

SEP

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768

ISSN 2395-9525



Núm. 61

Ciencia y
Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

Enero 2026



Enero 2026

Núm. 61

POLIBOTÁNICA



PÁG.

CONTENIDO

- 1 La familia *Buxaceae* en México
The *Buxaceae* family in Mexico
Rafael Fernández N. | María de la Luz Arreguín Sánchez
- 23 Riqueza de epífitas vasculares en la reserva El Peñón, municipio de Valle de Bravo, Estado de México, México
Vascular epiphyte richness in The Peñón reserve, municipality of Valle de Bravo, Estado de México, Mexico
Ivonne Gomez | Bruno Téllez | Adolfo Espejo-Serna | Ana Rosa López-Ferrari
- 55 Variación de umbrales dnbr y rbr en la detección de incendios forestales en el área Iztaccíhuatl-Popocatepetl México
Variation of dnbr and rbr thresholds in forest fire detection in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl area, Mexico
Ederson Steven Cobo Muelas | Pablito Marcelo López Serrano | Daniel José Vega Nieva | Jose Javier Corral Rivas | José López García | Lilia de Lourdes Manzo Delgado
- 75 Dinámica fenológica mensual de especies de bosque mixto.
Monthly phenological dynamics of mixed forest species.
Cynthia Judith Carranza Ojeda | Juan Antonio Reyes Agüero | Carlos Alfonso Muñoz Robles | Anuschka Van't Hooft | Jorge Alberto Flores Cano | José Villanueva Díaz
- 101 Servicios ecosistémicos de provisión en comunidades de pueblos Otomí y Matlazincas del Estado de México, México
Provision of ecosystem services in indigenous communities in the State of Mexico, Mexico
Laura White-Olascoaga | David García-Mondragón | Carmen Zepeda-Gómez
- 115 Comparación de tasas de respiración del suelo en ecosistemas agrícola, agostadero y urbano en una zona semiárida en Juárez, Chihuahua, México
Comparison of soil respiration rates in agricultural, rangeland, and urban ecosystems at semiarid areas in Juárez, Chihuahua, Mexico
Juan Pedro Flores Margez | Alejandra Valles Rodríguez | Pedro Osuna Avila | Dolores Adilene Garcia Gonzalez
- 133 Caracterización ecológica de la zona de proliferación del hongo blanco de pino (*Tricholoma mesoamericanum*) en “El Guajolote” Hidalgo, México
Ecological characterization of the fruiting area of the pine white mushroom (*Tricholoma mesoamericanum*) in “El Guajolote” Hidalgo, Mexico
Alvaro Alfonso Reyes Grimaldo | Ramón Razo Zárate | Oscar Arce Cervantes | Magdalena Martínez Reyes | Jesús Pérez Moreno | Rodrigo Rodríguez Laguna
- 145 Influencia de la variabilidad climática y del fenómeno ENOS en el crecimiento radial de *Pinus rzedowskii* y *P. martinezii* en Michoacán, México
Influence of climate variability and the ENSO phenomenon on the radial growth of *Pinus rzedowskii* and *P. martinezii* in Michoacán, Mexico
Ulises Manzanilla Quiñones | Patricia Delgado Valerio | Teodoro Carlón Allende
- 165 Caracteres morfométricos y patrones de germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de diferentes procedencias
Morphometric characteristics and germination patterns of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seeds from different sources
Daniel Madrigal González | Nahum Modesto Sánchez-Vargas | Mariela Gómez-Romero | María Dolores Uribe-Salas | Alejandro Martínez-Palacios | Selene Ramos-Ortiz
- 181 Germinación de *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), árbol nativo en peligro de extinción
Germination of *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), an endangered native tree
Brenda Karina Pozo Gómez | Carolina Orantes García | Dulce María Pozo Gómez | Alma Gabriela Verdugo Valdez | María Silvia Sánchez Cortés | Rubén Antonio Moreno Moreno
- 193 Propagación in vitro de callos de morera (*Morus alba* L.) como alternativa alimenticia para larvas de gusanos de seda (*Bombyx mori*)
In vitro propagation of *Morus alba* L. calli as an alternative feed for silkworm (*Bombyx mori*) larvae
Alma Rosa Hernández Rojas | José Luis Rodríguez-de la O | Alejandro Rodríguez-Ortega | Elvis García-López | Manuel Hernández-Hernández | Jessica Lizbeth Sebastián-Nicolás | Rosita Deny Romero-Santos
- 205 Mejoras en un método comercial de extracción de ADN para obtener extractos de ácido nucleico de alta calidad a partir de yemas vegetativas de *Populus tremuloides* Michx.
Improvements to a commercial DNA extraction method for high-quality nucleic acid extractions from *Populus tremuloides* Michx. vegetative buds
Cecilia Gutierrez | Marcelo Barraza Salas | Ilga Mercedes Porth | Christian Wehenkel
- 221 Crecimiento de plántulas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera* en función de la concentración de sacarosa y carbón activado.
Growth of *Laelia autumnalis* and *Encyclia cordigera* seedlings as a function of sucrose and activated charcoal concentration
Marcela Cabañas Rodríguez | María Andrade Rodríguez | Oscar Gabriel Villegas Torres | Iran Alia Tejacal | Porfirio Juarez López | José Antonio Chávez García
- 235 Dinámica fenologica mensual de especies de bosque mixto
Montly phenological dynamics of mixed forest species
Andrea Cecilia Acosta-Hernández | Eduardo Daniel Vivar Vivar | Marin Pompa-García

PÁG.

CONTENIDO

- 259 Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la supervivencia y el crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas in vitro y por semilla en condiciones de invernadero
Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the survival and growth of *Dalbergia congestiflora* plants propagated in vitro and from seed under greenhouse conditions
Enrique Ambríz | Carlos Juan Alvarado López | Yoshira López Antonio | Hebert Jair Barrales Cureño | Rafael Salgado Garciglia | Alejandra Hernández García
- 273 Crioconservación de explantes florales encapsulados de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante deshidratación y vitrificación
Cryopreservation of encapsulated floral explants of cacao (*Theobroma cacao* L.) by dehydration and vitrification
Eliud Rodríguez Olivera | Leobardo Iracheta Donjuan | José Luis Rodríguez de la O | Carlos Hugo Avendaño Arrazate
- 295 Análisis de la diversidad genética en cacao (*Theobroma cacao* L.) y pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) de los estados de Tabasco y Chiapas, México
Genetic diversity analysis in cocoa (*Theobroma cacao* L.) and pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) from Tabasco and Chiapas, Mexico
Fernanda Sarahi Hernández Montes | Guadalupe Concepción Rodríguez Castillejos | Guillermo Castañón Nájera | Octelina Ruiz Castillo | Christian Asur Christian Asur | Hernán Wenceslao Araujo Torres | Régulo Ruíz Salazar
- 311 Respuesta morfogénica de *Agave angustifolia* al gradiente auxina-citocinina durante el desarrollo de embriones somáticos indirectos
Morphogenetic response of *Agave angustifolia* to the auxin-cytokinin gradient during the development of indirect somatic embryos
Jesús-Ignacio Reyes-Díaz | Rosa María Nava-Becerril | Amaury-Martín Arzate-Fernández
- 329 Efecto del ácido salicílico en el incremento de biomasa y azúcares reductores en *Agave cupreata* y *Agave salmiana*
Effect of salicylic acid on increase of biomass and reducing sugars in *Agave cupreata* and *Agave salmiana*
Hilda Guadalupe GARCÍA NÚÑEZ | Amaury Martín Arzate-Fernández | Ana María Roque-Otero | Martín Rubí-Arriaga | Aurelio Domínguez-López
- 343 Contribución al conocimiento tradicional sobre el uso y manejo de los recursos vegetales en el municipio de Malinalco, Estado de México, México.
Contribution to traditional knowledge of plant resource use and management in Malinalco, State of Mexico, Mexico
Margarita Micaela Avila Uribe | Blanca Margarita Berdeja-Martínez | Ana María Mora-Rocha | Yajaira Cerón-Reyes | Karla Mariela Hernández-Sánchez | María Eugenia Ordorica Vargas | Lidia Cevallos-Villanueva
- 365 La agrobiodiversidad del agroecosistema traspatio como estrategia contra la pobreza extrema en Platón Sánchez, Veracruz, México
Agrobiodiversity in the backyard agroecosystem as a strategy against extreme poverty in Platon Sanchez, Veracruz, Mexico
Rubén Purroy-Vásquez | Gregorio Hernández-Salinas | Jorge Armida-Lozano | Alejandro Llaguno-Aguñaga | Karla Lissete Silva-Martínez | Nicolás Francisco Mateo-Díaz
- 385 Quelites entre cocineras tradicionales nahuas y totonacas de la Sierra Norte de Puebla, México
Quelites among nahua and totonac traditional cooks from the Northern Sierra of Puebla, Mexico
Victoria Ortiz-Trápala | Heike Vibrans | María Edelmira Linares-Mazari | Diego Flores-Sánchez
- 409 *Litsea glaucescens* y *Clinopodium macrostemon* recursos forestales no maderables en mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca
Litsea glaucescens and *Clinopodium macrostemon* non-timber forest resources in traditional markets of the Central Valleys of Oaxaca
Domitila Jarquín-Rosales | Gisela Virginia Campos Angeles | Valentín José Reyes-Hernández | Salvador Lozano-Trejo | Juan José Alpuche-Osorno | Gerardo Rodríguez-Ortiz
- 427 Sistemas verticales rústicos para la producción de alimentos en espacios limitados: un aporte a la seguridad alimentaria familiar
Rustic vertical home gardens for food production in limited spaces: a contribution to household food security
Pablo Yax-Lopez | Kevin Manolo Noriega Elías | Jorge Rubén Sosof Vásquez
- 443 Orquídeas silvestres comercializadas en cinco mercados tradicionales de Oaxaca, México
Wild orchids sold in five traditional markets in Oaxaca, Mexico
María Hipólita Santos Escamilla | Gisela Virginia Campos Angeles | José Cruz Carrillo Rodríguez | Nancy Gabriela Molina Luna
- 457 Proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) en la región de la Chontalpa, Tabasco, México
Artisanal process of making corozo soap (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) in the Chontalpa region, Tabasco, Mexico
Elsa Chávez García
- 479 La comercialización de plantas del bosque tropical caducifolio y su importancia cultural en el centro de México
The commercialization of tropical deciduous forest plants and their cultural importance in central Mexico
Ofelia Sotelo Caro | Alejandro Flores Palacios | Susana Valencia Díaz | David Osvaldo Salinas Sánchez | Rodolfo Figueroa Brito

Portada



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

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

por/by
Rafael Fernández Nava

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL 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
Universidade Estadual de Feira de Santana
Feira de Santana, Brasil

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

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

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

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

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

José Manuel Rico Ordaz
Universidad de Oviedo
Oviedo, España

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

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

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

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

DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

Luz Elena Tejeda Hernández

OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Pedro Aráoz Palomino

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

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

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

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

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

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

CRMICYT - Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

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

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



**Ciencia y
Tecnología**

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretario General: *M. en C. Ismael Jaidar Monter*

Secretario Académico: *M. en E.N.A. María Isabel Rojas Ruíz*

Secretario de Innovación e Integración Social: *M.C.E. Yessica Gasca Castillo*

Secretario de Investigación y Posgrado: *Dra. Martha Leticia Vázquez González*

Secretario de Servicios Educativos: *Dr. Marco Antonio Sosa Palacios*

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

Director de Educación Superior: *Lic. Tomás Huerta Hernández*

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director:

Dr. Isaac Juan Luna Romero

Subdirectora Académica:

Biol. Elizabeth Guarneros Banuelos

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Lic. Edgar Gregorio Cárcamo Villalobos

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerra

POLIBOTÁNICA, Año 30, No. 61, enero 2026, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

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



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA

TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS

Acosta-Hernández, A.C., E.D. Vivar-Vivar, M. Pompa-García

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE
COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA
TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER
UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS



Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 235-257 México. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.14



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

Observaciones terrestres de la fenología arbórea multiespecífica: Una forma de comprender mejor las fechas de transición de las fenofases bajo estrés por sequía

Terrestrial observations of multispecific tree phenology: A way to better understand phenophase transition dates under drought stress

Andrea Cecilia Acosta-Hernández, Eduardo Daniel Vivar-Vivar, Marín Pompa-García

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA

TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 235-257. Enero 2026

DOI:
10.18387/polibotanica.61.14


Andrea Cecilia Acosta-Hernández <https://orcid.org/0000-0003-0097-2232>

Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

Eduardo Daniel Vivar-Vivar <https://orcid.org/0000-0002-2052-0404>

Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México.

Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

Marín Pompa-García / mpgarcia@ujed.mx 

<https://orcid.org/0000-0001-7156-432X>

Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango

Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

RESUMEN: Los ecosistemas forestales están modificando su fenología como consecuencia de las variaciones en el clima. Los bosques mixtos han sido considerados estratégicos para lidiar con el cambio climático, por lo que conocer sus procesos fenológicos contribuye a generar información útil para anticipar cambios en la composición de especies ante el calentamiento global. En este estudio describimos mensualmente a lo largo de un año las fenofases de cinco especies coexistentes en un bosque mixto, en una región del norte de México altamente diversa pero susceptible a la sequía. Encontramos diversas fenofases entre coníferas y latifoliadas, comprendidas en reposo, caída de hojas, desarrollo de yemas, elongación del follaje y formación y crecimiento de órganos reproductivos, con sus diferencias temporales entre ellas. La especie *Pinus engelmannii*, tuvo el inicio más temprano de sus fenofases, mientras que *Arbutus bicolor* presentó un inicio tardío, así como una menor duración en sus fenofases con respecto a las otras especies estudiadas. La mayor duración en tiempo en las diferentes fenofases se presentó en *Juniperus deppeana* mientras que *Arbutus bicolor* tuvo periodos más cortos. Aunque se requieren más datos complementarios de clima, así como de acortar la periodicidad de los muestreos, nuestros resultados se interpretan como respuestas a mecanismos fisiológicos que presentan las especies como estrategias de respuesta ante el entorno. Dada la limitación de la temporalidad y el esfuerzo operativo, los resultados no son del todo concluyentes sin embargo constituyen una base esencial para continuar el monitoreo y potenciar el entendimiento de la fenología en los bosques mixtos de cara a los escenarios de sequía pronosticada. **Palabras clave:** Fenología; bosques mixtos; *Pinus*; *Quercus*; *Juniperus*; *Arbutus*.

ABSTRACT: Forest ecosystems are modifying their phenology as a consequence of climate variability. Mixed forests have been considered strategic to cope with climate change, so knowing their phenological processes contributes to generate useful information to anticipate changes in species composition in the face of global warming. In this study, we describe the phenophases of five coexisting species in a mixed forest in a highly diverse but drought-susceptible region of northern Mexico on a monthly basis over the course of a year. We found several phenophases among conifers and broadleaved trees, including resting, leaf fall, bud development, foliage elongation, and formation and growth of reproductive organs, with their temporal differences among them. The species *Pinus engelmannii* had the earliest onset of its phenophases, while *Arbutus bicolor* had a late onset and shorter phenophases than the other species studied. The longest duration of the different phenophases was observed in *Juniperus deppeana*, while *Arbutus bicolor* had shorter periods. Although more complementary climate data are required, as well as shortening the periodicity of sampling, our results are interpreted as responses to physiological mechanisms presented by the species as strategies to respond to the environment. Given the limitation of time and operational labor, the results are not entirely conclusive, however they constitute an essential basis for further monitoring and to enhance the understanding of phenology in mixed forests in the face of predicted drought scenarios.

Key words: Phenology; mixed forests; *Pinus*; *Quercus*; *Juniperus*; *Arbutus*.

INTRODUCCIÓN

Las modificaciones en el clima están alterando los ecosistemas forestales en el mundo; los cambios en las temperaturas, las variaciones en los patrones de precipitación, el aumento en la ocurrencia de eventos climáticos extremos como sequías y la presencia de incendios, están alterando los regímenes ecológicos (Anderegg *et al.*, 2020; Keenan, 2015). Estos eventos causan una disminución en la productividad forestal lo que puede desencadenar cambios en la composición de especies favoreciendo los procesos de degradación de los ecosistemas (Allen *et al.*, 2015; Molina-Marchan *et al.*, 2024; Morin *et al.*, 2018). A su vez, estas alteraciones disminuyen la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono, propiciando el desplazamiento altitudinal y latitudinal de especies en respuesta a nuevas condiciones climáticas (Pech *et al.*, 2017; Sáenz-Romero *et al.*, 2016). Estos eventos provocan alteraciones en los patrones fenológicos de las especies forestales (Piao *et al.*, 2019), desencadenando una asincronía entre las poblaciones naturales y el clima para el cual están adaptadas afectando la competitividad entre especies, favoreciendo a aquellas con mayor plasticidad fenológica (Vitasse *et al.*, 2018). El monitoreo de la vegetación es una herramienta clave para comprender los cambios ecológicos a nivel local y global (Pettorelli *et al.*, 2016). Entre las técnicas de monitoreo más valiosas destaca la fenología. La fenología al ser la ciencia que se basa en el estudio de los eventos periódicos que ocurren dentro del ciclo de vida de los seres vivos permite registrar eventos biológicos recurrentes conocidos como fenofases y vincularlos con variables climáticas (Cleland *et al.*, 2007; Tang *et al.*, 2016). Este enfoque ofrece respuestas a los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, ya que incluso ligeras variaciones en temperatura o precipitación pueden modificar los ciclos fenológicos (Gray & Ewers, 2021).

El monitoreo fenológico en los bosques mixtos ayuda a identificar los cambios presentes en su comportamiento. Estos bosques resultan idóneos ya que se caracterizan por una alta diversidad de especies y una marcada estacionalidad; son especialmente sensibles a variaciones en temperatura y precipitación, lo que afecta la temporalidad de las fenofases (Delpierre *et al.*, 2016; Gray & Ewers, 2021). La observación fenológica permite identificar patrones de adaptación o estrés, ayudando a predecir cambios en la productividad, la regeneración natural y las interacciones ecológicas (Duputié *et al.*, 2015; Pezzini *et al.*, 2014). Además, la información fenológica es esencial para establecer periodos críticos para la conservación de especies sensibles, como las polinizadoras o dispersoras de semillas, cuyas dinámicas pueden verse alteradas por desajustes fenológicos (Flores *et al.*, 2023; Morellato *et al.*, 2016). Dado que los bosques de pino-

encino cumplen funciones clave como la captación de agua, la protección del suelo y el almacenamiento de carbono (Felipe-Lucia *et al.*, 2018), integrar el monitoreo fenológico en su manejo es clave para su conservación a largo plazo.

En este sentido, las coníferas se distinguen por mantener una actividad fisiológica constante a lo largo del año, mostrando una menor dependencia de los cambios estacionales en comparación con las latifoliadas (Rossi *et al.*, 2016). Estas especies, han desarrollado adaptaciones que les permiten conservar agua, resistir bajas temperaturas y mantener la fotosíntesis incluso en condiciones climáticas adversas (Rossi *et al.*, 2016). Por otro lado, las latifoliadas se caracterizan por patrones estacionales marcados que ocurren en respuesta a los cambios en el clima y el ambiente (Körner & Basler, 2010). Estas especies de árboles de hojas anchas suelen presentar un ciclo anual que inicia en primavera y termina en invierno (Silvestro *et al.*, 2025). Este ciclo les permite optimizar los recursos (luz solar y agua), y sincronizarse con la actividad de polinizadores y dispersores, influyendo en su supervivencia y éxito reproductivo (Körner & Basler, 2010; Madrid-Aispuro *et al.*, 2025a).

El análisis de estos patrones fenológicos permite comprender las estrategias adaptativas de las especies frente a las variaciones ambientales, proporcionando el marco necesario para evaluar sus similitudes y/o diferencias dentro del ecosistema. Consecuentemente, el objetivo del presente trabajo fue identificar y describir las fases fenológicas de cinco especies dentro de un bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental. La hipótesis a probar es que las cinco especies que coexisten en el bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental presentan fases fenológicas asincrónicas y diferenciadas entre ellas, potencialmente determinadas por sus respuestas ecológicas al entorno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a un sitio donde convergen ocho especies arbóreas, conocido como Mesa de Pawiranachi, ubicado dentro del municipio de Guachochi, Chihuahua en la Sierra Madre Occidental (Pompa-García *et al.*, 2025), dentro de las coordenadas centrales 107.1114 O y 27.1492 N, a una altitud de 2400 msnm (Figura 1). Este sitio presenta una alta diversidad de especies, el terreno se caracteriza por una pendiente menor del 5% y un clima templado de estacionalidad marcada la cual ha sido documentada en estudios previos (Acosta-Hernández *et al.*, 2024; Silva-Ávila *et al.*, 2025). La vegetación se conforma por bosques jóvenes que incluyen especies de los géneros *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus* y *Arbutus* dentro del estrado arbóreo y dentro del estrato herbáceo se encuentran especies de los géneros *Cologania*, *Cyperus*, *Desmodium*, *Trifolium*, *Sporobolus*, *Zuloagaea*, *Eleusine* y *Bouteloua* (Pompa-García *et al.*, 2024). Las especies arbóreas muestreadas fueron *Arbutus bicolor* S. González, M. González & P.D. Sørensen, *Juniperus deppeana* Steud., *Pinus engelmannii* Carrière, *Quercus durifolia* Seemen y *Quercus grisea* Liebm.

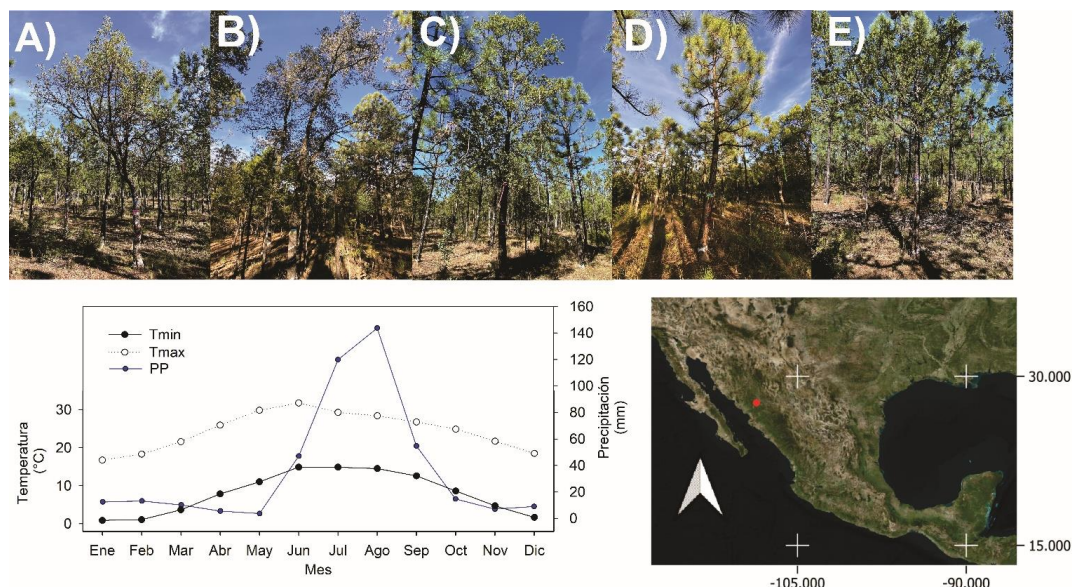


Figura 1. Localización del área de estudio, climograma y especies muestreadas: a) *A. bicolor*, b) *Q. durifolia*, c) *Q. grisea*, d) *P. engelmannii* y e) *J. deppeana*.

Figure 1. Location of the study area, climogram and sampled species: a) *A. bicolor*, b) *Q. durifolia*, c) *Q. grisea*, d) *P. engelmannii* y e) *J. deppeana*.

Muestreo de fenofases

Se muestrearon cinco individuos por especie de acuerdo a lo recomendado por Benavidez et al., (2023), seleccionando árboles bien conformados, sin daños aparentes, y cuyas características dasométricas se mencionan en la Tabla 1. Por un periodo de un año se tomaron fotografías mensuales de una misma ramilla, el periodo abarcó de noviembre de 2023 a octubre de 2024 procurando cubrir el ciclo fenológico anual. Con el fin de tener uniformidad en las fotografías tomadas, se realizaron en la misma dirección y hora del día, buscando preferentemente su exposición al sol. Las fases fenológicas registradas fueron: a) fructificación, b) formación y crecimiento de órganos reproductivos, c) reposo o dormancia, d) caída de hojas, e) desarrollo de yemas apicales y axilares y f) elongación del follaje.

Tabla 1. Características dasométricas de los árboles muestreados.

Table 1. Dasometric characteristics of the sampled trees.

Especie	DN	Sd de DN	AT	Sd de AT
<i>Arbutus bicolor</i>	14.20	4.80	5.70	1.30
<i>Juniperus deppeana</i>	9.86	1.89	4.27	0.27
<i>Pinus engelmannii</i>	23.20	5.18	10.14	1.92
<i>Quercus durifolia</i>	26.12	5.19	11.65	1.20
<i>Quercus grisea</i>	14.20	7.26	7.87	2.92

DN = diámetro a la altura del pecho; AT = altura total y Sd = desviación estándar.

RESULTADOS

Las especies muestreadas presentaron comportamientos diferenciados en cuando a sus fases fenológicas (Figura 2). Dentro de las coníferas que comprenden a *P. engelmannii* y *J. deppeana* no fue posible documentar la fase de fructificación, atribuible a que presenta años semilleros, mientras que, en las latifoliadas como *A. bicolor*, *Q. durifolia* y *Q. grisea* la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos no se pudo observar dentro del muestreo realizado.

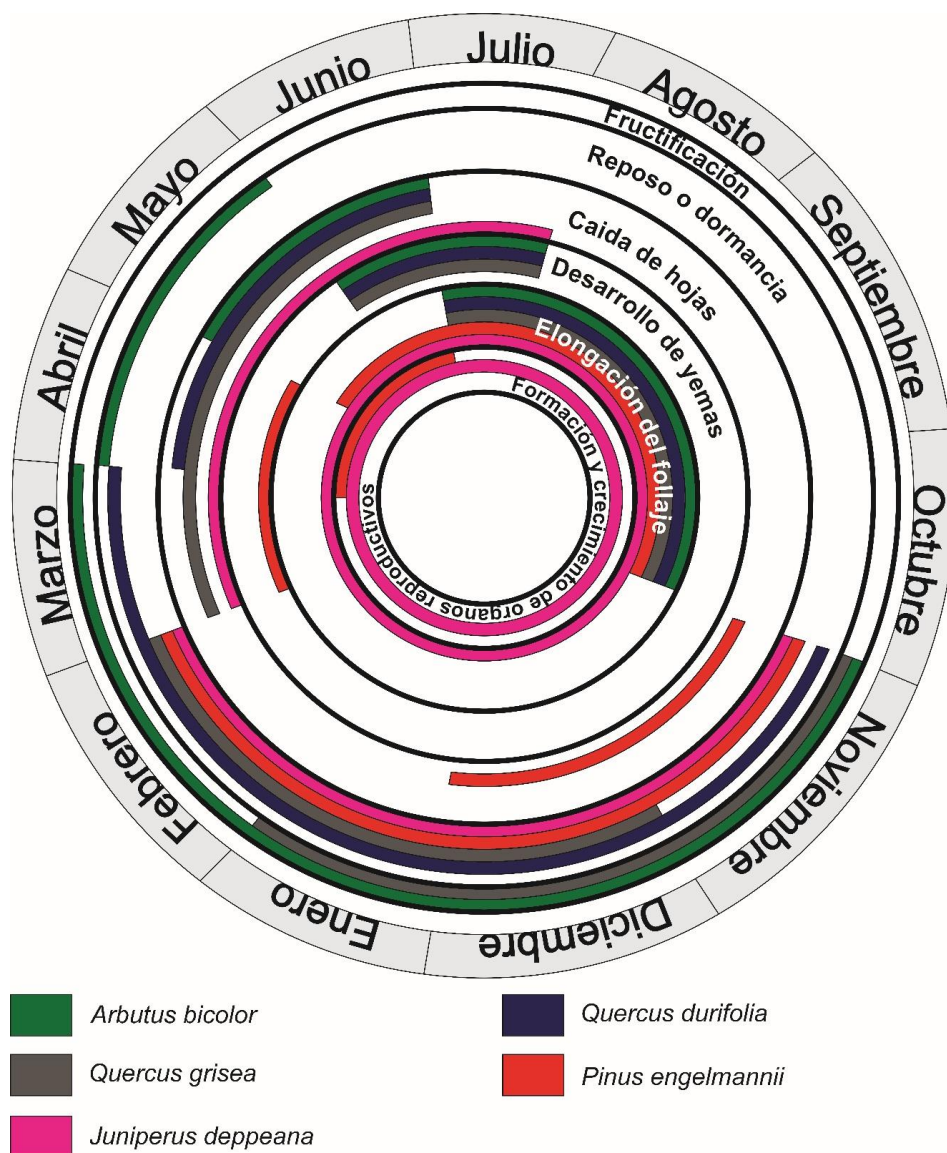


Figura 2. Calendario de fases fenológicas por especies muestreadas.
Figure 2. Phenological phase calendar by sampled species.

Descripción de fases fenológicas por especie

Arbutus bicolor S. González, M. González & P.D. Sørensen

Al inicio del muestreo se pudo identificar a la especie *A. bicolor* dentro de la fase fructificación. En esta fase se encontró el fruto (baya) en algunos de los árboles en proceso de maduración

presentando una coloración de amarillo a naranja con textura rugosa y en otros árboles el fruto en estado maduro, con una tonalidad rojo intenso. Para el caso de las bayas maduras estas se encontraron sobre ramillas exfoliadas, con corteza interna lisa de color rojizo mientras que las que se encontraron en proceso de maduración presentó tonalidad café. Esta coloración la hace atractiva para los animales dispersores, indicando la baya lista para su esparcimiento. El cambio de color es la característica más notoria ligada a la maduración, la transformación más importante es la degradación del color la cual está asociada con la síntesis o desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas). Este proceso permitió a la baya seguir desarrollándose hasta alcanzar su tamaño final en noviembre, destinando los nutrientes almacenados a los frutos para asegurar una buena maduración. En el periodo de diciembre a marzo se presentó la abscisión del fruto, proceso que se dio una vez que las bayas están completamente maduras. Durante este periodo el árbol fue desprendiéndose gradualmente de los frutos. En estos meses se apreció un cambio de tonalidad en las bayas pasando de un color rojo brillante a amarillo o naranja, perdiendo humedad (Figura 3A y B).

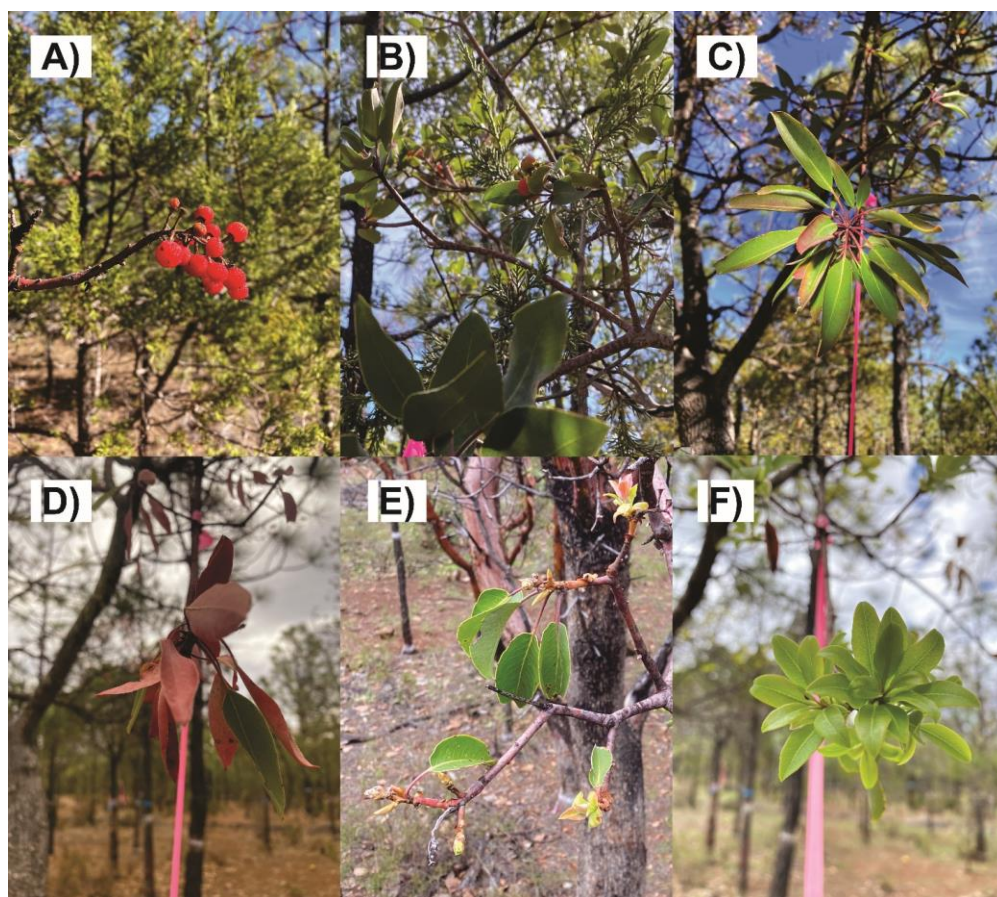


Figura 3. Desarrollo fenológico de *Arbutus bicolor*. A) y B) Fase de fructificación, baya en estado maduro y en proceso de maduración, C) Ramilla en estado de reposo, D) Fase de caída de hojas, E) Desarrollo de yemas y E) Elongación del follaje

Figure 3. Phenological development of *Arbutus bicolor*. A) and B) Fruiting phase, berry in its ripe state and in the process of maturation, C) Twig in its resting state, D) Leaf fall phase, E) Bud development and E) Foliage elongation.

En los meses de abril a mayo se presentó la fase de reposo o dormancia, apreciando la disminución en su actividad metabólica significativa (Figura 3C). A principios del mes de mayo se pudo observar que el árbol entro en la fase de caída de hojas conservando unas cuantas al final de la fase, no realizando un crecimiento activo. La coloración de las hojas durante este proceso pasó de un verde intenso en abril a un café o amarillo a lo largo de los meses (Figura 3D).

Con la caída de las primeras lluvias producto de la temporada de verano, la especie entró en un crecimiento activo de sus estructuras. Durante este periodo se presentó la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares en las ramillas presentándose a partir del mes de junio (Figura 3E). Durante el mes de julio se presentó un crecimiento visible de desarrollo de hojas producto de las condiciones cálidas y una mayor precipitación estimulando su crecimiento, iniciando la fase de elongación de follaje la cual se prolongó hasta el mes de agosto el árbol continuó con la elongación de las hojas, adquiriendo su forma madura, cambiando de tonalidad a verde oscuro, aumentando su rugosidad en los meses subsecuentes (septiembre-octubre) (Figura 3F).

En el periodo estudiado no se evidencio la ocurrencia de inflorescencias. A pesar de que en el año 2023 se documentó la presencia de frutos para finales de año (noviembre) en el año subsecuente no fue posible vislumbrar dicha fase en los árboles muestreados lo que denota variaciones en los periodos de floración (Figura 4). El año 2023 en los meses previos a la fructificación (agosto-octubre) se caracterizó por presentar temperaturas más altas, mayores temperaturas mínimas y una mayor precipitación que las presentadas en el año 2024.

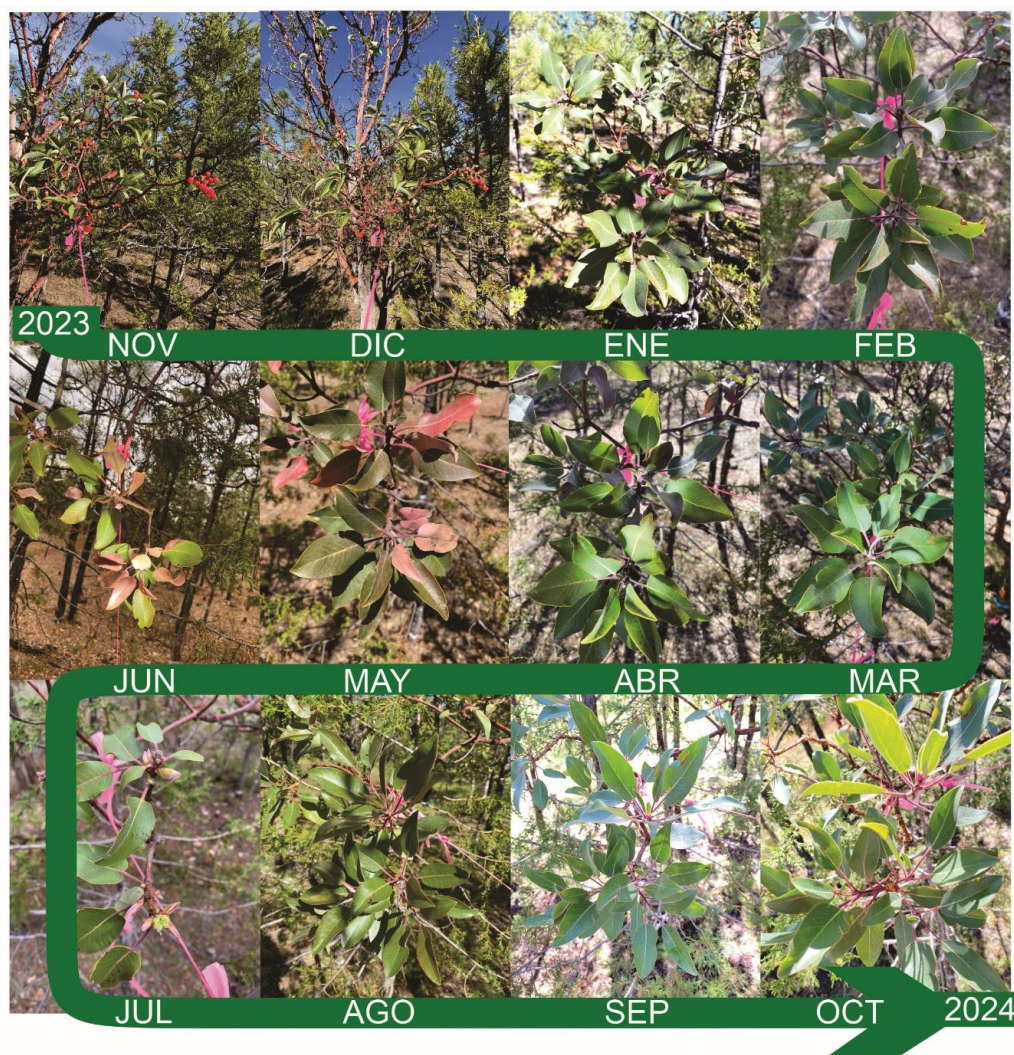


Figura 4. Fases fenológicas de *Arbutus bicolor*.
Figure 4. Phenological phases of *Arbutus bicolor*.

***Quercus durifolia* Seemen.**

Para esta especie al inicio del muestreo en noviembre, los árboles se encontraban en fase dormancia. Durante este periodo las hojas presentaron una tonalidad verde con secciones café, continuando así hasta el mes de febrero-marzo (Figura 5A, Figura 6).

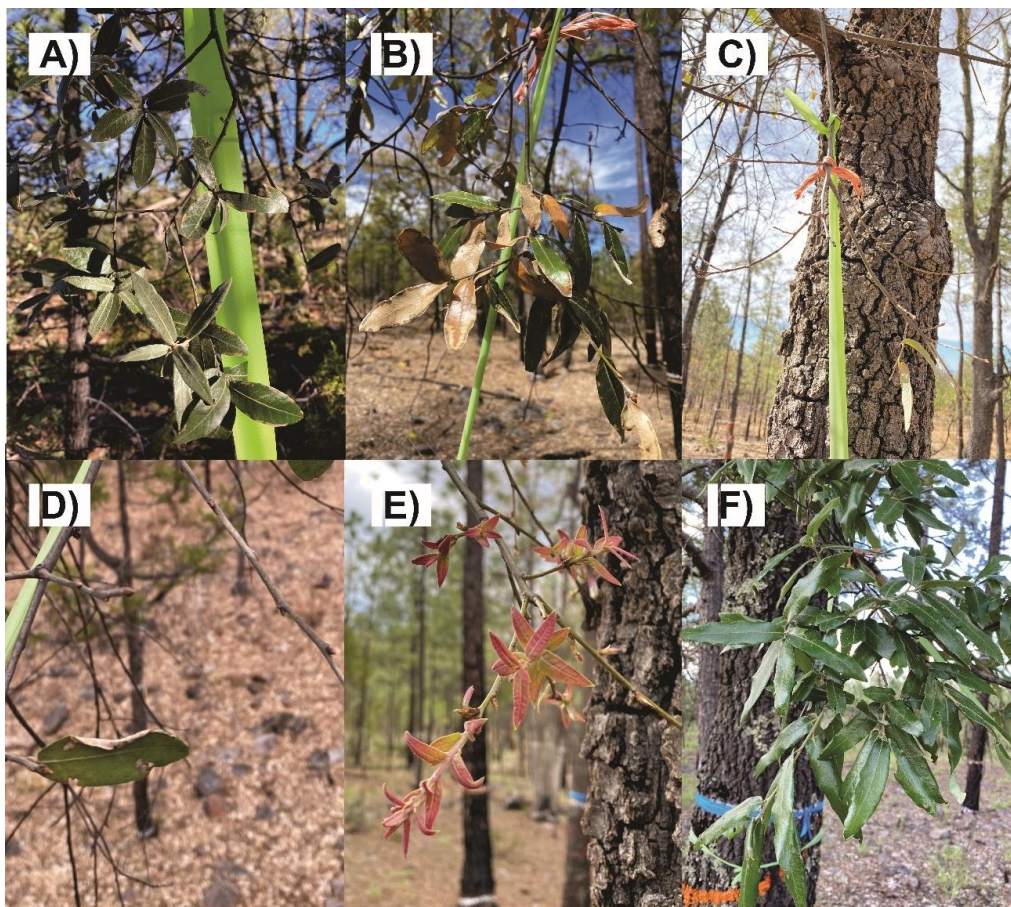


Figura 5. Desarrollo fenológico de *Quercus durifolia*. A) Ramilla en estado de reposo, B) y C) Fase de caída de hojas, D) Desarrollo de yemas, E) y F) Elongación del follaje.

Figure 5. Phenological development of *Quercus durifolia*. A) Twig in dormant state, B) and C) Leaf fall phase, D) Bud development, E) and F) Foliage elongation.

Asumiendo que, con el aumento de las temperaturas en el sitio y la ausencia de precipitación, el árbol entro en la fase de caída de hojas. La caída de hojas en los árboles muestreados se presentó en los meses de abril a junio, desarrollándose de manera gradual hasta obtener un desprendimiento total de las hojas en el mes de junio. Durante este periodo las hojas pasaron por las tonalidades verde, amarillo finalizando en café (Figura 5B y C, Figura 6).

En el mes de junio cuando usualmente llegan las lluvias, la especie inició su crecimiento vegetativo. Esta etapa se caracterizó por el desarrollo de las yemas axilares y apicales en las ramillas apreciando la aparición de nuevos brotes de hojas, que crecieron rápidamente en tonalidades rojizas siendo consistente en todos los árboles muestreados para el mes de julio (Figura 5D, Figura 6).

La fase de elongación de follaje se desarrolló a partir del mes de julio-agosto, proceso en el cual las hojas tuvieron un crecimiento acelerado hasta alcanzar su tamaño final extendiéndose hasta el mes de octubre. Dentro de este periodo las hojas pasaron de tonalidades rojizas a verde, alcanzando su tamaño máximo al final de periodo (Figura 5E y F, Figura 6).



Figura 6. Fases fenológicas de *Quercus durifolia*.
Figure 6. Phenological phases of *Quercus durifolia*.

***Quercus grisea* Liebm.**

Al inicio del muestreo fenológico en noviembre, la especie se encontraba en la fase de fructificación, por lo cual se puede observar el desarrollo de bellotas. Las bellotas encontradas presentaron forma ovoide o cilíndrica de tonalidades verde y café. A lo largo de los meses las bellotas continuaron creciendo hasta alcanzar su tamaño definitivo y madurez. La caída de bellotas marca el final del proceso de fructificación, presentándose en los meses de diciembre a enero, después de su oscurecimiento y engrosamiento de pared (Figura 7A y B, Figura 8).

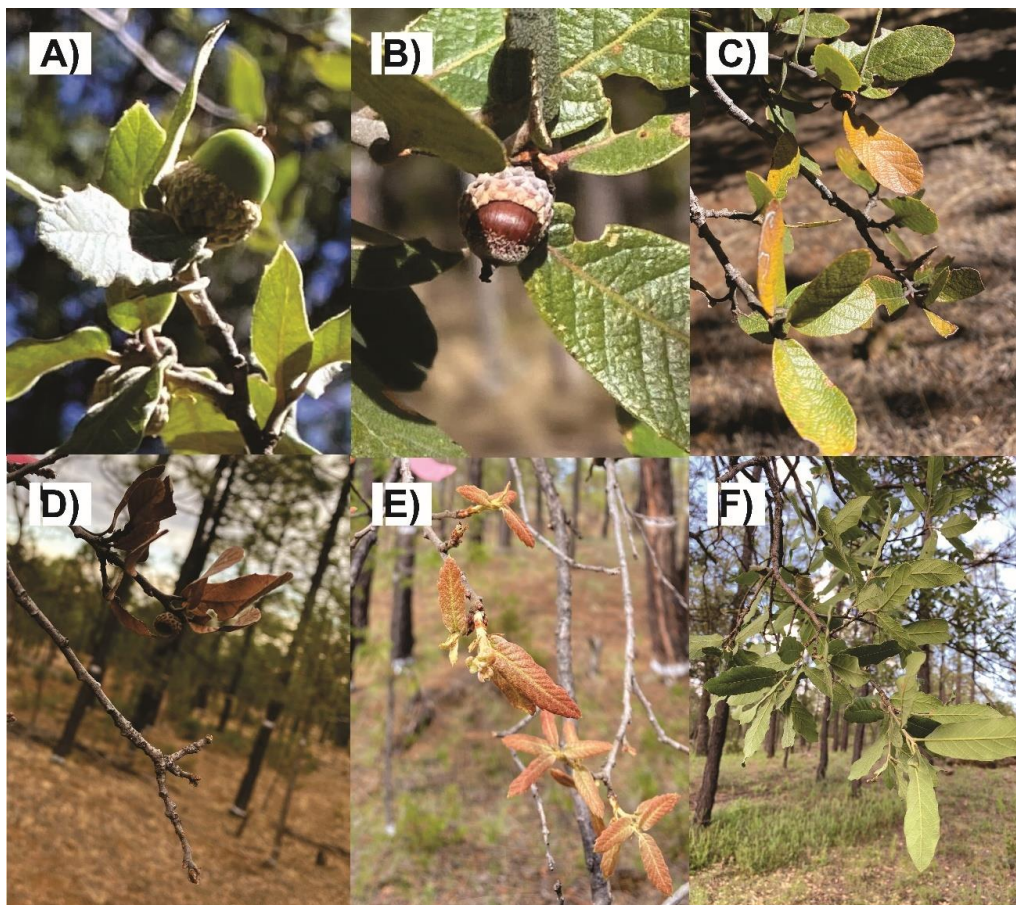


Figura 7. Desarrollo fenológico de *Quercus grisea*. A) y B) Fase de fructificación, baya en proceso de maduración y baya en estado maduro, C) Fase de caída de hojas, D) Desarrollo de yemas, E) y F) Elongación del follaje.

Figure 7. Phenological development of *Quercus grisea*. A) and B) Fruiting phase, berry in the process of ripening and berry in its ripe state, C) Leaf fall phase, D) Bud development, E) and F) Foliage elongation.

Posteriormente el árbol entro en la fase de reposo en los meses de diciembre a febrero. Para el periodo de marzo a mayo los árboles entraron en la fase de caída de hojas. Dentro de este periodo se presentó un cambio de coloración pasando de un verde a amarillo-café. En los árboles donde no se desarrollaron bellotas este proceso se recorrió de mayo a junio (Figura 7C, Figura 8).

En el mes de junio, los árboles reactivaron su crecimiento, entrando en la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares que se caracterizó por un crecimiento continuo del árbol. Durante este periodo las yemas axilares y apicales se desarrollaron dando lugar al crecimiento de nuevos brotes a partir de julio. Posterior a ello el árbol entro en la fase de elongación de follaje, en el cual las primeras hojas presentaron una coloración rojiza y continuaron su crecimiento hasta alcanzar un mayor tamaño y coloración verde en el transcurso del mes de agosto llegando a su madurez en septiembre-octubre (Figura 7E, Figura 8).



Figura 8. Fases fenológicas de *Quercus grisea*.
Figure 8. Phenological phases of *Quercus grisea*.

***Pinus engelmannii* Carrière**

Al inicio del muestreo en el mes de noviembre se identificó a la especie en la fase de caída de hojas, desprendiéndose de las acículas más viejas. En este mes se presentó una mayor temperatura acompañado de un poco de precipitación y un bajo déficit de presión de vapor (Figura 9A).

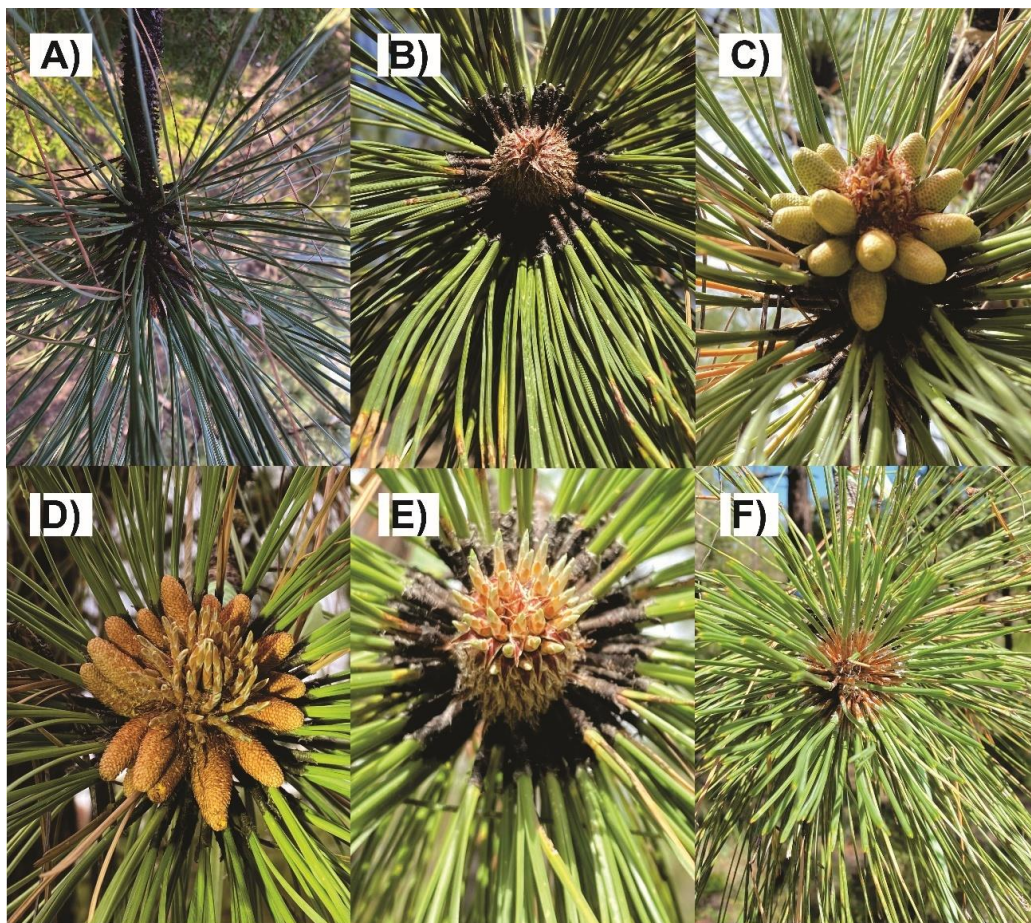


Figura 9. Desarrollo fenológico de *Pinus engelmannii*. A) Fase de caída de hojas, B) Fase de desarrollo de yemas, C) y D) Fase de formación y crecimiento de los órganos reproductivos, E) y F) Fase de elongación del follaje.

Figure 9. Phenological development of *Pinus engelmannii*. A) Leaf fall phase, B) Bud development phase, C) and D) Reproductive organ formation and growth phase, E) and F) Foliage elongation phase.

A partir de noviembre-diciembre se aprecia que el árbol entró en la fase de reposo, la cual se extendió a lo largo del invierno hasta el mes de febrero. Durante esta temporada no se produjo un cambio notorio en la coloración y/o crecimiento de las acículas.

En el mes de marzo cuando se supone aumentan las temperaturas y el fotoperíodo, los árboles comenzaron su crecimiento vegetativo. Durante este mes el árbol entró en la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares, se apreciaba un notorio crecimiento en las yemas dando origen a nuevas acículas dentro de las ramillas la cual continúa hasta los meses de marzo a abril (Figura 9B, Figura 10).

A finales del mes de abril se observó el inicio de la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos, con la presencia de los estróbilos masculinos o de polen. Para el mes de mayo se observaron los estróbilos en el ápice de las ramillas con color verde y de forma redondeada. En los meses subsecuentes se apreció su elongación acelerada y su cambio de tonalidad a color amarillo, producto de la liberación de los granos de polen para el mes de junio. El término de la fase se dio al terminar la liberación de polen, después de lo cual empezó el desprendimiento de los estróbilos (Figura 9C y D, Figura 10).

A partir del mes de mayo se presenta la fase de elongación de follaje, apareciendo nuevos brotes que comienzan a extenderse de la parte final hacia el exterior, lo que genera la aparición de nuevas ramas. A medida que la yema continúa alargándose, comienza a emerger un brote joven con las

primeras acículas para el mes de junio. Finalmente se observó el crecimiento de la copa del pino al alargarse las acículas anteriormente formadas, dando origen a acículas maduras y densas (Figura 9E y F, Figura 10).



Figura 10. Fases fenológicas de *Pinus engelmannii*.
Figure 10. Phenological phases of *Pinus engelmannii*.

***Juniperus deppeana* Steud.**

Al comienzo del muestreo en el mes de noviembre, se apreció a la especie en la fase de dormancia. En este periodo no se observó un crecimiento evidente de los árboles seleccionados, no descartando que esto ocurra en otros individuos.

A partir de marzo es posible apreciar un cambio en la tonalidad en algunas de sus hojas, tornándose de verde a tonos marrones indicando el inicio de la fase de caída de hojas. En algunos árboles esto no se presentó el mismo mes lo cual nos hace suponer que no es una fase tan marcada prolongándose en algunos casos hasta el mes de julio (Figura 11A).

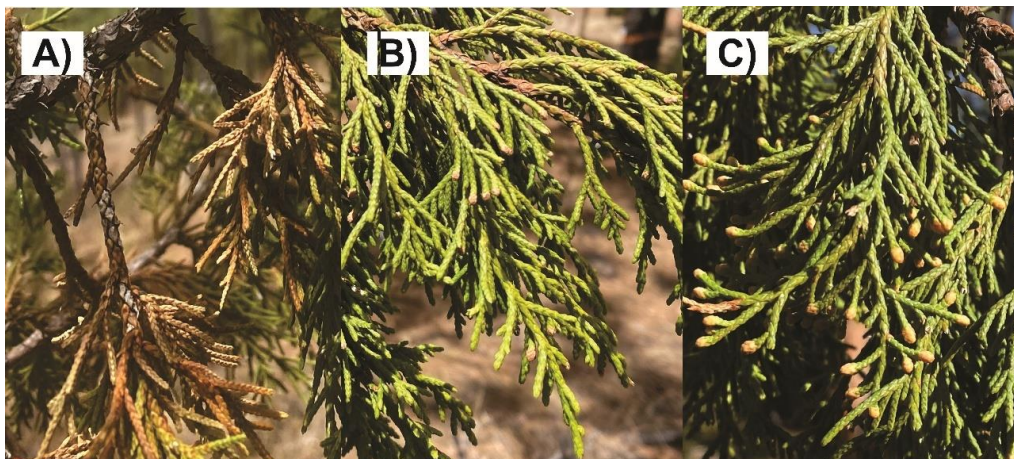


Figura 11. Desarrollo fenológico de *Juniperus deppeana*. A) Fase de caída de hojas, B) Fase de elongación del follaje, y C) Fase de formación y crecimiento de los órganos reproductivos.

Figure 11. Phenological development of *Juniperus deppeana*. A) Leaf fall phase, B) Foliage elongation phase and C) Reproductive organ formation and growth phase.

A lo largo del año se llevó a cabo un crecimiento vegetativo lento pero constante en la fase de elongación de follaje, produciendo durante esta fase sus hojas en forma de escamas. A partir del mes de enero es posible identificar hojas al inicio de forma acicular, rasgo que permite reducir la pérdida de agua. Posteriormente se observaron modificaciones hasta convertirse en escamas, anchas y cortas. A medida que crecen dentro de la ramilla es posible identificar los nuevos segmentos gracias a su tonalidad verde claro (Figura 11B).

Durante todo el año de muestreo fue posible identificar la presencia de hojas adulta con conos masculinos inmaduros, los cuales crecieron gradualmente lo cual hace suponer que esta especie tiene una temporalidad amplia dentro de la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos (Figura 11C). También, se identificó zonas secas en las puntas de algunas hojas producto de las condiciones ambientales del sitio. Este año no se observó la presencia de conos femeninos (Figura 12).



Figura 12. Fases fenológicas de *Juniperus deppeana*.
Figure 12. Phenological phases of *Juniperus deppeana*.

DISCUSIÓN

Este es uno de los primeros acercamientos a la fenología de todas las especies. Para *Arbutus bicolor*, la información disponible se centra en su taxonomía y morfología (González-Elizondo *et al.*, 2012a; González-Elizondo *et al.*, 2012b). Se han documentado aspectos relacionados con su floración y fructificación, en otras especies, encontrando variación en la temporalidad de las fases con relación al sitio de estudio. En un estudio realizado por Tovar-Rocha *et al.* (2017) para *Arbutus xalapensis* en Michoacán indicaron que la fase de fructificación se dio de mayo a junio presentándose de manera más temprana a lo reportado por el presente estudio. Estas diferencias en la temporalidad de las fenofases pueden estar influenciadas por variaciones en las condiciones ambientales de los sitios (Cleland, 2010).

Para el caso de *Quercus durifolia* la información disponible aborda el crecimiento, producción de planta en vivero, así como una descripción inicial de su fenología, encontrando ciertas similitudes en las fases reportadas (Madrid-Aispuro *et al.*, 2025a; Madrid-Aispuro *et al.*, 2025b). Dentro de la fase de caída de hojas está se presentó con el aumento de las temperaturas en el sitio

y la ausencia de precipitación, proceso que ayuda a reducir la pérdida de agua por transpiración (Janssen *et al.*, 2021). Durante la fase de elongación foliar, el crecimiento de las hojas está asociado con su actividad meristemática y a la expansión celular promovida por fitohormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales regulan la división y el alargamiento de las células del mesófilo (Alcantara-Cortes *et al.*, 2019). En este periodo, la transición de tonalidades rojizas a verdes refleja un cambio fisiológico relevante: la disminución progresiva de antocianinas y el aumento en la síntesis de clorofilas, lo que marca el inicio de una mayor capacidad fotosintética (Taiz *et al.*, 2023). A medida que las hojas alcanzan su tamaño final, se completa la diferenciación de los tejidos fotosintéticos y se optimiza la eficiencia del aparato fotosintético, permitiendo una mayor asimilación de carbono y contribuyendo activamente al crecimiento y metabolismo de la planta (Taiz *et al.*, 2023). Para esta especie no se pudo observar la floración, polinización, el desarrollo de frutos y caída de bellotas dentro del muestreo realizado. La ausencia de eventos reproductivos observada durante el periodo de muestreo puede explicarse por las características fenológicas y fisiológicas propias del género *Quercus*. Diversas especies de encinos presentan una fructificación masiva intermitente o masting (Sork, 1993), fenómeno en el cual la producción de flores y frutos ocurre con periodicidad variable y depende de condiciones climáticas favorables, disponibilidad de recursos y señales hormonales internas (Koenig *et al.*, 2015). En años no reproductivos, los árboles suelen destinar la mayor parte de sus reservas energéticas al crecimiento vegetativo y a la formación de estructuras perennes, en lugar de invertir en procesos reproductivos costosos como la floración o el desarrollo de bellotas. En *Q. durifolia*, esta estrategia fisiológica permite optimizar el uso de recursos en ambientes estacionales o limitantes, asegurando una reproducción más eficiente en años subsecuentes con condiciones ambientales óptimas.

En *Q. grisea*, la información fenológica aborda únicamente la floración y maduración de sus frutos (Valencia-Ávalos *et al.*, 2020). La fase de fructificación solo pudo ser documentada para *Q. grisea*, lo cual puede deberse a la alta longevidad que presenta el género *Quercus*, que influye en el tiempo de su etapa reproductiva que se presenta en el intervalo de los 3 a 50 años. Sin embargo, el periodo de fructificación de *Q. grisea*, fue coincidente con lo reportado por Valencia-Ávalos *et al.* (2020) en un estudio realizado para diferentes especies de *Quercus* cuyo periodo de fructificación es de junio a diciembre el cual incluso puede extenderse hasta el año siguiente dependiendo de la especie. En la fase de fructificación, las variaciones en la coloración de las bellotas reflejan las diferentes etapas del proceso de maduración y acumulación de reservas. Durante esta fase, se produce el traslado y almacenamiento de compuestos orgánicos desde las hojas hacia los frutos, lo que permite el almacenamiento progresivo de almidones, lípidos y proteínas, esenciales para el desarrollo embrionario y la posterior germinación de la semilla (Bonner & Vozzo, 1987; Pulido & Díaz, 2005). La coloración verde inicial de las bellotas está asociada a la presencia de clorofilas activas, las cuales disminuyen conforme avanza la maduración y se acumulan taninos y compuestos fenólicos, responsables de los tonos pardos y grises característicos del fruto maduro (Espelta *et al.*, 2008). Este proceso fisiológico está fuertemente influido por factores abióticos como la temperatura y la humedad, así como por la disponibilidad de recursos que determinan la eficiencia en la síntesis y transporte de metabolitos hacia los frutos, afectando finalmente la viabilidad y éxito germinativo de las bellotas de *Q. grisea*.

Con respecto a *Pinus engelmannii* los estudios se han centrado principalmente en su desarrollo vegetativo, reproductivo y en la influencia de factores ambientales sobre su crecimiento y calidad de planta (García-Pérez *et al.*, 2015; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2000). Los resultados de inicio de crecimiento vegetativo caracterizado por el desarrollo de yemas apicales y axilares son coincidentes con lo reportado por Rodríguez-Laguna *et al.* (2000) para un estudio realizado en el Estado de México. En *P. engelmannii* con el desarrollo de yemas apicales y axilares, las paredes celulares de las células se relajaron y expandieron, lo que permitió su alargamiento. En el caso de las coníferas su estrategia de crecimiento continuo y lento, favorece la supervivencia en ambientes fríos o de baja disponibilidad hídrica, asegurando su persistencia y éxito ecológico en ecosistemas boreales y de alta montaña (Rossi *et al.*, 2016).

La investigación sobre las fases fenológicas de *Juniperus deppeana* ha sido limitada, pero existen estudios que abordan aspectos relacionados con su ecología, genética y manejo (Adams *et al.*, 2007; Herrerías-Mier & Nieto de Pascual Pola, 2020). También se han documentado aspectos relacionados a su fructificación y diseminación indicando periodos que abarcan de septiembre a marzo (Martínez *et al.*, 2007). Las acículas en los *Juniperus* están dispuestas de manera que ofrecen una alta superficie para la fotosíntesis, pero con una estructura adaptada a la conservación del agua, lo que es crucial en su hábitat natural y los convierte en una especie tolerante a condiciones de sequía (Rzendowski y Huerta., 1978). Esta característica se relaciona directamente con la fase de crecimiento, en esta etapa la eficiencia en el uso del agua y la persistencia del follaje permiten a la especie sostener su metabolismo básico y prepararse para las fases reproductivas posteriores (Williams *et al.*, 2010). Existen grandes retos en cuanto a su estudio dado que se cuenta con información limitada.

De manera general, las especies del sitio presentaron un estado de reposo durante el invierno. En estos meses de disminución en su actividad los árboles conservan su energía y agua, el crecimiento de algunas especies se ralentiza significativamente como mecanismo de defensa, ya que los árboles disminuyen su actividad metabólica (Alcantara-Cortes *et al.*, 2019; Valladares *et al.*, 2004).

Posteriormente la estación seca en el sitio de estudio propició la caída de hojas de los árboles forestales derivado del estrés hídrico que provoca en las plantas (Hsiao, 1973). Durante la estación seca, la disponibilidad de agua en el suelo disminuye considerablemente, lo que afecta el transporte de agua desde las raíces hasta las hojas (Valladares *et al.*, 2004). *P. engelmannii* se desprendió de las acículas más viejas lo cual forma parte de su ciclo de vida. Por otro lado, *J. deppeana* no pierde sus hojas anualmente como otras especies caducifolias como *Arbutus* o *Quercus*, esta especie puede experimentar caída de algunas ramas o hojas que se secan, especialmente si la planta está sometida a estrés ambiental, producto de un factor externo.

En la mayoría de las especies se observó que la tasa de crecimiento vegetativo es más rápida durante los meses de verano. Durante este período, la planta también expande su copa y sus raíces, aprovechando las precipitaciones y las temperaturas moderadas que favorecen el crecimiento (Fritts, 1976; Ryan, 2010). Dentro de esta fase el aumento de la temperatura estimula la reanudación del metabolismo celular mientras que el fotoperíodo favorece la activación de las yemas. Por otro lado, el crecimiento y elongación de las mismas se encuentran regulados por las auxinas, que son cruciales para la elongación celular (Cleland, 2010).

No obstante, a los resultados obtenidos en este trabajo, encontramos que implícitamente existen algunas limitaciones que deben tomarse en cuenta para futuras investigaciones. En primer lugar, la temporalidad de los muestreos debiera reducirse para detallar mejor las fenofases, así como extender el periodo de monitoreo. Algunas de ellas presentaron cambios notorios en el lapso de un mes por lo cual refinar el muestreo acortando los tiempos resulta fundamental, incluyendo el diseño de un esquema de muestreo representativo (Zhang *et al.*, 2003). De igual forma, la observación de todas sus fenofases se llevaría a cabo si ampliáramos el muestreo por un par de años. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, es conveniente un análisis de costos, ya que los muestreos extendidos a mayor temporalidad suelen incrementar sus alcances científicos, dado que algunas especies requieren más de un año para completar sus ciclos (Valencia-Ávalos *et al.*, 2020). El uso de nuevas herramientas de monitoreo como las cámaras fenológicas son de gran importancia en estudios ecológicos ya que permiten monitorear los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo y observar el desarrollo de la vegetación en tiempo casi real (Brown *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio confirmaron la importancia del monitoreo fenológico para comprender el comportamiento de las especies al interior de las comunidades. El estudio fenológico de especies coexistentes en un bosque mixto del norte de México evidenc

variabilidad en su temporalidad y duración de las fenofases atribuida a mecanismos funcionales específicos en respuesta al ambiente. En particular, *Pinus engelmannii*, con un inicio temprano en sus fenofases, mientras que en *Arbutus bicolor* fueron aletargadas e incluso ausentes como en *Juniperus deppeana* y *Quercus grisea*. Estas diferencias fenológicas proporcionan información fundamental para predecir las posibles modificaciones en la composición y el funcionamiento de los bosques mixtos frente a los cambios físicos. En conjunto, los resultados refuerzan la importancia de la fenología como herramienta para comprender y prever las respuestas de los ecosistemas forestales frente a las crecientes amenazas del cambio climático, especialmente en regiones biodiversas y vulnerables como el norte de México. Estudios posteriores deberían centrarse en un monitoreo más refinado temporalmente y estructurado por edades, incluyendo el análisis de la suficiencia muestral.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada por medio de la convocatoria “Estancias Posdoctorales por México 2023”. Así mismo, se agradece al laboratorio de Dendroecología de la FCFyA por el apoyo de <https://dendrored.ujed.mx/> en la fase de colección de datos y escritura del manuscrito. Se reconoce el arbitraje de revisores anónimos para mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Hernández, A. C., Pompa-García, M., Martínez-Rivas, J. A., & Vivar-Vivar, E. D. (2024). Cutting the Greenness Index into 12 monthly slices: How intra-annual NDVI dynamics help decipher drought responses in mixed forest tree species. *Remote Sensing*, 16(2), 389.
- Adams, R. P., Schwarzbach, A. E., Nguyen, S., & Morris, J. A. (2007). Geographic variation in *Juniperus deppeana*. *Phytologia*, 89(2), 132–150.
- Alcantara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17(32), 109–129.
- Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1–55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Anderegg, W. R. L., Trugman, A. T., Badgley, G., Anderson, C. M., Bartuska, A., Ciais, P., Cullenward, D., Field, C. B., Freeman, J., Goetz, S. J., Hicke, J. A., Huntzinger, D., Jackson, R. B., Nickerson, J., Pacala, S., & Randerson, J. T. (2020). Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, 368(6497), eaaz7005. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7005>
- Benavidez, A., Tallei, E., & Schaaf, A. (2023). Reproductive phenology of timber tree species in the Yungas Piedmont Forest of Argentina. *Darwiniana, nueva serie*, 11(1), 427–449.
- Bonner, F. T., & Vozzo, J. A. (1987). *Seed biology and technology of Quercus*. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report SO-66.
- Brown, T. B., Hultine, K. R., Steltzer, H., Denny, E. G., Denslow, M. W., Granados, J., Henderson, S., Moore, D., Nagai, S., SanClements, M., Sánchez-Azofeifa, A., Sonnentag, O., Tazik, D., & Richardson, A. D. (2016). Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 84–93. <https://doi.org/10.1002/fee.1222>
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., & Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(7), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003>

- Cleland, R. E. (2010). Auxin and Cell Elongation. En P. J. Davies (Ed.), *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* (3a ed., pp. 204–220). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_10
- Delpierre, N., Vitasse, Y., Chuine, I., Guillemot, J., Bazot, S., Rutishauser, T., & Rathgeber, C. B. K. (2016). Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models. *Annals of Forest Science*, 73, 5–25. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0477-6>
- Duputié, A., Rutschmann, A., Ronce, O., & Chuine, I. (2015). Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. *Global Change Biology*, 21(8), 3062–3073. <https://doi.org/10.1111/gcb.12914>
- Espelta, J. M., Cortés, P., Molowny-Horas, R., Sánchez-Humanes, B., & Retana, J. (2008). Masting mediated by summer drought reduces acorn predation in Mediterranean oak forests. *Ecology*, 89(3), 805–817.
- Felipe-Lucia, M. R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M. M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Allan, E. (2018). Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nature Communications*, 9, 4839. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4>
- Flores, S., Forister, M. L., Sulbaran, H., Díaz, R., & Dyer, L. A. (2023). Extreme drought disrupts plant phenology: Insights from 35 years of cloud forest data in Venezuela. *Ecology*, 104(5), e4012. <https://doi.org/10.1002/ecy.4012>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>
- García-Pérez, J. L., Aldrete, A., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., & Prieto-Ruiz, J. Á. (2015). Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el precondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 38(3), 297–304.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Sørensen, P. D. (2012a). *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbuteae), a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 99, 55–72. <https://doi.org/10.21829/abm99.2012.19>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012b). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351–403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- Gray, R. E. J., & Ewers, R. M. (2021). Monitoring forest phenology in a changing world. *Forests*, 12(3), 297. <https://doi.org/10.3390/f12030297>
- Herrerías-Mier, L. G., & Nieto de Pascual Pola, C. del C. (2020). Structural and demographic characteristics of *Juniperus deppeana* Steud. in two locations in Tlaxcala State. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.618>
- Hsiao, T. C. (1973). Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24, 519–570. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>
- Janssen, T., Van Der Velde, Y., Hofhansl, F., Luyssaert, S., Naudts, K., Driessen, B. & Dolman, H. (2021). Drought effects on leaf fall, leaf flushing and stem growth in the Amazon forest: reconciling remote sensing data and field observations. *Biogeosciences*, 18(14), 4445–4472.
- Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*, 72, 145–167. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5>
- Koenig, W.D., Knops, J.M., Carmen, W.J., & Pearse, I. S. (2015). What drives masting? The phenological synchrony hypothesis. *Ecology*, 96(1), 184–192.
- Körner, C., & Basler, D. (2010). Phenology under global warming. *Science*, 327(5972), 1461–1462.
- Madrid-Aispuro, R. E., Cordova-Saucedo, M. D., Prieto-Ruiz, J. Á., Aldrete, A., Salcido-Ruiz, S., & Pérez-Luna, A. (2025a). Crecimiento de *Quercus durifolia* Seemen en sustratos con turba, corteza, aserrín y fertilizante de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(88), 74–97. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i88.1526>

- Madrid-Aispuro, R.E., J.A. Prieto-Ruiz, A. Aldrete, S. Salcido-Ruiz, E.D. Vivar-Vivar, L.E. Martínez-Nevárez (2025b). Descripción inicial de la fenología de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. árbol endémico de la Sierra Madre Occidental. *POLIBOTÁNICA*, (60).
- Martínez, A. J., Sainos, P., Lezama Delgado, E., & Angeles-Álvarez, G. (2007). El tamaño sí importa: los frutos grandes de *Juniperus deppeana* Steud. (sabino) son más susceptibles a depredación por insectos. *Madera y Bosques*, 13(2), 65–81. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321229>
- Molina-Marchan, E., Narváez-Flores, R., & Mojica-Guerrero, A. S. (2024). Estructura horizontal y diversidad de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en México. *Polibotánica*, 0(57), 63–80. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.4>
- Morellato, L. P. C., Alberton, B., Alvarado, S. T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M. G. G., Cancian, L. F., Carstensen, D. W., Escobar, D. F. E., Leite, P. T. P., Mendoza, I., Rocha, N. M. W. B., Soares, N. C., Silva, T. S. F., Staggemeier, V. G., Streher, A. S., Vargas, B. C., & Peres, C. A. (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, 195, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>
- Morin, X., Fahse, L., Jactel, H., Scherer-Lorenzen, M., García-Valdés, R., & Bugmann, H. (2018). Long-term response of forest productivity to climate change is mostly driven by change in tree species composition. *Scientific Reports*, 8, 5627. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23763-y>
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnell, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332). <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Múcher, S., Dawson, T. P., Fernandez, M., Lucas, R., Schaepman, M. E., Wang, T., O'Connor, B., Jongman, R. H. G., Kempeneers, P., Sonnenschein, R., Leidner, A. K., Böhm, M., He, K. S., Nagendra, H., Dubois, G., Fatoyinbo, T., Geller, G. N. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(3), 122–131. <https://doi.org/10.1002/rse2.15>
- Pezzini, F. F., Ranieri, B. D., Brandão, D. O., Fernandes, G. W., Quesada, M., Espírito-Santo, M. M., & Jacobi, C. M. (2014). Changes in tree phenology along natural regeneration in a seasonally dry tropical forest. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 148(5), 965–974. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.877530>
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., Shen, M., & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25(6), 1922–1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Pompa-García, M., Romero-Rocha, S., Martínez-Rivas, J. A., Vivar-Vivar, E. D., Rodríguez-Flores, F. D. J., & Yerena-Yamallel, J. I. (2024). Kawí Tamiruyé: A permanent research forest plot in the Sierra Tarahumara. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(86), 123-143.
- Pompa-García, M., Camarero, J. J., Valeriano, C., & Vivar-Vivar, E. D. (2025). Variable growth responses of four tree species to climate and drought in a Madrean pine-oak forest. *Forest Ecosystems*, 12, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100292>
- Pulido, F. J., & Díaz, M. (2005). Regeneration of a Mediterranean oak: a whole-cycle approach. *Ecoscience*, 12(1), 92-102.
- Rodríguez-Laguna, R., Vargas-Hernández, J. J., Cetina-Alcalá, V. M., Ramírez-Herrera, C., & Escalante-Estrada, J. A. (2000). Variación en el patrón de alargamiento del brote

Recibido:
18/mayo/2025

Aceptado:
1/diciembre/2025

- terminal en diferentes procedencias de *Pinus engelmannii* Carr. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 85(87), 77–103.
- Rossi, S., Anfodillo, T., Čufar, K., Cuny, H. E., Deslauriers, A., Fonti, P., & Treml, V. (2016). Pattern of xylem phenology in conifers of cold ecosystems at the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, 22(11), 3804–3813.
- Ryan, M. G. (2010). Editorial: Temperature and tree growth. *Tree Physiology*, 30(6), 667–668. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq033>
- Rzedowski, J., & Huerta, L. (1978). vegetación de México (Vol. 432). México: Editorial Limusa.
- Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, D. G., Beaulieu, J., St Clair, J. B., & Jaquish, B. C. (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(3), 303–323.
- Silva-Ávila, N., Pompa-García, M., & Martínez-Rivas, J. A. (2025). Kawí Tamiruyé: un acceso universal al conocimiento del bosque. Una revisión documental. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, (11), 60–75.
- Silvestro, R., Deslauriers, A., Prislan, P., Rademacher, T., Rezaie, N., Richardson, A. D., & Rossi, S. (2025). From Roots to Leaves: Tree Growth Phenology in Forest Ecosystems. *Current Forestry Reports*, 11(1), 12.
- Sork, V. L. (1993). Evolutionary ecology of mast-seeding in temperate and tropical oaks (*Quercus* spp.). *Vegetatio*, 107(1), 133–147.
- Taiz, L., Møller, I. M., Murphy, A., & Zeiger, E. (2023). Plant Physiology and Development. En *Plant Physiology and Development*. <https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001>
- Tang, J., Körner, C., Muraoka, H., Piao, S., Shen, M., Thackeray, S. J., & Yang, X. (2016). Emerging opportunities and challenges in phenology: A review. *Ecosphere*, 7(8), e01436. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1436>
- Tovar-Rocha, V., Rocha-Granados, M. del C., & Delgado-Valerio, P. (2017). Influencia de la maduración del fruto de *Arbutus xalapensis* Kunth sobre la germinación de semillas y embriones cigóticos. *Polibotánica*, 37(19), 79–92.
- Valencia-Avalos, S., Coombes, A. J., Rodríguez-Acosta, M., Parra-Suárez, A., Morales-Sandoval, P., Bassuk, N., González-Rodríguez, A., Llanderal-Mendoza, J., Alvarez-Clare, S., Beckman, E., Carrero, C., Paist, S., & Westwood, M. (2020). *Manual para la propagación de Quercus: una guía fácil y rápida para cultivar encinos en México y América Central* (M. Rodríguez-Acosta & A. J. Coombes, Eds.; 1a ed.). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., Corcuera, L., Sisó, S., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2a ed., pp. 163–190). Ministerio de Medio Ambiente.
- Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., Reed, B. C., & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 471–475. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9)