



PÁG.

CONTENIDO

- 1 Diversidad florística asociada a *Clinopodium macrostemon* y *Litsea glaucescens* en un bosque de encino-pino en Oaxaca, México
Floristic diversity associated to *Clinopodium macrostemon* and *Litsea glaucescens* in an oak-pine forest in Oaxaca, México
Jarquin-Rosales Domitila | Campos Angeles Gisela Virginia | Reyes-Hernández Valentín José | Lozano-Trejo Salvador | Alpuche-Osorno Juan José | Rodríguez-Ortiz Gerardo
- 15 Diversidad morfológica de *Vitis tiliifolia* Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult. (Vitaceae) en poblaciones silvestres de cuatro localidades del estado de Veracruz, México
Morphological diversity of *Vitis tiliifolia* Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult. (Vitaceae) in wild populations from four locations in the state of Veracruz, Mexico
Mata Alejandro Humberto | Castañeda-Chávez María Del Refugio | Aguilar Pérez Luis Alfonso | Mójica-Zárate Héctor Tecumshé | Cruz-Castillo Juan Guillermo
- 27 Regeneración natural arbórea e influencia de factores edáficos de un bosque templado en Guadalupe y Calvo, Chihuahua, México
Natural tree regeneration and influence of edaphic factors in a temperate forest in Guadalupe y Calvo, Chihuahua, Mexico
Mateo-García Mario Francisco | Alanís-Rodríguez Eduardo | García-García Samuel Alberto | Cuellar-Rodríguez Luis Gerardo | Yerena-Yamallel José Israel | Aguirre-Calderón Oscar Alberto
- 47 Estructura, diversidad y captura de carbono del arbolado urbano de un complejo industrial en el noreste de México
Structure, diversity, and carbon sequestration of urban trees in an industrial complex in northeastern Mexico
Alcalá Rojas Alejandro | Alanís Rodríguez Eduardo | Aguirre Calderón Oscar Alberto | Cuellar Rodríguez Gerardo | Yerena Yamallel José Israel | Sandoval García Rufino
- 59 Evaluación de la infestación de *Phoradendron bolleanum* (Seem.) Eichler en *Quercus convallata* Trel. y *Quercus edwardii* Trel. en Durango, México
Evaluation of *Phoradendron bolleanum* (Seem.) Eichler infestation in *Quercus convallata* Trel. and *Quercus edwardii* Trel. in Durango, Mexico
Dominguez-Amaya Mesias Edwin | Briseño Reyes Jaime | Vega-Nieva Daniel José | Corral-Rivas José Javier | Tinoco-Orozco Diana Aime
- 77 Efecto de prácticas agroecológicas basadas en fertilizantes orgánicos en agroecosistemas monocultivo y milpa en la Sierra de Zongolica, Veracruz, México
Effect of agroecological practices based on organic fertilization in monoculture and milpa agroecosystems in the Sierra de Zongolica, Veracruz, Mexico
De La Cruz-De Jesus Mayra Yaneth | Hernández-Vásquez Luis Alfredo | Tecpile Cortes Jaime | Reyes-Rosas Sergio | Armida-Lozano Jorge | Ramírez-Rivera Emmanuel de Jesús | Sánchez-Zavalegui Romeo Alejandro | Del Rosario-Arellano José Luis | Purroy-Vásquez Rubén | Hernández-Salinas Gregorio
- 95 Evaluación de la eficiencia de dos esquemas de fertilización y bioherbicidas en maíz (*Zea mays* L.) en el Valle del Yaqui bajo condiciones de casa sombra y riego localizado
Evaluation of the efficiency of two fertilization schemes and bioherbicides in corn (*Zea mays* L.) in the Yaqui Valley under greenhouse conditions and localized irrigation
Arellano Gil Maritza | Estrella Osuna Luis Enrique | Verdugo Fuentes Abel Alberto | Rodríguez Ramírez Roberto | Villa Lerma Alma Guadalupe | Valdez Mendoza Brissa Jeaneth | Mungarro Ibarra Catalina | Portillo García Luis Enrique
- 107 Viabilidad y germinación del polen de *Agave durangensis*
Viability and germination of *Agave durangensis* Gentry pollen
Salazar Palacios Diana Laura | Delgado Alvarado Eli Amanda | Torres Ricario Rene | Uribe Soto José Natividad | Avila Reyes Jose Antonio | Hernández Vargas Vicente | Pérez Salinas Shaila Nayeli | Chavez Aguilar Fernanda Yoana | Gutiérrez Velázquez Marcela Verónica
- 121 Florivoría por *Euphoria basalis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae) y su efecto en la eficiencia reproductiva de *Ipomoea stans* (Convolvulaceae) en el volcán Teuhtli, México
Floral herbivory by *Euphoria basalis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae) and its effect on the reproductive success of *Ipomoea stans* (Convolvulaceae) in the Teuhtli Volcano, Mexico
Martínez Cárdenas María de Lourdes | Vargas Miranda Bárbara | Emiliano-Juárez Alejandro A.
- 135 Influencia de la composición del medio de cultivo en la germinación asimbiótica de *Cyrtopodium macrobulbon* (Lex.) G.A. Romero & Carnevali (Orchidaceae)
Influence of the culture medium composition on the asymbiotic germination of *Cyrtopodium macrobulbon* (Lex.) G.A. Romero & Carnevali (Orchidaceae)
Olvera-Casanova Diego Alfredo | Sánchez-Contreras Angeles | Qui-Zapata Joaquín Alejandro | Herrera-Cool Gilbert José | Cob-Uicab José Vidal | López-Puc Guadalupe
- 149 Caracterización polínica en mieles de tres subespecies de *Apis mellifera* L. en Alvarado, Veracruz, México
Pollen characterization in honeys of three subspecies of *Apis mellifera* L. in Alvarado, Veracruz, Mexico
Alemán López Viridiana | López Mata Lauro | Medina Pérez Gabriela | Luna Rodríguez Lorena | Vargas Romero Juan Manuel | Galván Escobedo Iris Grisel

PÁG.

CONTENIDO

- 169 Análisis palinológico y fisicoquímico de mieles de *Apis mellifera* L. en la localidad los Cerritos, Hidalgo, México
Palynological and physicochemical analysis of honey of *Apis mellifera* L. from los Cerritos, Hidalgo, Mexico
Navarrete López Sandra Joceline | Quiroz García David Leonor | Fernández Nava Rafael
- 187 Desarrollo de un protocolo de micropropagación para *Lupinus campestris* Cham. & Schltl. como base para la domesticación y conservación
Development of a micropropagation protocol for *Lupinus campestris* Cham. & Schltl. as a basis for domestication and conservation
Rodríguez Sías Daniela | Pérez Álvarez Sandra | Sánchez-Chávez Esteban | Leyva-Hernández Héctor A. | Uranga-Valencia Luisa Patricia
- 203 Efecto de la meta-topolina sobre la multiplicación y la hiperhidricidad *in vitro* en maguey plateado (*Agave guiengola* Gentry)
Effect of meta-topolin on *in vitro* multiplication and hyperhydricity in silver maguey (*Agave guiengola* Gentry)
Ramírez Mosqueda Marco Antonio | Cadena-Zamudio Jorge David | Cruz-Gutiérrez Esmeralda J. | Sandoval-Cansino Gabriela | Delgado-Aceves María de Lourdes | Gutiérrez-Mora Antonia
- 215 Evaluación de la toxicidad del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. en ratones C57BL/6
Evaluation of the toxicity of the essential oil of *Monarda fistulosa* L. in C57BL/6 Mice.
Delgadillo Puga Claudia | Cariño-Cervantes Yonatan Y. | Cruz-Martínez Yesica R. | Torre-Villalvazo Iván
- 231 Respostas fotossintéticas de espécie fitorremediadora à elevação de salinidade no meio aquático.
Photosynthetic responses of phytoremediating species to increased salinity in aquatic environments
da Silva Bastos Guimarães Alice | Moll Hüther Cristina | Jimenez de Almeida Rigueira Roberta | Soares de Melo Pedro | Martins Corrêa Gabriela | Amado Garcia Silva Rodrigo | Oswald Silveiras Kircher Doris
- 251 Actividad antifúngica y tripanocida *in vitro* de extractos de *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin y clemants
In vitro antifungal and trypanocidal activity of extracts of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin y clemants
Santiago Martínez Angeles | Riley Saldaña Christian Anabí | Moreno Rodríguez Adriana | De Fuentes Vicente José Antonio | de la Cruz Chacón Iván
- 271 Efecto de nanotubos de carbono sobre la germinación y desarrollo de *Agave salmiana* de diversos períodos de colecta
Effect of carbon nanotube on the germination and development of *Agave salmiana* of various collection periods
Gómez-Pelayo Berenice | García-Nuñez Hilda Guadalupe | Arzate-Fernández Amaury Martín | Reyes-Díaz Jesús Ignacio
- 289 Crecimiento micelial *in vitro* de *Auricularia nigricans* en residuos lignocelulósicos disponibles en el estado de Campeche, México
In vitro mycelial growth of *Auricularia nigricans* in available lignocellulosic waste from the state of Campeche, Mexico
De la Cruz Blanco Geydi Mariela | Gaitán Hernández Rigoberto | Flota Bañuelos Carolina | Casanova Pérez Lorena | Sierra Sigfrido | Rosales Martinez Veronica
- 305 *Sesuvium portulacastrum* en la fitorremediación para suelos salinos como estrategia ambiental sostenible
Sesuvium portulacastrum in phytoremediation of saline soils as a sustainable environmental strategy
Gómez Peraza Rosa Luz | Valenzuela Quiñónez Wenceslao | Espinosa Alonso Laura Gabriela | Galaviz Julian Alberto | Medina Gogoy Sergio | Hernández Armenta Jesús Uriel
- 317 Patogenicidad de *Corynespora cassiicola* y su control *in vitro* con *Bacillus subtilis* CBCK47 y extracto acuoso de *Croton chichenensis*
Pathogenicity of *Corynespora cassiicola* and its *in vitro* control with *Bacillus subtilis* CBCK47 and aqueous extract of *Croton chichenensis*
Rivero Uribe Adriana Rubi | Moo Koh Felicia Amalia | Cristóbal Alejo Jairo | Reyes Ramírez Arturo | Tun Suárez José María | Gamboa Angulo María Marcela
- 333 Plantas medicinales utilizadas para enfermedades respiratorias en habitantes de Pisaflores, Hidalgo, México
Medicinal plants used for respiratory diseases among inhabitants of Pisaflores, Hidalgo, Mexico
Lara Reimers Eduardo Alberto | Montesinos Adan Leonel Rosario | Mora Olivo Arturo | García Martínez José Eduardo | Cruz García Francisco | González Fuentes José Antonio | Encinas Domínguez Juan Antonio | Preciado Rangel Pablo
- 353 Análisis etnobotánico de variedades locales de maguey pulquero en el noreste del Estado de México
Ethnobotanical analysis of local varieties of maguey pulquero in the northeast of the Estado de México
Cruz Vasconcelos Sonia Teresa | Ramírez Herrera Carlos | Cruz Huerta Nicacio | Reyes Hernández Valentín José | Gómez Guerrero Armando
- 369 Bioculturalidad a través de los hongos comestibles silvestres y cultivados en San Pedro Benito Juárez, Atlixco, Puebla
Bioculturality through wild and cultivated edible mushrooms in San Pedro Benito Juarez, Atlixco, Puebla
Segura Ruiz Karla Elaine | Casiano Ventura Miguel Angel | Sobal Cruz Mercedes | Morales Almora Porfirio
- 381 Las plantas medicinales utilizadas en la cabecera municipal de San Antonio Cañada, Puebla, México
Medicinal plants used in the municipal seat of San Antonio Cañada, Puebla, Mexico
De la luz-González Andrea | Martínez-Moreno David | Reyes-Matamoros Jenaro | Andrés-Hernández Agustina Rosa | Reyes-Azcárate Yessica
- 401 Arvenses asociadas al cajete de maguey pulquero, en Lerma, México: énfasis en el uso de especies de Asteraceae
Weed species associated with the pulque agave basin in Lerma, Mexico: emphasis on the use of Asteraceae species
González Estrada Teresa de Jesús | Sánchez-Nava Susana | Franco-Mora Omar | Sánchez-Pale Jesús Ricardo

POLIBOTÁNICA

Núm. 62

ISSN electrónico: 2395-9525

Julio 2026

Portada



El proceso comunitario de aprendizaje y aprovechamiento sustentable de hongos comestibles a partir de residuos agrícolas, como rastrojo de maíz y frijol, representa una alternativa agroecológica que fortalece la soberanía alimentaria, promueve el uso responsable de recursos locales y contribuye a la revitalización del conocimiento etnomicológico tradicional. La participación comunitaria, el intercambio gastronómico y la transmisión intergeneracional de saberes reflejan la estrecha relación entre patrimonio biocultural, innovación tecnológica y resiliencia social en contextos rurales indígenas.

The community-based process of learning and sustainable use of edible mushrooms through agricultural residues, such as maize and bean straw, represents an agroecological alternative that strengthens food sovereignty, promotes the responsible use of local resources, and contributes to the revitalization of traditional ethnomycological knowledge. Community participation, gastronomic exchange, and the intergenerational transmission of knowledge reflect the close relationship between biocultural heritage, technological innovation, and social resilience in indigenous rural contexts.

por/by
Rafael Fernández Nava

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EQUIPO EDITORIAL

Angela Catalina Mendoza González,
Instituto Politécnico Nacional, México

Ricardo Valenzuela Garza,
Instituto Politécnico Nacional, México

Carlos Fabián Vargas Mendoza,
Instituto Politécnico Nacional, México

Rafael Fernández Nava,
Instituto Politécnico Nacional, México

EDITORES ASOCIADOS

Xitlali Aguirre Dugua,
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México

Fernando Alzate Guarín,
Universidad de Antioquia, Colombia

María de la Luz Arreguín Sánchez,
IPN, México

Itzel Becerra Absalón,
UNAM, México

Alexander Berrocal-Jiménez,
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

José Juan Blancas Vázquez,
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Mireya Burgos Hernández,
Colegio de Postgraduados, México

Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa,
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Gustavo Cruz-Cárdenas,
IPN, México

Luis Enrique Eguarte Fruns,
UNAM, México

Adolfo Espejo Serna,
UAM Iztapalapa, México

Javier Carlos Estrada Sánchez,
Universidad de los Andes, Venezuela

María Teresa Fernández-Marrón,
Universidad Complutense de Madrid, España

Daniel Freitas Freire Martins,
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brazil

Roberto Garibay Orijel,
UNAM, México

Gregorio del Carmen Godoy Hernández,
CICY, A.C. México

Diódoro Granados Sánchez,
Universidad Autónoma Chapingo, México

Anahí N. Herrera Cano,
Universidad de Buenos Aires, Argentina

María de los Ángeles Herrera Campos,
UNAM, México

Omaira Hokche,
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Francisco Martín Huerta Martínez,
Universidad de Guadalajara, México

Blanca León,
University of Texas at Austin, USA

Hilda P. León Tejera,
UNAM, México

Victor M. Loyola Vargas,
CICY, A.C. México

Miguel Ángel Macías Rodríguez,
Universidad de Guadalajara, México

Tomás Martínez Trinidad,
Colegio de Postgraduados, México

Juan Luis Mata,
University of South Alabama, USA

Diana Miriam Mc Caughey Espinoza,
Universidad de Sonora

Natalia Mesa Sierra,
USDA Forest Service, USA

Demetria Martha Mondragón Chaparro,
IPN, México

María Eugenia Morales-Puentes,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Eberto Novelo Maldonado,
UNAM, México

Gilberto Alejandro Ocampo Acosta,
Universidad Autónoma de Aguascalientes, México

Neftalí Ochoa Alejo,
CINVESTAV, México

Ileana Ortegón Aznar,
Universidad Autónoma de Yucatán, México

María Lelia Pochettino,
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Francisco Reyes Zepeda,
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Paz Alejandra Quintanar Isaías,
UAM-Iztapalapa, México

Beatriz Quiroz-González,
IPN, México

Carlos Ramírez Vargas,
Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Juan Antonio Reyes-Agüero,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Valentín José Reyes Hernández,
Colegio de Postgraduados, México

Rafael Salgado Garciglia,
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Primo Sánchez Morales,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Odilón Manuel Sánchez Sánchez,
Universidad Veracruzana, México

Thália do Socorro Serra Gama,
University of Sao Paulo, Brazil

Sigfrido Sierra Galván,
UNAM, México

Heike Vibrans,
Colegio de Postgraduados, México

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

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

CONSEJO EDITORIAL

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

María del Socorro González Elizondo,
Instituto Politécnico Nacional, México

Dra. Silvia Evangelista Lozano,
Instituto Politécnico Nacional, México

Luis Gerardo Zepeda Vallejo,
Instituto Politécnico Nacional, 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 Ruizb*

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: *Mtra. Ana María Arrona González*

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

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director

Dr. Mario Alberto Rodríguez Casas

Subdirectora Académica:

Biol. Elizabeth Guarneros Banuelos

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Edgar Gregorio Cárcamo Villalobos

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerril

POLIBOTÁNICA, Año 30, No. 62, Julio 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.

EFECTO DE LA META-TOPOLINA SOBRE LA MULTIPLICACIÓN Y LA HIPERHIDRICIDAD *in vitro* EN MAGUEY PLATEADO (*Agave guiengola* Gentry)

EFFECT OF META-TOPOLIN ON *in vitro* MULTIPLICATION AND HYPERHYDRICITY IN SILVER MAGUEY (*Agave guiengola* Gentry)

Ramírez Mosqueda, Marco Antonio; Cadena-Zamudio, Jorge David; Cruz-Gutiérrez, Esmeralda J.; Sandoval-Cancino, Gabriela; Delgado-Aceves, María de Lourdes; Gutiérrez-Mora, Antonia

EFECTO DE LA META-TOPOLINA SOBRE LA MULTIPLICACIÓN Y LA HIPERHIDRICIDAD *in vitro* EN MAGUEY PLATEADO (*Agave guiengola* GENTRY)

EFFECT OF META-TOPOLIN ON *in vitro* MULTIPLICATION AND HYPERHYDRICITY IN SILVER MAGUEY (*Agave guiengola* GENTRY)



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/)).

Efecto de la meta-topolina sobre la multiplicación y la hiperhidricidad *in vitro* en maguey plateado (*Agave guiengola* Gentry)

Effect of meta-topolin on *in vitro* multiplication and hyperhydricity in silver maguey (*Agave guiengola* Gentry)

Ramírez Mosqueda, Marco Antonio; Cadena-Zamudio, Jorge David; Cruz-Gutiérrez, Esmeralda J.; Sandoval-Cancino, Gabriela; Delgado-Aceves, María de Lourdes; Gutiérrez-Mora, Antonia

EFFECTO DE LA META-TOPOLINA SOBRE LA MULTIPLICACIÓN Y LA HIPERHIDRICIDAD *in vitro* EN MAGUEY PLATEADO (*Agave guiengola* GENTRY)

EFFECT OF META-TOPOLIN ON *in vitro* MULTIPLICATION AND HYPERHYDRICITY IN SILVER MAGUEY (*Agave guiengola* GENTRY)

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 62: 203-213. Julio 2026

DOI:

10.18387/polibotanica.62.14

Ramírez-Mosqueda, Marco A. / <https://orcid.org/0000-0002-2477-4612>

Autor de correspondencia: marcomosqueda02@hotmail.com

Cadena-Zamudio, Jorge David / <https://orcid.org/0000-0002-2855-4561>

Cruz-Gutiérrez, Esmeralda J. / <https://orcid.org/0000-0002-2092-5284>

Sandoval-Cancino, Gabriela / <https://orcid.org/0000-0002-5676-9367>

Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP,
Boulevard de la Biodiversidad No. 400 Rancho las Cruces, 47600
Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Delgado-Aceves, María de Lourdes <https://orcid.org/0000-0001-7823-0082>

Gutiérrez-Mora, Antonia <https://orcid.org/0000-0001-9279-8985>

Unidad de Biotecnología Vegetal. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Av. Normalistas 800,
Guadalajara, Jalisco 44270, México

RESUMEN: La mayoría de las especies del género *Agave* son plantas que cuentan con importancia económica debido a la fabricación de bebidas fermentadas y destiladas. Sin embargo, existen algunas como *Agave guiengola* Gentry que al ser endémicas y poseer poblaciones naturales completamente reducidas, no se ha explorado su potencial uso. El cultivo de tejidos vegetales permite la obtención (multiplicación clonal) de propágulos de este agave. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la meta-topolina en la multiplicación *in vitro* de *A. guiengola*. Para ello, se utilizaron plantas previamente establecidas en condiciones *in vitro* y se transfirieron a medio MS (Murashige and Skoog, 1962) suplementado con diferentes concentraciones de meta-topolina (0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg L⁻¹ de mT). Al cabo de 30 días se evaluó el número de brotes, longitud de brotes y número de hojas. Se realizó el enraizamiento en medio MS sin reguladores del crecimiento vegetal (RCV). Al cabo de 30 días se evaluó el enraizamiento de los brotes obtenidos. Los resultados mostraron una mayor formación de brotes con la adición de 1 mg L⁻¹ de mT, sin embargo, en todas las concentraciones de mT evaluadas se presentaron brotes con hiperhidricidad. La hiperhidricidad presente dificultó el enraizamiento de los brotes. Estos resultados indican, la necesidad de ajustar las concentraciones de mT utilizada en la multiplicación *in vitro* de *A. guiengola* para evitar la hiperhidricidad de los brotes generados.

Palabras clave: Hiperhidricidad, maguey plateado, micropropagación, topolinas.

ABSTRACT: Most species of the *Agave* genus are economically important plants due to their use in the production of fermented and distilled beverages. However, some species like *A. guiengola* Gentry, which are endemic and have severely reduced natural populations, have not had their potential uses explored. Plant tissue culture enables the production (clonal multiplication) of propagules of this agave. The objective of this study was to evaluate the effect of meta-Topolin on the *in vitro* multiplication of *A. guiengola*. For this, previously established *in vitro* plants were transferred to MS medium (Murashige and Skoog, 1962) supplemented with different concentrations of meta-Topolin (0, 0.5, 1.0, and 1.5 mg L⁻¹ of mT). After 30 days, the number of shoots, shoot length, and number of leaves were evaluated. Rooting was carried out on MS medium without plant growth regulators (PGRs). After 30 days, rooting of the obtained shoots

was evaluated. The results showed greater shoot formation with the addition of 1 mg L⁻¹ of mT; however, shoots with hyperhydricity were observed at all tested mT concentrations. The presence of hyperhydricity hindered shoot rooting. These results indicate the need to adjust mT concentrations used in the *in vitro* multiplication of *A. guiengola* to avoid hyperhydricity in the generated shoots.

Key words: Hyperhydricity, micropropagation, silver agave, topolins.

INTRODUCCIÓN

La extracción ilegal de especímenes silvestres, aunado a la fragmentación de los hábitats y el cambio de uso de suelo ocasionan la pérdida de biodiversidad global (Kumari *et al.*, 2021; Prakash & Verma, 2022). En este contexto, las especies endémicas son recursos fitogenéticos de alto valor a las que se deben aplicar estrategias de rescate y conservación (Salgotra & Chauhan, 2023). *A. guiengola* Gentry es una especie del género *Agave* endémica de la microrregión de Guiengola en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Gentry, 2004). Esta planta se cataloga como amenazada dentro de las normas mexicanas para la protección ambiental de especies nativas de flora y fauna silvestres, conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. (SEMARNAT, 2010). Además, su uso es totalmente ornamental, a diferencia de otras especies de *Agave* de las cuales se realizan bebidas fermentadas o destiladas (SEMARNAT, 2010; Alducin-Martínez *et al.*, 2022). *A. guiengola* al ser una especie endémica y poseer poblaciones naturales completamente reducidas, no se ha explorado su potencial uso y aprovechamiento económico (Chávez-Ortiz *et al.*, 2021).

La micropropagación es una herramienta clave para la conservación y propagación de especies endémicas como *Agave guiengola*, cuya distribución restringida hace imperativo contar con protocolos eficientes de manejo *ex situ* (Chávez-Ortiz *et al.*, 2021). Entre los factores críticos que determinan el éxito en procesos de propagación *in vitro*, están el tipo y la concentración de reguladores del crecimiento vegetal (RCVs) utilizados (Teixeira da Silva *et al.*, 2019; Adu Donyina *et al.*, 2025). La meta-topolina (mT), una citocinina aromática natural, ha emergido como una alternativa prometedora, compitiendo con la fitohormona 6-bencilaminopurina (BAP) y 6-benciladenina (BA) (Zaytseva *et al.*, 2021). La mT ha demostrado promover una multiplicación robusta, con una menor incidencia de hiperhidricidad y una mejor calidad morfológica de los brotes regenerados (Dobránszki & da Silva, 2010; Magyar-Tábori *et al.*, 2010). La hiperhidricidad (antes vitrificación) es un trastorno fisiológico común en cultivos *in vitro* caracterizado por tejidos translúcidos, frágiles, con alto contenido hídrico y alteraciones anatómicas que reducen significativamente la eficiencia de micropropagación (Polivanova & Bedarev, 2022). Este fenómeno puede comprometer gravemente la funcionalidad fisiológica de los explantes e inhibir por completo la formación del sistema radicular durante la fase de enraizamiento *in vitro* (Jeyachandran Vijayakumar *et al.*, 2017; Zunazri *et al.*, 2024).

Aunque no hay datos específicos sobre el uso de mT en la propagación *in vitro* de *A. guiengola*, en otras monocotiledóneas y suculentas se ha reportado que mT logra una multiplicación efectiva sin inducir problemas morfológicos graves, e incluso promueve altos porcentajes de enraizamiento y supervivencia *ex vitro* (Reshi *et al.*, 2025). Además, las condiciones específicas del medio, como el tipo y concentración de agente gelificante, la ventilación del recipiente y la composición de nitrógeno, han sido identificadas como moduladoras críticas del riesgo de hiperhidricidad (Polivanova & Bedarev, 2022). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de meta-topolina (0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg L⁻¹) sobre la multiplicación de brotes, la incidencia de hiperhidricidad y el enraizamiento *in vitro* de *Agave guiengola*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal empleado en este estudio incluyó plantas jóvenes de *Agave guiengola* provenientes del Jardín Etnobotánico de Oaxaca, quien proporcionó material biológico para

iniciar la propagación *in vitro* de la especie. Posteriormente, se utilizaron plantas *in vitro* previamente establecidas en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), las cuales, fueron depositadas en la Colección *ex situ* de tejido vegetal del Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP.

Multiplicación del material vegetal

Las plantas fueron transferidas a medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con 30 g L⁻¹ de sacarosa, 1 mg L⁻¹ de 6-Bencilaminopurina (BAP). Se ajustó el pH de los medios a 5.8 utilizando NaOH y HCl, se agregó 2.5 g L⁻¹ de Phytigel® como agente gelificante. Los medios de cultivo fueron esterilizados en una autoclave a 1.5 kg cm⁻² y 121 °C por 15 minutos. Los cultivos se mantuvieron por 30 días a una temperatura de 24 ± 2 °C con un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, y una irradiancia de 50 µmol m⁻² s⁻¹. Multiplicado el material se transfirió a medio MS sin reguladores del crecimiento vegetal (RCV) por 30 días para evitar la residualidad del BAP.

Efecto de la meta-topolina en la propagación *in vitro*

Los brotes individuales de *A. guiengola* (~1 cm de longitud, una hoja), previamente obtenidos durante la fase de multiplicación en medio MS con BAP y MS sin RCVs, fueron utilizados como explantes iniciales para evaluar el efecto de la meta-topolina. Estos brotes se transfirieron a medio MS adicionado con 30 g L⁻¹ de sacarosa y distintas concentraciones de meta-topolina (mT: 0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg L⁻¹). El pH de todos los medios se ajustó a 5.8 empleando NaOH o HCl, y posteriormente se agregaron 2.5 g L⁻¹ de Phytigel® como agente gelificante. Los medios fueron esterilizados en autoclave a 1.5 kg cm⁻² y 121 °C durante 15 minutos. Los cultivos se incubaron en una cámara de crecimiento a 24 ± 2 °C, bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, con una irradiancia de 50 µmol m⁻² s⁻¹. Después de 30 días de cultivo, se evaluó de manera visual el número de brotes por explante y el número de hojas por brote, mientras que la longitud de los brotes se midió utilizando una regla milimétrica.

Evaluación de la hiperhidricidad

La hiperhidricidad de los brotes se evaluó al finalizar los 30 días de cultivo mediante criterios morfológicos cualitativos, siguiendo las características diagnósticas descritas por Ziv (1991), Polivanova & Bedarev (2022) y Liu *et al.* (2017). Se consideró que un explante presentaba hiperhidricidad cuando mostraba uno o más de los siguientes rasgos: (1) tejidos translúcidos o vítreos, (2) hojas engrosadas, succulentas o con apariencia acuosa, (3) tallos engrosados, frágiles o quebradizos, (4) superficie brillante o hidratación excesiva, (5) coloración verde pálida o vidriosa, y (6) pérdida de firmeza general del brote. La evaluación fue realizada de forma visual y directa sobre cada explante, registrando la presencia o ausencia del desorden fisiológico para todos los tratamientos. Estos criterios permitieron diferenciar los brotes con desarrollo normal de aquellos afectados por hiperhidricidad inducida por las distintas concentraciones de meta-topolina.

Enraizamiento

Brotes individuales de *A. guiengola* de aproximadamente 1 cm de longitud fueron transferidos a medio MS suplementado con 30 g L⁻¹ de sacarosa y 2 g L⁻¹ de carbón activado, sin reguladores del crecimiento vegetal (RCV). El medio se ajustó a pH 5.8, se gelificó con 2.5 g L⁻¹ de Phytigel® y posteriormente se esterilizó en autoclave (1.5 kg cm⁻², 121 °C, 15 minutos). Los cultivos se mantuvieron en cámara de crecimiento a 24 ± 2 °C, bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, con una irradiancia de 50 µmol m⁻² s⁻¹. Después de 30 días, se registró el número de raíces por explante y la longitud promedio de las raíces formadas.

Análisis estadísticos

En todos los experimentos se utilizó un diseño completamente al azar. Cada tratamiento contó con 30 explantes (repeticiones) considerando como repetición cada explante cultivado bajo las mismas condiciones experimentales. Se contó con un número total de muestras de 120 individuos (n = 120) y los experimentos se realizaron por duplicado para asegurar la reproducibilidad de los resultados. Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente con el software IBM SPSS

Statistics (versión 21). La normalidad y la homogeneidad de varianzas se verificaron mediante las pruebas de Kolmogorov–Smirnov y Levene, respectivamente. Cuando alguna variable no cumplió con estos supuestos ($p \leq 0.05$), se aplicó una transformación mediante logaritmo natural ($\ln$) para estabilizar la varianza y aproximar la distribución a la normalidad. Una vez satisfechos los supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$) para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

RESULTADOS

Efecto de la meta-topolina en la propagación *in vitro*

Al cabo de 30 días de cultivo, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados con meta-topolina (Tabla 1). La mayor tasa de proliferación se registró en el tratamiento con 1.0 mg L^{-1} de mT, alcanzando un promedio de 3.46 brotes por explante, valor significativamente superior al obtenido en 1.5 mg L^{-1} (2.13 brotes) y en 0.5 mg L^{-1} (1.62 brotes). El tratamiento control (0 mg L^{-1}) mostró el menor número de brotes (1.35 brotes), confirmando la capacidad de la mT para inducir una respuesta de multiplicación más intensa (Figura 1A–D). En contraste, ni la longitud de los brotes ni el número de hojas por explante mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos, indicando que el efecto de la mT se manifestó principalmente en la tasa de brotación y no en el crecimiento o expansión foliar durante este periodo de evaluación.

Tabla 1. Efecto de la meta-topolina en la propagación *in vitro* de maguey plateado (*Agave guiengola*) al cabo de 30 días de cultivo.

Table 1. Effect of meta-topolin on the *in vitro* propagation of silver maguey (*Agave guiengola*) after 30 days of culture.

mT (mg L^{-1})	Número de brotes	Longitud de brotes (cm)	Número de hojas por brote
0	$1.35 \pm 0.19\text{c}$	$0.72 \pm 0.07\text{a}$	$1.88 \pm 0.23\text{a}$
0.5	$1.62 \pm 0.28\text{c}$	$0.60 \pm 0.08\text{a}$	$1.93 \pm 0.25\text{a}$
1.0	$3.46 \pm 0.24\text{a}$	$0.62 \pm 0.05\text{a}$	$1.62 \pm 0.24\text{a}$
1.5	$2.13 \pm 0.18\text{b}$	$0.51 \pm 0.05\text{a}$	$2.05 \pm 0.25\text{a}$

Los valores representan la media $\pm$ error estándar. Los valores seguidos de letra diferente denotan diferencias estadísticas significativas según (Tukey, $p \leq 0.05$).

Sin embargo, el incremento en la multiplicación estuvo acompañado de un efecto fisiológico adverso. A partir de 0.5 mg L^{-1} de mT, los brotes comenzaron a presentar síntomas claros de hiperhidricidad, los cuales se intensificaron gradualmente conforme aumentó la concentración del regulador, siendo más severos en los tratamientos de 1.0 y 1.5 mg L^{-1} . Los explantes afectados exhibieron tejidos translúcidos, tallos engrosados y quebradizos, hojas con apariencia vidriosa, y una textura acuosa, rasgos característicos de este desorden fisiológico. La Figura 1 ilustra esta tendencia: mientras que los brotes del tratamiento control (Figura 1A) presentan un fenotipo compacto y de apariencia normal (Figura 1E), los explantes expuestos a mT mostraron deformaciones típicas de hiperhidricidad (Figura 1B–D), incluyendo estructuras foliares expandidas, hidratación excesiva y pérdida de firmeza (Figura 1F). Esta progresión visual concuerda con la respuesta cuantitativa observada y sugiere que la mT, si bien estimula la brotación, también provoca alteraciones fisiológicas que comprometen la calidad morfológica de los brotes regenerados.

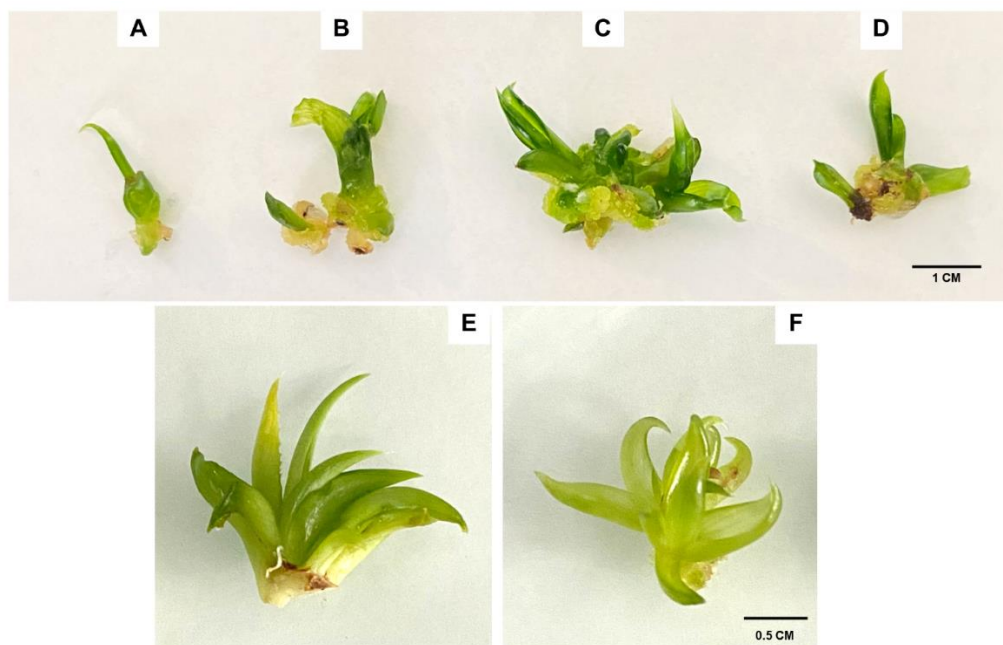


Figura 1. Efecto de la meta-topolina (mT) en la multiplicación *in vitro* de *Agave guiengola* después de 30 días de cultivo. A) MS + 0 mg L⁻¹ de mT; B) MS + 0.5 mg L⁻¹ de mT; C) MS + 1.0 mg L⁻¹ de mT; D) MS + 1.5 mg L⁻¹ de mT. E) Brote de *A. guiengola* cultivado sin mT, mostrando un fenotipo normal sin hiperhidricidad; F) Brote cultivado en presencia de mT, evidenciando síntomas característicos de hiperhidricidad.

Figure 1. Effect of meta-topolin on the *in vitro* multiplication of silver maguey (*Agave guiengola*) after 30 days of cultivation. A) MS + 0 mg L⁻¹ of mT, B) MS + 0.5 mg L⁻¹ of mT, C) MS + 1.0 mg L⁻¹ of mT and D) MS + 1.5 mg L⁻¹ of mT. E) *A. guiengola* shoot grown without mT, showing a normal phenotype without hyperhydricity; F) Shoot grown in the presence of mT, showing characteristic symptoms of hyperhydricity.

Enraizamiento

Al transferir los brotes regenerados a medio de enraizamiento sin RCV, se presentó un contraste evidente entre los tratamientos evaluados. Los brotes provenientes del control (0 mg L⁻¹ de mT), al no mostrar signos de hiperhidricidad, respondieron de manera favorable al proceso de enraizamiento. Estos explantes desarrollaron un sistema radical bien definido, con un promedio de 2.35 raíces por explante, caracterizadas por una elongación continua, textura firme y una coloración típica de tejidos saludables (Figuras 2B y 2C). La presencia de raíces funcionales en el tratamiento control indica que las condiciones fisiológicas de los brotes fueron adecuadas para activar los procesos de diferenciación y expansión celular necesarios para la formación del sistema radicular. En marcado contraste, los brotes derivados de tratamientos con mT no desarrollaron raíces en ninguno de los casos. Estos explantes mostraron hiperhidricidad severa, manifestada por tejidos translúcidos, tallos engrosados y hojas con apariencia acuosa, condiciones que alteran profundamente la estructura anatómica y el equilibrio hídrico de las células. La presencia de este desorden fisiológico impidió la iniciación de primordios radicales y, en consecuencia, la formación de un sistema radicular funcional (Figura 2A). Estos resultados evidencian que la fisiopatología inducida por la meta-topolina afecta de manera directa y negativa los procesos de diferenciación que conducen al enraizamiento, comprometiendo la calidad de los propágulos y limitando su potencial para ser establecidos *ex vitro*. La ausencia total de raíces en brotes hiperhidratados confirma que este desorden representa un factor crítico que restringe la eficiencia de la micropropagación de *Agave guiengola*.



Figura 2. Enraizamiento *in vitro* de maguey plateado (*Agave guiengola*) al cabo de 30 días de cultivo. A) Brotes generados en MS + mT con presencia de hiperhidricidad, B y C) Brotes generados en MS + 0 mg L⁻¹ de mT en la fase de enraizamiento.

Figure 2. *In vitro* rooting of silver maguay (*Agave guiengola*) after 30 days of culture. A) Shoots generated in MS + mT showing symptoms of hyperhydricity; B and C) Shoots generated in MS + 0 mg L⁻¹ mT during the rooting phase.

DISCUSIÓN

El cultivo de tejidos vegetales ha demostrado ser una herramienta efectiva para la propagación de especies del género *Agave*. En la búsqueda de mejorar los coeficientes de multiplicación, diversos estudios han evaluado factores como el tipo y la concentración de reguladores del crecimiento vegetal (Bautista-Montes *et al.*, 2022; Chávez Ortiz & Pérez Molphe Balch, 2024). En este contexto, nuestro estudio mostró que la adición de meta-topolina (mT) durante la proliferación de *A. guiengola* incrementó significativamente el número de brotes por explante, alcanzando hasta 3.46 brotes con 1.0 mg L⁻¹ de mT. Este resultado confirma que la mT posee un efecto proliferativo importante en esta especie. No obstante, este incremento se acompañó de una alta incidencia de hiperhidricidad, lo cual limitó el desarrollo subsecuente de las plantas.

Es importante destacar que, durante la fase previa de multiplicación realizada en medio MS suplementado con 1.0 mg L⁻¹ de BAP (empleada únicamente para obtener material suficiente para los ensayos) no se observaron síntomas de hiperhidricidad y los explantes mostraron un desarrollo morfológico normal. La proliferación bajo BAP fue estable y no generó deformaciones ni tejidos acuosos, lo que contrasta con la respuesta observada al aplicar mT en la fase experimental, donde incluso concentraciones moderadas indujeron brotes hiperhidratados. Esta diferencia sugiere que la hiperhidricidad en *A. guiengola* no se manifiesta en presencia de BAP, pero sí emerge de la interacción entre este genotipo, la mT y las condiciones físico-químicas del sistema de cultivo evaluado. Asimismo, aunque la concentración de 1.0 mg L⁻¹ de mT produjo una tasa de multiplicación superior a la observada previamente con BAP, la calidad fisiológica de los brotes se vio comprometida, lo que subraya la necesidad de optimizar el protocolo para aprovechar el efecto proliferativo de la mT minimizando la hiperhidricidad.

Las plantas regeneradas *in vitro* no están exentas de presentar desórdenes fisiológicos aun en ambientes controlados (Abdalla *et al.*, 2022; Polivanova & Bedarev, 2022). Entre ellos, la hiperhidricidad representa uno de los más frecuentes y severos, dado que afecta directamente el metabolismo y el desarrollo de los propágulos, generando plantas con anomalías que comprometen su supervivencia y capacidad de aclimatación (Nezami-Alanagh *et al.*, 2019). Tradicionalmente, este fenómeno se asocia a cultivos en medios líquidos (Ziv, 1991), y puede mitigarse mediante estrategias como el uso de sistemas de inmersión temporal (Reyes-Beristain *et al.*, 2025). Sin embargo, en nuestro estudio la hiperhidricidad se presentó incluso en medios semisólidos suplementados con mT, lo que indica un efecto específico del regulador bajo las condiciones evaluadas.

La mT, una citocinina aromática ampliamente utilizada en micropropagación, se ha descrito como un regulador capaz de promover altas tasas de proliferación, mejorar la calidad fisiológica de los brotes y favorecer el enraizamiento y la supervivencia *ex vitro* (Koç, 2021; Zaytseva *et al.*, 2021). En cultivos como manzano, su aplicación ha inducido brotes vigorosos y de calidad superior (Abdalla & Dobránszki, 2024), y en *Syzygium cumini* ha mejorado tanto la elongación como el

enraizamiento (Naaz *et al.*, 2019). Incluso dentro del género *Agave*, la mT ha sido empleada con éxito en especies como *A. cupreata*, *A. difformis*, *A. karwinskii*, *A. obscura* y *A. potatorum* (Domínguez-Rosales *et al.*, 2008) y en *A. sisalana* ha incrementado la proliferación y el enraizamiento sin reportes de hiperhidricidad (Abdalla & Dobránszki, 2024). Este comportamiento difiere notablemente de lo observado en *A. guiengola*, donde la mT indujo hiperhidricidad incluso a concentraciones moderadas ($0.5\text{--}1.5\text{ mg L}^{-1}$), afectando la calidad morfológica y la capacidad de enraizamiento de los brotes. Asimismo, contrasta con lo reportado para *A. guiengola* propagada con BAP + 2,4-D, donde no se observaron síntomas de hiperhidricidad (Chávez-Ortiz *et al.*, 2021). Esta discrepancia sugiere que la respuesta a mT es fuertemente especie y genotipo dependiente, y que, en el caso de *A. guiengola*, este regulador puede desencadenar respuestas fisiológicas adversas bajo ciertas condiciones de cultivo.

Comprender este resultado requiere reconocer que la hiperhidricidad es un síndrome fisiológico multifactorial. Involucra inundación del apoplasto, desbalances en citocininas, incremento de etileno, alteraciones en el metabolismo del nitrógeno, reducción de la lignificación de la pared celular y un marcado estrés oxidativo (van den Dries *et al.*, 2013; Polivanova & Bedarev, 2022; Gantait & Mahanta, 2022; Barua *et al.*, 2025). La literatura señala que medios con alta disponibilidad hídrica y elevadas concentraciones de citocininas incrementan significativamente la susceptibilidad a este desorden (Lotfi, 2020; Gantait & Mahanta, 2022). En este estudio, el uso de medio MS con 30 g L^{-1} de sacarosa, gelificado con Phytigel® y cultivado en recipientes cerrados, generó condiciones de humedad saturada y baja ventilación que, en combinación con la mT, pudieron exacerbar el desbalance hídrico y hormonal, promoviendo la aparición de tejidos translúcidos, suculentos y quebradizos característicos de la hiperhidricidad.

Desde un punto de vista bioquímico, la hiperhidricidad se ha asociado con la reducción de lignificación y una menor firmeza estructural, así como con cambios en la actividad de enzimas antioxidantes como peroxidasa y catalasa (Polivanova & Bedarev, 2022; Zunazri *et al.*, 2024). La presencia en *A. guiengola* de tallos engrosados y frágiles, hojas vidriosas y pérdida general de firmeza sugiere que la mT pudo haber alterado la lignificación y la homeostasis redox, afectando negativamente la integridad de los tejidos.

La incapacidad de los brotes hiperhidratados para desarrollar raíces refuerza esta interpretación. Estudios previos indican que la hiperhidricidad afecta la diferenciación de tejidos vasculares, reduce el número de mitocondrias y altera la integridad de membranas, lo que limita la formación de primordios radicales y la conducción eficiente de agua y nutrientes (van den Dries *et al.*, 2013; Polivanova & Bedarev, 2022; Barua *et al.*, 2025). En concordancia con ello, sólo los brotes no hiperhidratados (tratamiento control sin mT) lograron enraizar, lo que indica que la fisiopatología inducida por mT en *A. guiengola* compromete procesos clave para el desarrollo radical. Esto coincide con reportes que asocian la hiperhidricidad con una drástica reducción en la supervivencia y eficiencia de aclimatación (Polivanova & Bedarev, 2022; Bazanis & Papafotiou, 2024).

Aunque en este estudio la incidencia de hiperhidricidad fue elevada, el incremento significativo en la multiplicación de brotes observado a 1.0 mg L^{-1} de mT constituye un hallazgo relevante. Este resultado sugiere que la mT podría tener potencial en la propagación de *A. guiengola* si se optimizan condiciones que mitiguen la hiperhidricidad. Futuras investigaciones deberían evaluar concentraciones más bajas de mT, su combinación con auxinas, la modificación del agente gelificante, la inclusión de sistemas de ventilación o la manipulación de la relación nitrato/amonio en el medio, como estrategias para aprovechar el efecto proliferativo de la mT sin comprometer la calidad morfológica ni la capacidad de enraizamiento.

CONCLUSIONES

Se observó que el uso de mT durante la multiplicación *in vitro* de *A. guiengola* propició la presencia de hiperhidricidad en los brotes generados, lo cual afectó su posterior enraizamiento *in vitro*. Estos resultados sugieren que es necesario ajustar la concentración de mT utilizada en la propagación *in vitro* de este agave. Todo con la finalidad de generar propágulos de esta especie endémica de agave que cuenta con una población natural reducida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Jardín Etnobotánico de Oaxaca por la donación del material biológico utilizado para iniciar la propagación *in vitro*. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) por las plantas *in vitro* de *A. guiengola* previamente establecidas y depositadas en la Colección *ex situ* de tejido tegetal del Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP, las cuales fueron empleadas como explantes en el presente estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

- Abdalla, N., & Dobránszki, J. (2024). meta-Topolin as an effective benzyladenine derivative to improve the multiplication rate and quality of *in vitro* axillary shoots of Húsvéti Rozmaring Apple Scion. *Plants*, 13(11), 1568.
- Abdalla, N., El-Ramady, H., Seliem, M. K., El-Mahrouk, M. E., Taha, N., Bayoumi, Y., Shalaby, T. A., & Dobránszki, J. (2022). An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*, 8(8), 677.
- Adu Donyina, G., Szarvas, A., Opoku, V. A., Miko, E., Tar, M., Czóbel, S., & Monostori, T. (2025). Enhancing sweet potato production: a comprehensive analysis of the role of auxins and cytokinins in micropropagation. *Planta*, 261(4), 1–14.
- Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., & Medellín, R. A. (2022). Uses, knowledge and extinction risk faced by agave species in Mexico. *Plants*, 12(1), 124.
- Barua, R., Igamberdiev, A. U., & Debnath, S. C. (2025). Hyperhydricity Syndrome in *In vitro* Plants: Mechanisms, Physiology, and Control. *Plants*, 14(24), 3721.
- Bautista-Montes, E., Hernández-Soriano, L., & Simpson, J. (2022). Advances in the micropropagation and genetic transformation of *Agave* species. *Plants*, 11(13), 1757.
- Bazanis, A. E., & Papafotiou, M. (2024). *In vitro* Germination, micropropagation and addressing the hyperhydricity of the Balkan native *Dianthus cruentus*, a plant with high ornamental and xeriscaping potential. *Horticulturae*, 10(8), 813.
- Chávez Ortiz, L. I., & Pérez Molphe Balch, E. (2024). *In vitro* Propagation of Threatened *Agave* Species Using a Two-Stage System. En *Plant Cell Culture Protocols* (pp. 165–178). Springer.
- Chávez-Ortiz, L. I., Morales-Domínguez, J. F., Rodríguez-Sahagún, A., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2021). *In vitro* propagation of *Agave guiengola* Gentry using semisolid medium and temporary immersion bioreactors. *Phyton*, 90(3), 1003.
- Dobránszki, J., & da Silva, J. A. T. (2010). Micropropagation of apple—a review. *Biotechnology advances*, 28(4), 462–488.
- Domínguez-Rosales, M. S., Alpuche-Solís, Á. G., Vasco-Méndez, N. L., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2008). Efecto de citocininas en la propagación *in vitro* de agaves mexicanos. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 31(4), 317.
- Gantait, S., & Mahanta, M. (2022). Hyperhydricity-induced changes among *in vitro* regenerants of gerbera. *South African Journal of Botany*, 149, 496–501.
- Gao, H., Xia, X., An, L., Xin, X., & Liang, Y. (2017). Reversion of hyperhydricity in pink (*Dianthus chinensis* L.) plantlets by AgNO₃ and its associated mechanism during *in vitro* culture. *Plant Science*, 254, 1–11.
- Gentry, H. S. (2004). *Agaves of continental north America*. University of Arizona Press.

- Grzelak, M., Pacholczak, A., & Nowakowska, K. (2024). Challenges and insights in the acclimatization step of micropropagated woody plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 159(3), 72.
- Jeyachandran Vijayakumar, J. V., Ponnirul Ponmanickam, P. P., Samuel, P., Sudarmani, D. N. P., & Pandiarajan, J. (2017). *Influence of meta-Topolin on efficient plant regeneration via micropropagation and organogenesis of safflower (Carthamus tinctorius L.) cv. NARI-H-15*.
- Kevers, C., Franck, T., Strasser, R., Dommes, J., & Gaspar, T. (2004). Hyperhydricity of micropropagated shoots: a typically stress-induced change of physiological state. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 77(2), 181–191. <https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000016825.18930.e4>
- Koç, E. (2021). Effects of meta-topolin on the growth, physiological and biochemical parameters in plant tissue culture. En *Meta-topolin: a growth regulator for plant biotechnology and agriculture* (pp. 265–278). Springer.
- Kumari, R., Deepali, B., & Bhatnagar, S. (2021). Biodiversity loss: threats and conservation strategies. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 68(1), 242–254.
- Liu, M., Jiang, F., Kong, X., Tian, J., Wu, Z., & Wu, Z. (2017). Effects of multiple factors on hyperhydricity of *Allium sativum* L. *Scientia Horticulturae*, 217, 285–296.
- Lotfi, M., Bayoudh, C., Werbrouck, S., & Mars, M. (2020). Effects of meta-topolin derivatives and temporary immersion on hyperhydricity and *in vitro* shoot proliferation in *Pyrus communis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 143(3), 499–505.
- Magyar-Tábori, K., Dobránszki, J., Teixeira da Silva, J. A., Bulley, S. M., & Hudák, I. (2010). The role of cytokinins in shoot organogenesis in apple. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 101(3), 251–267.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Naaz, A., Hussain, S. A., Anis, M., & Alatar, A. A. (2019). Meta-topolin improved micropropagation in *Syzygium cumini* and acclimatization to *ex vitro* conditions. *Biol Plant*, 63(1), 174–182.
- Nezami-Alanagh, E., Garoosi, G.-A., Landín, M., & Gallego, P. P. (2019). Computer-based tools provide new insight into the key factors that cause physiological disorders of pistachio rootstocks cultured *in vitro*. *Scientific Reports*, 9(1), 9740.
- Polivanova, O. B., & Bedarev, V. A. (2022). Hyperhydricity in plant tissue culture. *Plants*, 11(23), 3313.
- Prakash, S., & Verma, A. K. (2022). Anthropogenic activities and Biodiversity threats. *International Journal of Biological Innovations, IJBI*, 4(1), 94–103.
- Reshi, Z. A., Husain, F. M., Khanam, M. N., & Javed, S. Bin. (2025). Effect of meta-Topolin on morphological, physiochemical, and molecular dynamics during *in vitro* regeneration of *Salix tetrasperma* Roxb. *BMC Plant Biology*, 25(1), 121.
- Reyes-Beristain, B., Mancilla-Álvarez, E., López-Buenfil, J. A., & Bello-Bello, J. J. (2025). Temporary Immersion Bioreactor for *In vitro* Multiplication of Raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Horticulturae*, 11(7), 842.
- Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14(1), 14. <https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Seliem, M. K., Abdalla, N., & El-Mahrouk, M. E. (2025). Cytokinin Potentials on *In vitro* Shoot Proliferation and Subsequent Rooting of *Agave sisalana* Perr. Syn. *Horticulturae*, 11(8), 929.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo* (Vol. 6). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0

Recibido/ Received:
14/septiembre/2025

**Recepción de versión
corregida / Revised
versión received:**
10/diciembre/2025

Aceptado / Accepted:
5/marzo/2026

- Shinde, N. A., Kavar, P. G., & Dalvi, S. G. (2024). Strategies for marigold micro-propagation to mitigate physiological disorders. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 159(2), 39.
- Teixeira da Silva, J. A., Gulyás, A., Magyar-Tábori, K., Wang, M.-R., Wang, Q.-C., & Dobránszki, J. (2019). *In vitro* tissue culture of apple and other *Malus* species: recent advances and applications. *Planta*, 249(4), 975–1006.
- van den Dries, N., Gianni, S., Czerednik, A., Krens, F.-A., & de Klerk, G.-J. M. (2013). Flooding of the apoplast is a key factor in the development of hyperhydricity. *BMC Plant Biology*, 13, 202. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-202>
- Zaytseva, Y. G., Ambros, E. V., & Novikova, T. I. (2021). Meta-topolin: advantages and disadvantages for *in vitro* propagation. *Meta-topolin: A Growth Regulator for Plant Biotechnology and Agriculture*, 119–141.
- Ziv, M. (1991). Vitrification: morphological and physiological disorders of *in vitro* plants. En *Micropropagation: technology and application* (pp. 45–69). Springer.
- Zunazri, N. H., Kemat, N., Ariffin, N., & Rineksane, I. A. (2024). Effect of media components on hyperhydricity in horticultural crops: A review. *Journal of Plant Biotechnology*, 51(1), 307–319.