases del suelo, CIC, etc.) con la finalidad de entender con mayor claridad el porqué de la similitud específica de las zonas estudiadas como lo señalan Chust *et al.* (2006).

**Tabla 3.** Diversidad beta para el sotobosque de cuatro zonas de estudio: zona degradada (ZD), dos zonas reforestadas de 5 y 9 años (ZR5 y ZR9), y un bosque de referencia (BR), en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

**Table 3.** Beta diversity of four study zones: degraded zone (ZD), two reforested zones of 5 and 9 years (ZR5 and ZR9), and a reference forest (BR), in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

Zonas	ZD	ZR5	ZR9	BR
ZD	1.00	0.63	0.52	0.25
ZR5	0.63	1.00	0.64	0.24
ZR9	0.52	0.64	1.00	0.35
BR	0.25	0.24	0.35	1.00

### Índice de valor de importancia relativa

Los resultados del IVIR mostraron que, en todo el sotobosque *M. macroura* fue la especie más importante ecológicamente, con 13.34, 7.68 y 21.39% en las zonas, ZD, ZR5 y ZR9, respectivamente. El BR se diferenció por ser *P. virescens* la especie que registró el mayor valor de IVIR (14.40%). En todas las condiciones *M. macroura* estuvo presente, aunque en el BR pasó a un tercer lugar, con un IVIR de 10.75%. El resto de las especies presentes por zona tiene valores de IVIR relativamente bajos si se comparan con los valores de *M. macroura* y *P. virescens* (Tabla 4).

La composición de especies del sotobosque está regulada por la presencia de un dosel superior que determina la entrada de luz (cantidad y calidad) y por tanto su disponibilidad para favorecer a las especies demandantes de luz en el proceso de germinación y ocupación del sitio (Rendón-Pérez *et al.*, 2021). Lo anterior, parece ser el caso de *M. macroura* que estuvo presente en las cuatro zonas de estudio, notándose los mayores valores en SD, ZR5, y ZR9 (Tabla 4), donde no existe un dosel cerrado que impida la entrada de luz. En cambio, en el BR la cobertura del dosel es mayor comparado con el dosel de las reforestaciones, por lo que el ingreso de luz es menor, a su vez puede haber mayor humedad y nutrimentos en el suelo, lo que favorece la presencia de otras especies en el sotobosque y que se ve reflejado en los menores valores del índice de Jaccard al compararse con las demás zonas (Tabla 3). *Muhlenbergia macroura* tiene una distribución natural en ecosistemas de praderas alpinas y subalpinas (zacatonales) en el Eje Neovolcánico Transversal en bosques de pino, encino, encino-pino y oyamel y en altitudes que van de los 1800 a 4000 m (Mejía-Saules, 1993), condiciones que concuerdan con el área del presente estudio.

**Tabla 4.** Índice de valor de importancia relativa (IVIR) del sotobosque, en una zona degradada (ZD), en reforestaciones con *P. montezumae* de 5 y 9 años (ZR5 y ZR9), y un bosque de referencia (BR) en el ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

**Table 4.** Relative Importance Value Index (IVIR) of the understory, in a degraded zone (ZD), in reforestations of 5 and 9 years with *P. montezumae* (ZR5 and ZR9), and a reference forest (BR) in the ejido Los Catorce Pueblos Unidos de San Juan, Puebla.

Especies	Dominancia absoluta (%)	Dominancia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	IVI al 100 %
<b>ZD</b>					
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc	147	22.10	5	4.59	13.34
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parod	76	11.39	4	3.67	7.53
<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroché	63	9.54	5	4.59	7.06
<i>Plantago nivea</i> Kunth	61	9.20	5	4.59	6.89
<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex Schltl.	54	8.14	5	4.59	6.37
<i>Trifolium repens</i> L.	31	4.60	5	4.59	4.59
<i>Rumex acetosella</i> L.	29	4.30	5	4.59	4.44
<i>Viola hookeriana</i> H.B.K	25	3.70	5	4.59	4.14
<i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb.	24	3.58	5	4.59	4.08
<i>Euphorbia terracina</i> L.	18	2.68	5	4.59	3.63
<i>Geranium lilacium</i> Kunth	14	2.11	5	4.59	3.35
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	13	2.00	5	4.59	3.29
<i>Erigeron longipes</i> DC.	23	3.39	3	2.75	3.07
<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	10	1.43	5	4.59	3.01
<i>Oxalis corniculata</i> L.	9	1.28	5	4.59	2.93
<i>Arenaria reptans</i> Hemsl.	8	1.21	5	4.59	2.90
<i>Hypericum silenoides</i> Juss.	7	1.02	5	4.59	2.80
<i>Ammi majus</i> L.	9	1.32	4	3.67	2.49
<i>Sibthorpia repens</i> (Mutis ex L.) Kuntze	14	2.07	2	1.83	1.95
<i>Taraxacum officinale</i> G. H. Weber ex Wigg.	5	0.75	3	2.75	1.75
<i>Festuca elatior</i> L.	5	0.75	2	1.83	1.29

Especies	Dominancia absoluta (%)	Dominancia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	IVI al 100 %
<i>Oxalis alpina</i> (Rose) Rose ex R. Knuth	5	0.75	2	1.83	1.29
<i>Erigeron</i> sp.	4	0.57	2	1.83	1.20
<i>Fragaria vesca</i> L.	2	0.23	2	1.83	1.03
<i>Conyza schiedeana</i> (Less) Cronquist	1	0.19	2	1.83	1.01
<i>Halenia brevicornis</i> (Kunth) G. Don	1	0.08	2	1.83	0.96
<i>Cirsium raphilepis</i> (Hemsl.) Petrak	4	0.57	1	0.92	0.74
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	4	0.57	1	0.92	0.74
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	1	0.19	1	0.92	0.55
<i>Galium praetermissum</i> Greenm	1	0.11	1	0.92	0.52
<i>Potentilla candicans</i> Bonpl	1	0.11	1	0.92	0.52
<i>Astragalus coccineus</i> (Parry) Brandege	1	0.08	1	0.92	0.50
	<b>663</b>	<b>100</b>	<b>109</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>ZR5</b>					
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc	84	12.03	4	3.33	7.68
<i>Astragalus lyonnetii</i> Barneby	78	11.16	4	3.33	7.25
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	66	9.44	5	4.17	6.80
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parod	62	8.83	5	4.17	6.50
<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex Schldl.	43	6.17	5	4.17	5.17
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	40	5.74	5	4.17	4.96
<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroche	36	5.10	5	4.17	4.63
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	28	3.98	5	4.17	4.08
<i>Rumex acetosella</i> L.	21	3.02	5	4.17	3.59
<i>Erigeron</i> sp.	24	3.37	4	3.33	3.35
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	16	2.29	5	4.17	3.23
<i>Erigeron longipes</i> DC.	28	3.95	3	2.50	3.22
<i>Senecio salignus</i> DC.	14	2.08	5	4.17	3.12
<i>Geranium lilacium</i> Kunth	14	1.97	5	4.17	3.07
<i>Astragalus coccineus</i> (Parry) Brandege	24	3.41	3	2.50	2.96
<i>Hypericum silenoides</i> Juss.	11	1.58	5	4.17	2.87
<i>Trifolium repens</i> L.	10	1.36	5	4.17	2.77
<i>Viola hookeriana</i> H.B.K	17	2.48	3	2.50	2.49
<i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb.	5	0.72	5	4.17	2.44
<i>Plantago nivea</i> Kunth	17	2.37	3	2.50	2.43
<i>Potentilla candicans</i> Bonpl	16	2.33	3	2.50	2.42
<i>Euphorbia terracina</i> L.	8	1.15	4	3.33	2.24
<i>Oxalis corniculata</i> L.	8	1.15	4	3.33	2.24
<i>Festuca elatior</i> L.	3	0.43	4	3.33	1.88
<i>Ammi majus</i> L.	5	0.65	3	2.50	1.57
<i>Conyza schiedeana</i> (Less) Cronquist	2	0.32	3	2.50	1.41
<i>Salvia prunelloides</i> Kunth	6	0.83	2	1.67	1.25
<i>Oxalis alpina</i> (Rose) Rose ex R. Knuth	4	0.54	2	1.67	1.10
<i>Halenia brevicornis</i> (Kunth) G. Don	2	0.25	2	1.67	0.96
<i>Lepechinia schiedeana</i> (Schldl.) Vatke	8	1.08	1	0.83	0.96
<i>Taraxacum officinale</i> G. H. Weber ex Wigg.	1	0.11	1	0.83	0.47
<i>Cirsium raphilepis</i> (Hemsl.) Petrak	1	0.07	1	0.83	0.45
<i>Arenaria reptans</i> Hemsl.	0	0.04	1	0.83	0.43
	<b>696</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>ZR9</b>					
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc	253	36.68	5	6.10	21.39
<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex Schldl.	76	11.08	5	6.10	8.59
<i>Rumex acetosella</i> L.	67	9.73	5	6.10	7.92

Especies	Dominancia absoluta (%)	Dominancia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	IVI al 100 %
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parod	39	5.67	5	6.10	5.88
<i>Oxalis corniculata</i> L.	37	5.30	5	6.10	5.70
<i>Astragalus lyonnetii</i> Barneby	43	6.21	4	4.88	5.54
<i>Potentilla candicans</i> Bonpl	46	6.72	2	2.44	4.58
<i>Oxalis alpina</i> (Rose) Rose ex R. Knuth	26	3.78	4	4.88	4.33
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	8	1.18	5	6.10	3.64
<i>Senecio salignus</i> DC.	8	1.18	5	6.10	3.64
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	15	2.11	4	4.88	3.49
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	13	1.85	4	4.88	3.37
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	11	1.60	4	4.88	3.24
<i>Astragalus coccineus</i> (Parry) Brandege	17	2.40	3	3.66	3.03
<i>Trifolium repens</i> L.	5	0.65	4	4.88	2.77
<i>Ammi majus</i> L.	4	0.51	3	3.66	2.08
<i>Festuca elatior</i> L.	2	0.22	3	3.66	1.94
<i>Erigeron</i> sp.	7	0.94	2	2.44	1.69
<i>Geranium lilacium</i> Kunth	3	0.44	2	2.44	1.44
<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroche	2	0.22	2	2.44	1.33
<i>Fragaria vesca</i> L.	4	0.54	1	1.22	0.88
<i>Galium praetermissum</i> Greenm	3	0.36	1	1.22	0.79
<i>Plantago nivea</i> Kunth	3	0.36	1	1.22	0.79
<i>Cirsium raphilepis</i> (Hemsl.) Petrak	1	0.18	1	1.22	0.70
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	0	0.04	1	1.22	0.63
<i>Hypericum silenoides</i> Juss.	0	0.04	1	1.22	0.63
	<b>688</b>	<b>100</b>	<b>82</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>BR</b>					
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parod	64	19.70	5	9.09	<b>14.40</b>
<i>Geranium lilacium</i> Kunth	61	18.85	3	5.45	12.15
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc	46	14.24	4	7.27	10.75
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M. King & Rob.	32	9.93	5	9.09	9.51
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	20	6.18	5	9.09	7.64
<i>Lepechinia schiedeana</i> (Schltdl.) Vatke	20	6.16	4	7.27	6.71
<i>Aegopogon cenchroides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	29	8.93	2	3.64	6.28
<i>Senecio salignus</i> DC.	8	2.55	5	9.09	5.82
<i>Fragaria vesca</i> L.	9	2.77	4	7.27	5.02
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	13	3.85	2	3.64	3.74
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	2	0.46	3	5.45	2.96
<i>Roldana lineolata</i> (DC.) H. Rob & Brettell	7	2.08	2	3.64	2.86
<i>Galium praetermissum</i> Greenm	3	1.00	2	3.64	2.32
<i>Oxalis alpina</i> Rose ex R. Knuth	1	0.31	2	3.64	1.97
<i>Rumex acetosella</i> L.	6	1.69	1	1.82	1.76
<i>Ammi majus</i> L.	0	0.08	1	1.82	0.95
<i>Trifolium repens</i> L.	0	0.08	1	1.82	0.95
<i>Viola hookeriana</i> H.B.K	0	0.08	1	1.82	0.95
	<b>325</b>	<b>100</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



## CONCLUSIONES

El sotobosque es un componente importante en la riqueza y diversidad en las reforestaciones, particularmente las especies herbáceas. Los resultados, en general, corroboran la hipótesis planteada, ya que el sotobosque fue menos diverso a medida que la edad de las reforestaciones aumentó; aunque en términos de composición esto no sucedió, ya que el BR fue el que menos similitud presentó con las demás condiciones (ZD, ZR5 y ZR9). La especie *Muhlenbergia macroura* representó el mayor IVIR dentro del sotobosque, lo que la cataloga con un valor de importancia estructural alto en las reforestaciones evaluadas.

Es importante dar seguimiento a estas reforestaciones, llevando a cabo evaluaciones a corto, mediano y largo plazo para obtener un panorama más amplio sobre los cambios de distintos atributos, funciones y procesos. Los resultados indican que el identificar los cambios que ocurren en la composición y diversidad del sotobosque a medida que la estructura horizontal de las reforestaciones cambia, puede ser un referente para determinar si las prácticas implementadas están contribuyendo a la recuperación de una zona o ecosistema degradado. La reforestación como estrategia para la recuperación del ecosistema parece estar funcionando en el área de estudio, sin embargo, se necesita continuar con las observaciones tanto de la composición de especies del sotobosque como de otros procesos ecológicos.

## LITERATURA CITADA

- Alday, J. G., Martínez, C., & Bravo F. (2012). Regeneración natural y conservación de la diversidad vegetal en masas de *Pinus pinaster* Ait. In G. M. Francisco Javier Gordo, Rafael Calama, Marta Pardo, Francisco Bravo (Ed.), *La problemática de la regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana* (pp. 219–237). [https://pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/documentos/regeneracion\\_pinares.pdf](https://pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/documentos/regeneracion_pinares.pdf)
- Ares, A., Neill, A. R., & Puettmann, K. J. (2010). Understorey abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands. *Forest Ecology and Management*, 260(7), 1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.023>
- Balandier, P., Gobin, R., Prévosto, B., & Korbolevsky, N. (2022). The contribution of understorey vegetation to ecosystem evapotranspiration in boreal and temperate forests: a literature review and analysis. *European Journal of Forest Research*, 141(6), 979–997. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01505-0>
- Bhutia, Y., Gudasalamani, R., Ganesan, R., & Saha, S. (2019). Assessing forest structure and composition along the altitudinal gradient in the state of Sikkim, Eastern Himalayas, India. *Forests*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/f10080633>
- Cabrera-Luna, J. A., & Gómez-Sánchez, M. (2005). Análisis Florístico de la Cañada, Querétaro, México. *Botanical Sciences*, 77, 35–50. <https://doi.org/10.17129/botsci.1711>
- Chen, H. Y. H., Biswas, S. R., Sobey, T. M., Brassard, B. W., & Bartels, S. F. (2018). Reclamation strategies for mined forest soils and overstorey drive understorey vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 926–936. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13018>
- Chust, G., Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Lao, S., & Pérez, R. (2006). Determinants and spatial modeling of tree  $\beta$ -diversity in a tropical forest landscape in Panama. *Journal of Vegetation Science*, 17(1), 83–92. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02426.x>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2023). *Flora y Fauna de México*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/>
- Deng, J., Fang, S., Fang, X., Jin, Y., Kuang, Y., Lin, F., Liu, J., Ma, J., Nie, Y., Ouyang, S., Ren, J., Tie, L., Tang, S., Tan, X., Wang, X., Fan, Z., Wang, Q. W., Wang, H., & Liu, C. (2023). Forest understorey vegetation study: current status and future trends. *Forestry Research*, 2023(3–6). <https://doi.org/10.48130/FR-2023-0006>

- Derhé, M. A., Murphy, H., Monteith, G., & Menéndez, R. (2016). Measuring the success of reforestation for restoring biodiversity and ecosystem functioning. *Journal of Applied Ecology*, 53(6), 1714–1724. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12728>
- Duan, M., House, J., & Chang, S. X. (2019). Understory plant communities vary with tree productivity in two reclaimed boreal upland forest types in Canada. *Forest Ecology and Management*, 453 (February), 117577. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117577>
- Fremout, T., Thomas, E., Taedoumg, H., Briers, S., Gutiérrez-Miranda, C. E., Alcázar-Cacedo, C., Lindau, A., Mounmemei Kpoumie, H., Vinceti, B., Kettle, C., Ekué, M., Atkinson, R., Jalonen, R., Gaisberger, H., Elliott, S., Brechbühler, E., Ceccarelli, V., Krishnan, S., Vacik, H., ... Muys, B. (2022). Diversity for Restoration (D4R): Guiding the selection of tree species and seed sources for climate-resilient restoration of tropical forest landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 664–679. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14079>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2016). *Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica*. www.SER.org
- García, E. (2004). *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Koppen* (Quinta). Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Gillam, F. S. (2007). The Ecological Significance of the Herbaceous Layer in Temperate Forest Ecosystems. *BioScience*, 57(10), 846–858. <https://academic.oup.com/bioscience/article/57/10/845/232416>
- Gotelli, N. J. (2008). *A Primer of Ecology* (4th ed.). Sinauer Associated.
- Granados-Victorino, R. L., Granados-Sánchez, D., & Sánchez-González, A. (2015). Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques*, 21(2), 23–42.
- Huang, C., Zhou, Z., Peng, C., Teng, M., & Wang, P. (2019). How is biodiversity changing in response to ecological restoration in terrestrial ecosystems? A meta-analysis in China. *Science of The Total Environment*, 650(1), 1–9.
- INEGI. (2021). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2020*.
- Koleff, P. (2005). Conceptos y medidas de la Diversidad Beta. In G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, & A. Melic (Eds.), *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades alfa, beta y gamma* (Vol. 4, pp. 19–40). *m 3 m M o n o g r a f í a s 3er cer Milenio*. <http://entomologia.rediris.es/sea>
- Kutnar, L., Nagel, T. A., & Kermavnar, J. (2019). Effects of disturbance on understory vegetation across slovenian forest ecosystems. *Forests*, 10(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/F10111048>
- Landuyt, D., De Lombaerde, E., Perring, M. P., Hertzog, L. R., Ampoorter, E., Maes, S. L., De Frenne, P., Ma, S., Proesmans, W., Blondeel, H., Sercu, B. K., Wang, B., Wasof, S., & Verheyen, K. (2019). The functional role of temperate forest understorey vegetation in a changing world. *Global Change Biology*, 25(11), 3625–3641. <https://doi.org/10.1111/gcb.14756>
- Luna-Bautista, L., Hernández De La Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Gómez-Guerrero, A., & Acosta-Mireles, M. (2015). El sotobosque en la composición y diversidad de áreas bajo manejo forestal en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(1), 109–121. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.08.037>
- Ma, Y., Xu, F., Wei, J., Wang, W., Wu, Z., Xu, D., Haider, F. U., Li, X., & Dong, Y. (2024). Ecological Restoration Increases the Diversity of Understory Vegetation in Secondary Forests: An Evidence from 90 Years of Forest Closures. *Forests*, 15(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/f15091642>
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity* (First). Blackwell Publishing.

- Mejía-Canales, A. M., Franco-Maass, S., Endara-Agramont, A. R., & Akerberg, V. Á. (2018). Characterization of the understory in dense pine and fir forests of the Nevado de Toluca. *Madera y Bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431656>
- Mejía-Saules, M. T. (1993). Uso de *Muhlenbergia macroura* (Poaceae: Eragrostidae) en la región de Perote, Veracruz, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 53, 141–147. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1422>
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. R. (2018). *La restauración de ecosistemas terrestres en México Estado Actual, Necesidades y Oportunidades* (First). Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/006853>
- Mestre, L., Toro-Manríquez, M., Soler, R., Huertas-Herrera, A., Martínez-Pastur, G., & Lencinas, M. V. (2017). The influence of canopy-layer composition on understory plant diversity in southern temperate forests. *Forest Ecosystems*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0093-z>
- Morales-Salazar, M., Vilchez-Alvarado, B., Chazdon, R. L., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavassi, E., & Guevara-Bonilla, M. (2012). Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23), 19–28.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para Medir la Biodiversidad* (CYTED, ORCYT-UNESCO, & Sociedad Entomológica Aragonesa (eds.); Primera). M&T-Manuales y Tesis SEA. <http://entomologia.rediris.es/sea>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Ou, Z., Pang, S., He, Q., Peng, Y., Huang, X., & Shen, W. (2020). Effects of vegetation restoration and environmental factors on understory vascular plants in a typical karst ecosystem in southern China. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68785-7>
- Poudel, D. R., Chen, H. Y. H., Mohan, K. C., Ge, Z., Bown, H. E., & Ruan, H. (2019). Understory vegetation dynamics across a poplar plantation chronosequence in reclaimed coastal saline soil. *Forests*, 10(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/f10090764>
- Quijada, G. E. M., Balderas, J. M. M., Garza, E. J. T., Calderón, Ó. A. A., Rodríguez, E. A., & Yamallel, J. I. Y. (2020). Diversity, structure and floristic composition of temperate forests of southern Nuevo León state. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Rendón-Pérez, M. A., Hernández-De la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Alcántara-Carbajal, J. L., & Reyes-Hernández, V. J. (2021). Composition, diversity, and structure of a managed forest in central Mexico. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712127>
- Rodríguez-Calcerrada, J., Cano, F. J., Valbuena-Carabaña, M., Gil, L., & Aranda, I. (2010). Functional performance of oak seedlings naturally regenerated across microhabitats of distinct overstorey canopy closure. *New Forests*, 39(2), 245–259. <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9168-1>
- Rodríguez-Laguna, R., Valencia-Manzo, S., Meza-Rangel, J., Capó-Arteaga, M. A., & Reynoso-Pérez, A. (2008). Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 19–26. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031103%0ACómo>
- Ruiz-Jaén, M. C., & Aide, T. M. (2005). Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management*, 218(1–3), 159–173. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.07.008>
- Salgado-Negret, B. (2015). La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. In *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones* (Issue February).

**Recibido:**

27/septiembre/2024

**Aceptado:**

6/junio/2025

- Shen, G., Tan, S., Sun, X., Chen, Y., & Li, B. (2020). Experimental Evidence for the Importance of Light on Understory Grass Communities in a Subtropical Forest. *Frontiers in Plant Science*, 11(July), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01051>
- Staples, T. L., Mayfield, M. M., England, J. R., & Dwyer, J. M. (2020). Comparing the recovery of richness, structure, and biomass in naturally regrowing and planted reforestation. *Restoration Ecology*, 28(2), 347–357. <https://doi.org/10.1111/rec.13077>
- Su, X., Li, S., Wan, X., Huang, Z., Liu, B., Fu, S., Kumar, P., & Chen, H. Y. H. (2021). Understory vegetation dynamics of Chinese fir plantations and natural secondary forests in subtropical China. *Forest Ecology and Management*, 483(August 2020), 118750. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118750>
- Ventura-Ríos, A., Plascencia-Escalante, F. O., Hernández-De La Rosa, P., Ángeles-Pérez, G., & Aldrete, A. (2017). ¿es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino? Una experiencia en el centro de México. *Bosque*, 38(1), 55–66. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000100007>
- Zhang, Y., Liu, T., Guo, J., Tan, Z., Dong, W., & Wang, H. H. (2021). Changes in the understory diversity of secondary *Pinus tabulaeformis* forests are the result of stand density and soil properties. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01628. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01628>

**APÉNDICE 1.** Listado florístico por forma de vida, origen, familia, y zonas donde se encontró cada especie: en una zona degradada (ZD), reforestaciones de diferentes edades (ZR5, ZR9), y bosque de referencia (BR).

**APPENDIX 1.** Floristic list by form of life, origin, family, and areas where each species was found: in a degraded zone (ZD), reforestation of different ages (R5Z, R9Z), and reference forest (BR).

Nombre científico	Forma de vida	Origen	Familia	Zonas en donde se presenta la especie			
				ZD	ZR5	ZR9	BR
<i>Aegopogon cenchroides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Herbácea	Ex	Poaceae				X
<i>Ammi majus</i> L.	Herbácea	Ex	Apiaceae	X	X	X	X
<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex Schltld.	Herbácea	N	Caryophyllaceae	X	X	X	X
<i>Arenaria reptans</i> Hemsl.	Herbácea	N	Caryophyllaceae	X	X		
<i>Astragalus coccineus</i> (Parry) Brandege	Herbácea	N	Fabaceae	X	X	X	
<i>Astragalus lyonnetii</i> Barneby	Herbácea	N	Fabaceae		X	X	
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Arbustivo	N	Asteraceae		X	X	X
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	Herbácea	N	Asteraceae	X	X	X	X
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Herbácea	Ex	Poaceae	X		X	X
<i>Cirsium raphilepis</i> (Hemsl.) Petrak	Herbácea	N	Asteraceae	X	X	X	
<i>Conyza schiedeana</i> (Less.) Cronquist	Herbácea	N	Asteraceae	X	X		
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	Herbácea	N	Asteraceae	X	X	X	
<i>Erigeron longipes</i> DC.	Herbácea	N	Asteraceae	X	X		
<i>Erigeron</i> sp.	Herbácea	N	Asteraceae	X	X	X	
<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroché	Herbácea	N	Apiaceae	X	X	X	
<i>Euphorbia terracina</i> L.	Herbácea	Ex	Euphorbiaceae	X	X		
<i>Festuca elatior</i> L.	Herbácea	Ex	Poaceae	X	X	X	
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M. King & Rob.	Herbácea	N	Asteraceae				X
<i>Fragaria vesca</i> L.	Herbácea	N	Rosáceae	X		X	X
<i>Galium praetermissum</i> Greenm	Herbácea	N	Rubiaceae	X		X	X
<i>Geranium lilacium</i> Kunth	Herbácea	N	Geraniaceae	X	X	X	X
<i>Halenia brevicornis</i> (Kunth) G. Don	Herbácea	N	Gentianaceae	X	X		
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass.	Herbácea	N	Asteraceae		X	X	
<i>Hypericum silenoides</i> Juss.	Herbácea	N	Hypericaceae	X	X	X	
<i>Lepechinia schiedeana</i> (Schltld.) Vatke	Herbácea	N	Lamiaceae		X		X
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc	Herbácea	N	Poaceae	X	X	X	X
<i>Oxalis alpina</i> (Rose) Rose ex R. Knuth	Herbácea	N	Oxalidaceae	X	X	X	X
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Herbácea	N	Oxalidaceae	X	X	X	
<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parodi	Herbácea	N	Poaceae	X	X	X	X
<i>Plantago nivea</i> Kunth	Herbácea	N	Plantaginaceae	X	X	X	
<i>Potentilla candicans</i> Bonpl	Herbácea	N	Rosáceae	X	X	X	
<i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb.	Herbácea	N	Asteraceae	X	X		
<i>Roldana lineolata</i> (DC.) H. Rob & Brettell	Herbácea	N	Asteraceae				X
<i>Rumex acetosella</i> L.	Herbácea	Ex	Polygonaceae	X	X	X	X
<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	Herbácea	N	Lamiaceae	X			
<i>Salvia prunelloides</i> Kunth	Herbácea	N	Lamiaceae		X		
<i>Senecio salignus</i> DC.	Arbustivo	N	Asteraceae		X	X	X
<i>Sibthorpia repens</i> (Mutis ex L.) Kuntze	Herbácea	N	Scrophulariaceae	X			
<i>Taraxacum officinale</i> G. H. Weber ex Wigg.	Herbácea	Ex	Asteraceae	X	X		
<i>Trifolium repens</i> L.	Herbácea	Ex	Fabaceae	X	X	X	X
<i>Viola hookeriana</i> H.B.K	Herbácea	N	Violaceae	X	X		X

N: nativa, Ex: exótica

N: native, Ex: exotic