

SEP

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768

ISSN 2395-9525

Julio 2026

Núm. 62

POLIBOTÁNICA



Núm. 62

Ciencia y
Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

Julio 2026

PÁG.

CONTENIDO

- 1 Diversidad florística asociada a *Clinopodium macrosternum* y *Litsea glaucescens* en un bosque de encino-pino en Oaxaca, México
Floristic diversity associated to *Clinopodium macrosternum* 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.

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE MICROPROPAGACIÓN PARA *Lupinus campestris* CHAM. & AMP; SCHLTDL. COMO BASE PARA LA DOMESTICACIÓN Y CONSERVACIÓN

DEVELOPMENT OF A MICROPROPAGATION PROTOCOL FOR *Lupinus campestris* CHAM. & AMP; SCHLTDL. AS A BASIS FOR DOMESTICATION AND CONSERVATION

Rodríguez Sías, Daniela; Pérez Álvarez, Sandra; Sánchez-Chávez, Esteban; Leyva-Hernández, Héctor A.;
Uranga-Valencia, Luisa Patricia

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE MICROPROPAGACIÓN PARA *Lupinus campestris* CHAM. & AMP;
SCHLTDL. COMO BASE PARA LA DOMESTICACIÓN Y CONSERVACIÓN

DEVELOPMENT OF A MICROPROPAGATION PROTOCOL FOR *Lupinus campestris* CHAM. & AMP;
SCHLTDL. AS A BASIS FOR DOMESTICATION AND CONSERVATION



Desarrollo de un protocolo de micropropagación para *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl. como base para la domesticación y conservación

Development of a micropropagation protocol for *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl. as a basis for domestication and conservation

Rodríguez Sías, Daniela; Pérez Álvarez, Sandra; Sánchez-Chávez, Esteban; Leyva-Hernández, Héctor A.; Uranga-Valencia, Luisa Patricia

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE MICROPROPAGACIÓN PARA *Lupinus campestris* CHAM. & AMP; SCHLTDL. COMO BASE PARA LA DOMESTICACIÓN Y CONSERVACIÓN

DEVELOPMENT OF A MICROPROPAGATION PROTOCOL FOR *Lupinus campestris* CHAM. & AMP; SCHLTDL. AS A BASIS FOR DOMESTICATION AND CONSERVATION

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 62: 187-202. Julio 2026

DOI:
10.18387/polibotanica.62.13

Rodríguez Sías, Daniela / <https://orcid.org/0000-0003-3247-6241>

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua.
Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño,
Chihuahua, Chih. CP 31000

Pérez-Álvarez, Sandra / <https://orcid.org/0000-0002-9211-0797>

Autora de correspondencia: spalvarez@uach.mx
Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua,
Km 2.5, carretera Delicias-Rosales, campus Delicias, CD. Delicias,
Chihuahua, México. CP. 33000

Sánchez-Chávez, Esteban / <https://orcid.org/0000-0002-8490-5194>

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias,
Av. Cuarta Sur 3828, Fracc. Vencedores del Desierto, Delicias,
Chihuahua, México. CP 33089

Leyva-Hernández, Héctor A. / <https://orcid.org/0000-0002-9429-3478>

Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Blvd. Macario
Gaxiola, Los Mochis, Sinaloa C.P. 81217, México

Uranga-Valencia, Luisa Patricia / <https://orcid.org/0000-0002-5872-6360>

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Unidad Sinaloa, Juan de Dios Bátiz Paredes
No. 250, Guasave C.P. 81101, Sinaloa, Mexico

RESUMEN: *Lupinus* L. es un género de leguminosas con más de 200 especies, muchas con potencial agronómico. Esta investigación tuvo como objetivo establecer un protocolo de micropropagación para *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl. Se evaluaron tres tratamientos de escarificación: inmersión en agua hirviendo por 24 horas sobre una placa de calentamiento, ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄, 98%) por 15 minutos y ácido clorhídrico (HCl, 36.5-38%) por 15 minutos. Posteriormente, todas las semillas fueron cortadas con bisturí antes de sembrarse en medio agar-agar. Las fases de multiplicación y enraizamiento se realizaron en medio Murashige & Skoog (MS). En la fase de multiplicación, se evaluaron cinco tratamientos con combinaciones de citoquininas con bencilaminopurina [(6BAP) y kinetina (Kin)], auxinas con ácido indolacético (AIA) y quitosano, todos con carbón activado (CA), seleccionándose los dos mejores para evaluar su efecto con y sin CA. En la fase de enraizamiento se usó ácido indol-3-butírico (AIB) en medios MS al 25% y 50%. Las semillas escarificadas con ácido sulfúrico y cortadas mostraron un 100% de germinación en cinco días. En los tratamientos T1 (6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹) y T4 (6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹), el 100% de los explantes generaron múltiples brotes (10), pero solo en presencia de 2.5 g L⁻¹ CA, sin embargo, en el T4 los explantes tuvieron un mayor coeficiente de multiplicación (4.54). Sin CA no se observó multiplicación. En la fase de enraizamiento, se obtuvo un 40% de plantas enraizadas con medio 50% MS + 20% sacarosa + AIB 5.0 mg L⁻¹. Este trabajo constituye el primer reporte exitoso de

micropropagación *in vitro* de *L. campestris*, y sienta bases para su conservación y adaptación.

Palabras clave: citoquininas y auxinas, escarificación, leguminosas, *Lupinus campestris*, micropropagación.

ABSTRACT: *Lupinus* L. is a genus of legumes comprising more than 200 species, many of which have agronomic potential. The aim of this study was to establish a micropropagation protocol for *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl. Three scarification treatments were evaluated: immersion in boiling water for 24 h on a hot plate, concentrated sulfuric acid (H_2SO_4 , 98%) for 15 min, and concentrated hydrochloric acid (HCl, 36.5–38%) for 15 min. Subsequently, all seeds were cut with a scalpel prior to sowing on water–agar medium. The multiplication and rooting stages were conducted using Murashige & Skoog (MS) medium. During the multiplication stage, five treatments were tested, combining cytokinins [6-benzylaminopurine (6BAP) and kinetin (Kin)], the auxin indole-3-acetic acid (IAA), and chitosan, all supplemented with activated charcoal (AC). The two best treatments were subsequently evaluated in the presence and absence of AC. In the rooting stage, indole-3-butyric acid (IBA) was tested in MS medium at 25% and 50% strength. Seeds scarified with sulfuric acid and cut prior to sowing showed 100% germination within five days. In treatments T1 (6BAP 1 mg L^{-1} + Kin 0.5 mg L^{-1}) and T4 (6BAP 1 mg L^{-1} + Kin 0.5 mg L^{-1} + IAA 0.2 mg L^{-1}), 100% of explants produced multiple shoots (10), but only in the presence of 2.5 g L^{-1} AC, however, in T4 the explants had a higher multiplication coefficient (4.54). No multiplication was observed in the absence of AC. During the rooting stage, 40% of plantlets developed roots in 50% MS medium supplemented with 20% sucrose and 5 mg L^{-1} IBA. This study represents the first successful report of *in vitro* micropropagation of *L. campestris*, providing a foundation for its conservation and adaptation.

Key words: cytokinins and auxins, scarification, legumes, *Lupinus campestris*, micropropagation.

INTRODUCCIÓN

El género *Lupinus* L., familia Fabaceae, comprende más de 200 especies, la mayoría de las cuales se encuentran en América Central. Aunque en México no se practica el cultivo de especies del género, el país alberga aproximadamente 110 especies nativas distribuidas en diversos estados, desde Baja California hasta Chiapas, principalmente concentradas en el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Occidental (Zamora-Natera *et al.*, 2019). Dentro de estas especies se destaca *Lupinus campestris* Cham. y Schltdl, una planta con flores que pertenece a la familia de las leguminosas y que se cultiva en diversas partes del mundo, siendo sus principales regiones de cultivo Europa, países mediterráneos, América y Australia (Kamran *et al.*, 2023).

Las semillas de *Lupinus*, también conocidas como altramuces, tienen gran cantidad de nutrientes, proteínas (40% en peso), fibra (alrededor de un 28% en peso) y son bajas en carbohidratos y grasas (Pablo-Pérez *et al.*, 2015), por lo que se consideran un suplemento dietético importante y una buena adición a una dieta equilibrada y saludable (Lima-Cabello *et al.*, 2018).

En cuanto a sus aplicaciones agrícolas es importante destacar que las plantas del género *Lupinus* L. poseen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a la simbiosis que establecen con bacterias del género *Rhizobium*, las cuales colonizan sus raíces y forman nódulos donde ocurre la fijación biológica de nitrógeno (Masson-Boivin & Sachs, 2018). Esta característica convierte a las especies de *Lupinus* en una opción atractiva para los agricultores, especialmente en esquemas de rotación de cultivos, ya que contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Pettersen, 2016). Así mismo, las especies de *Lupinus* han sido utilizadas en asociación con diversos cultivos de relevancia económica para mejorar su rendimiento, como el maíz y el trigo (Barrientos *et al.*, 2002; Rodas *et al.*, 2001).

No obstante, a pesar de su potencial agronómico, muchas especies del género tienen un alto contenido de alcaloides quinolizidínicos, compuestos tóxicos para el consumo humano, pero que

cumplen una función defensiva frente a patógenos y herbívoros (Mellal *et al.*, 2019; Musco *et al.*, 2017). Así mismo, las semillas de muchas especies de esta familia de plantas en su estado silvestre presentan latencia física (Rodríguez-Junior *et al.*, 2014), lo que dificulta la germinación. En este sentido, Tiryaki y Topu (2014) sostienen que las semillas del género requieren tratamientos de escarificación, ya sea química o mecánica, para favorecer la germinación. Para semillas de *L. campestris*, Del Rivero-Bautista *et al.* (2025) obtuvieron un 63% de germinación, mientras que Corona *et al.* (2007) reportaron porcentajes de germinación entre 81% y 98% en *L. elegans* al utilizar H_2SO_4 durante 30 minutos. En un estudio similar, las semillas de *L. montanus* fueron escarificadas mecánicamente, aunque no se reportó el porcentaje de germinación (Ramírez-González *et al.*, 2015). Estos antecedentes evidencian la importancia de aplicar tratamientos de escarificación para superar la latencia de las semillas en especies del género y mejorar la eficiencia de su propagación.

En el caso particular de México, donde las especies de *Lupinus* son predominantemente silvestres, se requieren estrategias tecnológicas como la micropropagación que permitan su propagación eficiente y la producción de metabolitos de interés. Sin embargo, existe una escasa disponibilidad de información científica sobre el uso de esta tecnología en el género *Lupinus* L.

Se han reportado estudios en los que se utilizaron brotes cotiledonales de *Lupinus albus* empleando distintas concentraciones del medio MS ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{4}$), suplementado con cuatro fuentes de carbohidratos (sacarosa, fructosa, maltosa y glucosa), así como dos reguladores de crecimiento: kinetina (Kin) y ácido naftalenacético (ANA). Los mejores resultados de regeneración (80%) se obtuvieron utilizando la mitad del brote cotiledonal, medio MS al 50 % suplementado con 4.0 mg L^{-1} de Kin, 0.1 mg L^{-1} de ANA y sacarosa como fuente de carbono. Asimismo, el 80% de los brotes enraizaron exitosamente con medio MS al 50% adicionado con 1 mg L^{-1} de ácido indolacético (AIA) y 0.1 mg L^{-1} de Kin (Aslam *et al.*, 2020). En otra investigación, se estableció un protocolo de micropropagación *in vitro* para *L. rivularis*, en el cual se alcanzó un número máximo de 2.6 a 2.8 brotes por explante durante la fase de multiplicación, utilizando concentraciones de 1.126 y 2.252 mg L^{-1} de 6-bencilaminopurina (6BAP) (Popova *et al.*, 2021). Considerando estos antecedentes y la escasa información disponible sobre *L. campestris* en el ámbito biotecnológico el objetivo de esta investigación fue establecer un protocolo de micropropagación para *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl. como base para ampliar su uso agrícola en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal utilizado fueron semillas de *L. campestris* recolectadas en el mes de noviembre de 2010, en el Parque Nacional Izta-Popo, a una altitud de 3581 m.s.n.m., latitud Norte $19^{\circ}04'58.7''$ y a una longitud O $98^{\circ}39'38.7''$, el clima que predomina es templado subhúmedo, frío de altura con -5 a 5°C , heladas nocturnas y nevadas invernales. El tipo de suelo tiende a ser andosol negro, volcánico, fértil, profundo, rico en materia orgánica (8-12%), pH 5.5-6.5 y capacidad de retención hídrica alta (Cruz -Sánchez *et al.*, 2021). Las semillas colectadas se trasladaron a la ciudad de Delicias, Chihuahua, México. El material colectado se almacenó en bolsas de nylon en refrigeración a 4°C hasta su utilización. La investigación se desarrolló entre los años 2020 y 2022 en el Laboratorio de Genética Molecular de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, ubicado en Ciudad Delicias, Chihuahua, México.

Fase de Establecimiento

Escarificación de semillas

Dado que la fisiología de las semillas del género *Lupinus* L. tiene la característica de una corteza dura, los tratamientos de escarificación fueron; T1: Inmersión en agua hirviendo (H_2O) en un

vaso de precipitados que se dejó sobre una placa de calentamiento durante 24 horas (escarificación física); T2: inmersión en ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 -CTR Scientific, 98%) durante 15 minutos (escarificación química); T3: inmersión en ácido clorhídrico concentrado (HCl - CTR Scientific, 36.5-38%) durante 15 minutos (escarificación química). En todos los tratamientos se cortó la semilla por la parte opuesta al embrión antes de la siembra en el medio de cultivo (escarificación mecánica).

Una vez completado el proceso de escarificación, las semillas fueron lavadas con agua destilada tres veces y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 2 % durante 20 minutos con dos gotas de Tween 80® (CTR Scientific).

Después de la desinfección, las semillas se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril y se colocaron en cajas de Petri con papel de filtro durante 15 minutos para que se secaran. Finalmente, para la germinación de las semillas, se colocaron 10 semillas por frasco en un medio de cultivo agar-agar (Sigma-Aldrich) (6.5 g L^{-1}) y el pH ajustado a 5.8, obteniendo 5 frascos en total.

Los frascos tenían una capacidad de 70 mL y se colocaron 25 mL de medio de cultivo por cada uno.

Luego de sembrar las semillas en el medio agar-agar, se dejaron crecer durante un mes en un cuarto de cultivo estéril con una temperatura de 25°C , 16 h de luz / 8 h de oscuridad, intensidad luminosa de $30\text{--}50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En este tiempo se evaluó el porcentaje de germinación.

Los medios de cultivo en todas las fases se esterilizaron en autoclave a 121°C durante 15 min a $1.1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ de presión; de igual manera, las pinzas, bisturís y placas de Petri fueron esterilizados durante 20 min. El pH de todos los medios de cultivo se ajustó a 5.8

Fase de Multiplicación

Para la multiplicación, los explantes que se utilizaron fueron yemas axilares que se subcultivaron al medio de cultivo Murashige & Skoog (Murashige & Skoog, 1962, Sigma-Aldrich), suplementado con 30 g L^{-1} de sacarosa (Sigma-Aldrich), 2.5 g L^{-1} de phytigel (Sigma-Aldrich), 2.5 g L^{-1} de carbón activado (CA, Sigma-Aldrich) y diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento (Tabla 1).

Tabla 1. Reguladores de crecimiento vegetal (Sigma-Aldrich) utilizados en la fase de multiplicación.

Table 1. Plant growth regulators (Sigma-Aldrich) used in the multiplication phase.

Tratamientos	Medio de Cultivo	Reguladores de crecimiento vegetal (mg L^{-1})
1	MS	6BAP 1.0+ Kin 0.5
2	MS	6BAP 1.0+ Kin 0.5+ Quitosano 60.0
3	MS	6BAP 1.0+ Kin 0.5+ AG3 0.3
4	MS	6BAP 1.0+ Kin 0.5 + AIA 0.2
5	MS	Kin 0.5+ Quitosano 60.0

MS: Murashige & Skoog, 6BAP: 6 bencilaminopurina, Kin: kinetina, GA3: ácido giberélico; AIA: ácido indolacético. / MS: Murashige y & Skoog, 6BAP: 6 benzylaminopurine, Kin: Kinetin, GA3: Gibberellic acid; IAA: Indoleacetic acid

Se prepararon 5 frascos por tratamiento, sembrándose 10 explantes en cada uno de ellos para ser evaluados semanalmente. Los frascos tenían una capacidad de 250 mL y se colocaron 25 mL de medio de cultivo por cada uno. Una vez que culminó la siembra el material vegetal se almacenó en una habitación estéril con una temperatura de 25°C , 16 h de luz / 8 h de oscuridad e intensidad luminosa de $30\text{--}50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Después de un periodo de 21 días, los explantes se subcultivaron hasta obtener 200 por tratamiento evaluado. Durante este tiempo se hicieron observaciones de color, altura y número de brotes.

El porcentaje de multiplicación se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Multiplicación} = \frac{(\text{Número de brotes producidos por todos los explantes en un tratamiento}) \times 100}{\text{Número total de explantes}}$$

El coeficiente de multiplicación se determinó contabilizando el número brotes producidos por explante.

Una vez evaluados los tratamientos, se seleccionaron los 2 mejores, que fueron T2 y T4, para corroborar la utilidad del carbón activado.

Todos los reactivos utilizados en esta fase tenían grado celular de la marca Sigma-Aldrich.

Fase de Enraizamiento

Para la fase de enraizamiento se emplearon los siguientes tratamientos, con el medio MS al 50 % o al 25 % suplementado con 20 g L⁻¹ de sacarosa (Tabla 2).

Tabla 2. Reguladores de crecimiento vegetal (Sigma-Aldrich) utilizados en la fase de enraizamiento.

Table 2. Plant growth regulators (Sigma-Aldrich) used in the rooting phase.

Tratamientos	Medio de Cultivo (MS)	Regulador de crecimiento AIB: Ácido indol-3-butírico (mg L ⁻¹)
1	50%	5.0
2	50%	50.0
3	25%	5.0
4	25%	50.0

MS: Murashige & Skoog; AIB: ácido indol-3-butírico. / MS: Murashige & Skoog; IBA: Indolebutyric acid

Se prepararon 5 frascos por tratamiento con 5 vitroplantas en cada uno. Los frascos con el material vegetal fueron almacenados en una habitación estéril con una temperatura de 25 °C, 16 h de luz / 8 h de oscuridad e intensidad luminosa de 30–50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Las observaciones y mediciones se realizaron semanalmente durante un mes, identificando el color, grosor, así como la longitud de las raíces formadas. El experimento se repitió tres veces para validar los resultados obtenidos. Todos los reactivos utilizados en esta fase tenían grado celular de la marca Sigma-Aldrich.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron para determinar la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de varianzas se determinó mediante la prueba de Bartlett. Posteriormente, se realizó una prueba ANOVA para determinar las diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Si se encontraran diferencias significativas, se realizaría una prueba post hoc de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar las diferencias entre tratamientos. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico R versión 4.5.1 (R Core Team, 2025).

El diseño experimental fue completamente aleatorizado. En la fase de establecimiento, el tamaño de la muestra fue 50 semillas por tratamiento, sembrándose 10 semillas en cada frasco. Para la fase de multiplicación se colocaron 10 explantes por frasco, y para el enraizamiento, 5 vitroplantas. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento.

RESULTADOS

Fase de Establecimiento

Escarificación de las semillas

Los mejores resultados se obtuvieron en el T2, en donde se utilizó el ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) durante 15 min combinado con el corte de la semilla antes de la siembra (100% de germinación). En el T3 (inmersión en HCl concentrado por 15 min y corte de la semilla antes de la siembra) solo el 60% de las semillas germinaron, y el T1 (inmersión en H_2O hirviendo por 24

h y corte de la semilla antes de la siembra) fue el tratamiento con más bajos resultados (0% de germinación) siendo estadísticamente diferente con el T2 y T3 (Figura 1).

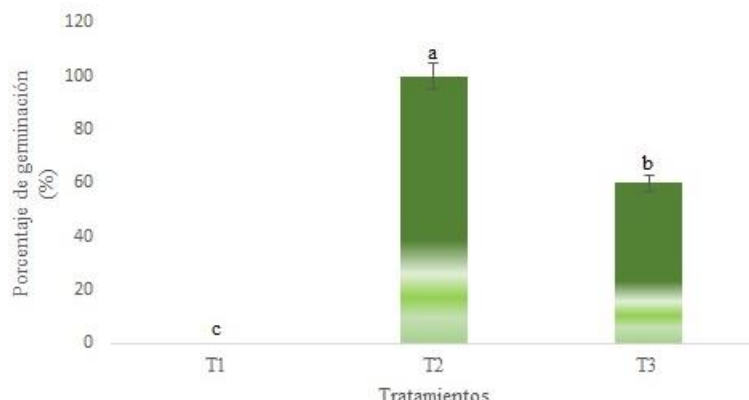


Figura 1. Porcentaje de germinación de las semillas de *L. campestris* en los tratamientos de escarificación a los 21 días, donde T1= agua hirviendo por 24 h y cortar la semilla antes de la siembra, T2= H_2SO_4 concentrado por 15 min y cortar la semilla antes de la siembra, y T3= HCl concentrado 15 min y cortar la semilla antes de la siembra.

Figure 1. Germination percentage of *L. campestris* seeds in the scarification treatments after 21 days, where T1= boiling water for 24 h and cutting the seed before sowing, T2= concentrated H_2SO_4 for 15 min and cutting the seed before sowing, and T3= HCl concentrated 15 min and cutting the seed before sowing.

La germinación de las semillas de *L. campestris* se muestran en la Figura 2.

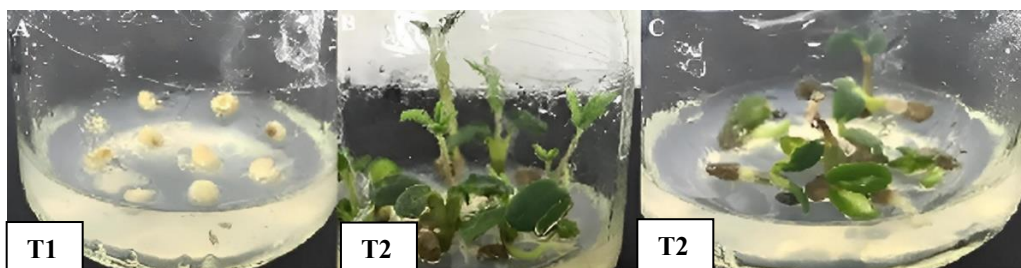


Figura 2. Germinación *in vitro* de las semillas de *L. campestris* con los tratamientos de escarificación, donde A: T1 (inmersión en H_2O por 24 h y corte de semilla antes de la siembra), B: T2 (H_2SO_4 concentrado por 15 min y corte de semilla antes de la siembra) y C: T3 (inmersión en HCl concentrado durante 15 min y corte de la semilla antes de la siembra), barra: 1 cm.

Figure 2. Germination of *L. campestris* seed *in vitro* with scarification treatments, where A: T1 (immersion in H_2O for 24h and cut the seed before sowing), B: T2 (H_2SO_4 concentrated for 15 min and cut the seed before sowing) and C: T3 (immersion in concentrated HCl for 15 min and cutting the seed before sowing), bar: 1 cm.

En el T1 ninguna semilla germinó y en el T3 las vitroplantas apenas se desarrollaron después de germinar. En el T2 se observa que la mayoría de las semillas germinaron y las vitroplantas crecieron, obteniéndose mayor número de hojas y altura (Figura 2).

Fase de multiplicación

En la fase de multiplicación los explantes de los tratamientos T1 (6BAP 1 mg L^{-1} + Kin 0.5 mg L^{-1}) y T4 (6BAP 1 mg L^{-1} + Kin 0.5 mg L^{-1} + AIA 0.2 mg L^{-1}) estaban más vigorosos, con mayor altura, color verde intenso, sin amarillamiento a comparación con los tratamientos T2, T3 y T5,

así mismo mostraron un porcentaje de multiplicación del 100 %, ya que cada uno de los explantes desarrollaron 10 brotes. En los tratamientos T3 (6BAP 1 mg L⁻¹ + AG3 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹) y T5 (Quitosano 60 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹) fue donde se obtuvo menor desarrollo de los explantes con un porcentaje de multiplicación por debajo del 50 % (Figura 3).

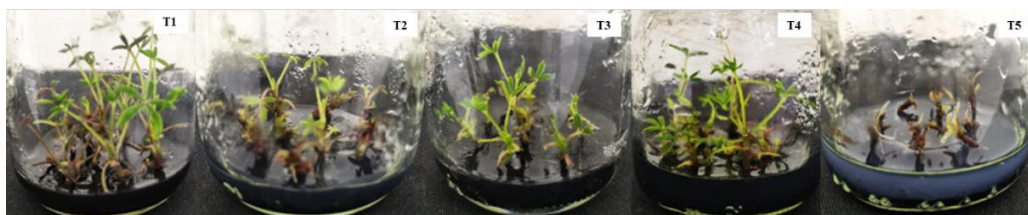


Figura 3. Crecimiento y desarrollo de los explantes de *L. campestris* en los diferentes tratamientos utilizados en la fase de multiplicación *in vitro* a los 21 días de crecimiento, barra: 1 cm.

Figure 3. Growth and development of *L. campestris* explants in the different treatments used in the *in vitro* multiplication at 21 days of growth, bar: 1 cm.

El porcentaje de multiplicación fue del 100% en los tratamientos T1 (6BAP 1.0 mg L⁻¹, Kin 0.5 mg L⁻¹) y T4 (6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + IAA 0.2 mg L⁻¹). En el tratamiento T2 se obtuvo un porcentaje de multiplicación del 70% al combinar Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + 6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹. En los tratamientos T3 (6BAP 1.0 mg L⁻¹ + AG3 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹) y T5 (Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹) hubo un porcentaje de multiplicación del 30 % de los explantes. Los tratamientos T1 y T4 fueron significativamente diferentes del resto de los tratamientos (Figura 4).

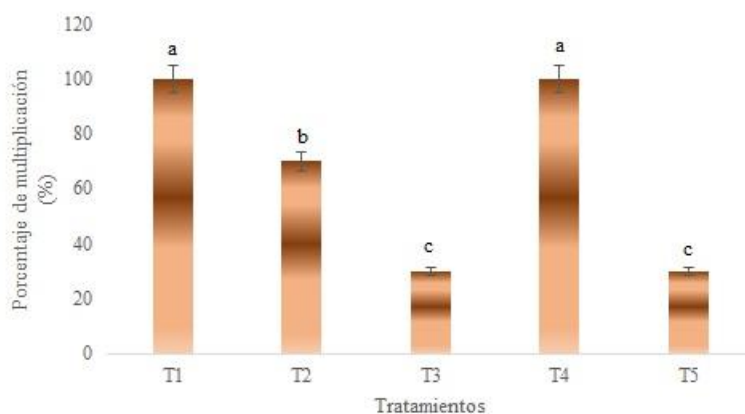


Figura 4. Porcentaje de multiplicación de los explantes de *L. campestris* en cada tratamiento utilizado, donde: T1- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T2- Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T3- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + AG3 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹; T5- Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ a los 21 días de cultivo.

Figure 4. Percentage of *L. campestris* explant multiplication in each treatment, where: T1 – 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T2 – Chitosan 60.0 mg L⁻¹ + 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T3 – 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + GA₃ 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4 – 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + IAA 0.2 mg L⁻¹; T5 – Chitosan 60.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ after 21 days of culture.

La utilidad del CA como suplemento en el medio de cultivo se comprobó con los dos mejores tratamientos siendo estos el T1 y T4 (Figura 5).

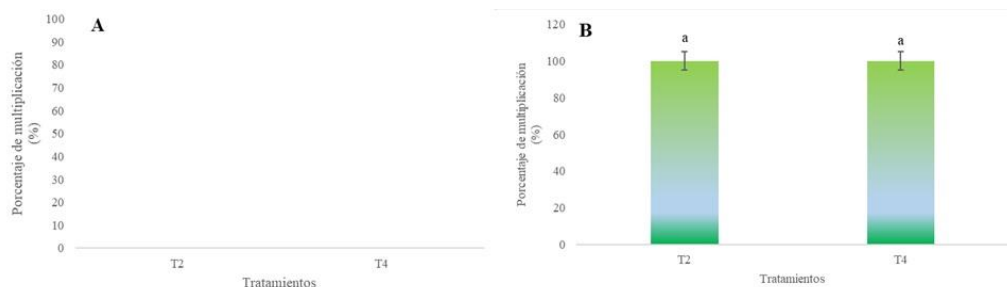


Figura 5. Porcentaje de explantes de *L. campestris* multiplicados con y sin CA adicionado al medio de cultivo, donde: A: Sin CA y B: Con CA; T2- 6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4- 6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹ a los 21 días de cultivo.

Figure 5. Percentage of explants of *L. campestris* multiplied with and without CA added to the culture medium, where: A: Without CA and B: With CA; T2- 6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4- 6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹ at 21 days growth.

En el medio de cultivo que no se suplementó con CA los explantes se necrosaron y murieron a los 15 días después del subcultivo, mientras que al utilizar este agente antioxidante todos los explante multiplicaron y tuvieron un mayor crecimiento y desarrollo (100%).

Con respecto al coeficiente de multiplicación el resultado más alto se obtuvo en el tratamiento T4, con un coeficiente de 4.54, siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos (Figura 6).

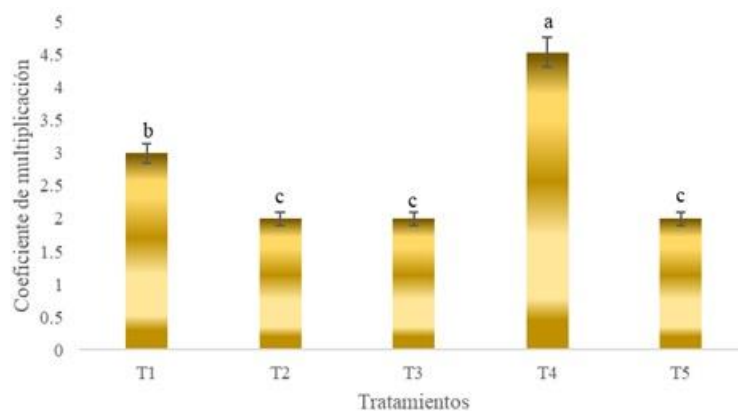


Figura 6. Coeficiente de multiplicación de los explantes de *L. campestris* en cada tratamiento utilizado, donde: T1- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T2- Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T3- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + AG3 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹; T5- Quitosano 60.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ a los 21 días de cultivo.

Figure 6. Multiplication coefficient of the explants of *L. campestris* in each treatment used, where: T1- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T2- Chitosan 60.0 mg L⁻¹ + 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T3- BAP 1.0 mg L⁻¹ + AG3 0.3 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹; T4- 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + IAA 0.2 mg L⁻¹; T5- Chitosan 60.0 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ at 21 days growth.

En el tratamiento T1 el coeficiente de multiplicación fue 3 y en el resto de los tratamientos fue 2 (T2, T3 y T5).

Fase de Enraizamiento

Los resultados correspondientes a la fase de enraizamiento se muestran en la figura 7. En el tratamiento 1 (50% MS + AIB 5.0 mg L⁻¹) el 40 % de los explantes formaron raíces. En los

tratamientos T2, T3 y T4 no se observó formación de este importante órgano, por lo que existieron diferencias significativas entre el tratamiento 1 (T1) y el resto de los tratamientos probados.

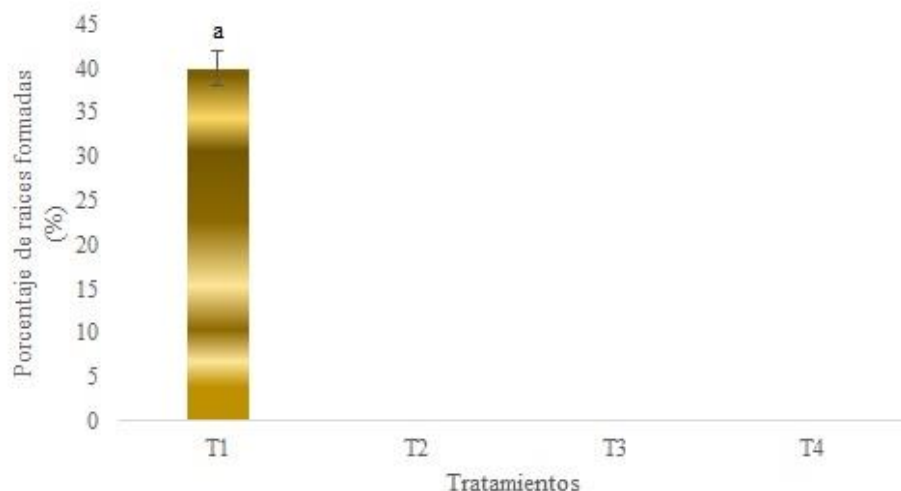


Figura 7. Enraizamiento *in vitro* de los explantes en los diferentes tratamientos de donde: T1= 50 % MS + AIB 5.0 mg L⁻¹; T2= 50 % MS + AIB 50.0 mg L⁻¹; T3=25 % MS + AIB 5.0 mg L⁻¹ y T4= 25 % MS + AIB 50.0 mg L⁻¹ durante un mes.

Figure 7. *In vitro* rooting of the explants in the different treatments where: T1= 50 % MS + IBA 5.0 mg L⁻¹; T2= 50 % MS + IBA 50.0 mg L⁻¹; T3=25 % MS + IBA 5.0 mg L⁻¹ and T4= 25 % MS + IBA 50.0 mg L⁻¹ for one month.

La formación de raíces y su coloración en el tratamiento 1 (T1) se pueden apreciar en la Figura 8. La longitud promedio de las raíces obtenidas fue de 2.98 cm, con una coloración crema-blanquecina. Además, en términos de grosor, predominaban las raíces delgadas en su conjunto.



Figura 8. Tamaño y coloración de las raíces de los explantes en el tratamiento 1 (50% MS + 20% sacarosa + AIB 5.0 mg L⁻¹) durante un mes, barra: 2 cm.

Figure 8. Size and coloration of the roots of the explants rooted in treatment 1 (50% MS + 20% saccharose + IBA 5.0 mg L⁻¹) for one month, bar: 2 cm

Fases de micropropagación *in vitro* para *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl.

La figura 9 representa las fases de esta investigación para la micropropagación *in vitro* de *L. campestris*.

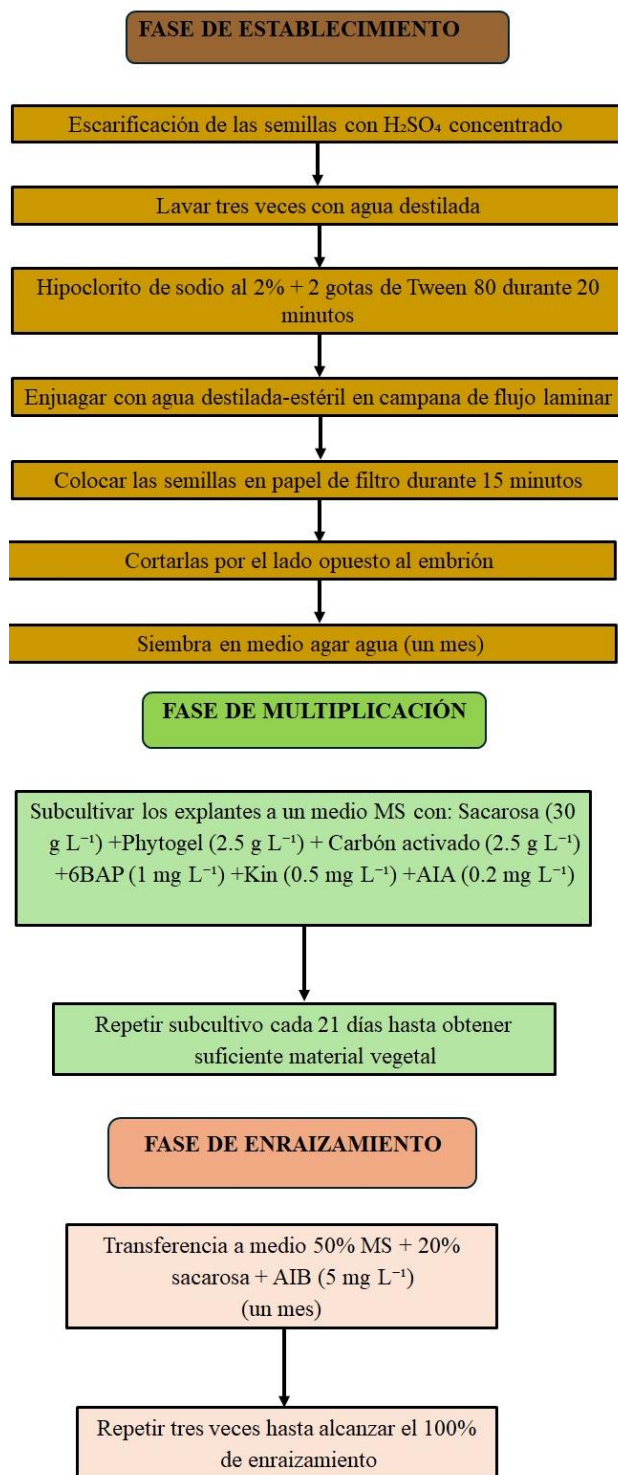


Figura 9. Esquema que representa las fases de micropropagación *in vitro* para *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl.
Figure 9. Diagram representing the stages of the *in vitro* micropropagation protocol for *Lupinus campestris* Cham. & Schltdl.

DISCUSIÓN

La propagación *in vitro* de especies silvestres como *L. campestris* representa un desafío debido a las particularidades fisiológicas y bioquímicas de sus semillas y tejidos. En esta investigación se evaluaron distintos aspectos del proceso de micropropagación, desde la germinación hasta el enraizamiento, con el objetivo de establecer un protocolo eficiente que pueda ser utilizado en la adaptación de la especie a condiciones agrícolas, permitiendo la obtención de suficiente material vegetal para su propagación masiva y el aprovechamiento sostenible de sus usos potenciales.

Las semillas de *L. campestris* presentaron un porcentaje de germinación bajo o nulo cuando no se les aplicó ningún tratamiento de escarificación, lo que confirma la necesidad de romper la latencia para permitir una absorción adecuada de agua y oxígeno (Corona *et al.*, 2007). Diversos autores han señalado que este tipo de tratamientos mejora significativamente las tasas de germinación (Baskin & Baskin, 2021; Carta *et al.*, 2022). En este trabajo, los mejores resultados se obtuvieron al sumergir las semillas en ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante 15 minutos, seguido de un corte con bisturí en la parte opuesta al embrión, alcanzando un 100% de germinación.

Estos resultados son consistentes con lo reportado en diversas especies del género. Por ejemplo, para semillas *L. campestris* Del Rivero-Bautista *et al.* (2025) obtuvieron un 63% de germinación y Corona *et al.* (2007) porcentajes de germinación de 81% y 98% en *L. elegans* al utilizar H_2SO_4 durante 30 minutos. En un estudio similar las semillas de *L. montanus* solo fueron escarificadas mecánicamente sin que se reportara el porcentaje de germinación (Ramírez-González *et al.*, 2015). En este sentido, Tiryaki & Topu (2014) sostienen que las semillas del género *Lupinus* L. requieren escarificación, ya sea química o mecánica, para lograr una germinación uniforme y rápida. Estos antecedentes refuerzan la efectividad de los tratamientos utilizados en este estudio para *L. campestris*.

En la fase de multiplicación la elección de los componentes y tipos de medios puede afectar significativamente la eficiencia de regeneración de los brotes de las plantas en cultivo de tejidos (Gambhir *et al.*, 2017; Gerszberg *et al.*, 2015). En esta fase se utilizó CA en el medio de cultivo y aunque el efecto del mismo sobre la absorción de reguladores del crecimiento de las plantas (RCV) aún no está claro, algunos investigadores creen que el CA puede liberar gradualmente ciertos productos adsorbidos, como nutrientes y RCV (Buckseth *et al.*, 2018). Esto puede explicar el mayor vigor de las plantas multiplicadas en el medio suplementado con este antioxidante.

Este efecto positivo del CA ha sido documentado en otras especies del género *Lupinus* L. Por ejemplo, Ramírez-González *et al.* (2015) reportaron que en explantes de *L. montanus*, el uso de CA a 50 y 100 mg L⁻¹ redujo la necrosis en un 90 % y 70 %, respectivamente. En la presente investigación, una concentración mayor (2.5 g L⁻¹) eliminó completamente la necrosis y mejoró el desarrollo general de los explantes. Otros estudios también han confirmado el efecto beneficioso del CA en la germinación y micropropagación de otras especies como *Nothapodytes foetida* (Srividya & Dharavath, 2023) y *Hylocereus* spp. (Lee & Chang, 2022), al combinarlo con reguladores como 6BAP, AG3 y ANA.

En cuanto al enraizamiento, la combinación de baja concentración de AIB (5 mg L⁻¹) y 50 % del medio MS con 20% de sacarosa indujo la formación de raíces en *L. campestris*, aunque en un porcentaje relativamente bajo (40%). Esta dificultad para obtener raíces *in vitro* podría deberse a que, en la naturaleza, las especies de *Lupinus* producen raíces en racimo o raíces proteoides, las cuales presentan una apariencia agrupada y se caracterizan por la presencia de raíces densamente empaquetadas y raíces laterales en un área compacta (Lambers *et al.*, 2013).

De manera consistente, en un estudio con *L. albus* se informó que el 80 % y el 66% de la inducción de raíces se generaron en medio MS al 50% suplementado con AIA 1.0 mg L⁻¹ + Kin 0.1 mg L⁻¹, mientras que al combinar AIB-Kin o AIB-AIA se formaron raíces entre 46 y 60 % (Aslam *et al.*, 2020). Asimismo, en la especie *L. rivularis* se observó la inducción de raíces con 3.504 mg L⁻¹ de AIB, obteniéndose un 45% de los brotes enraizados y un número y longitud promedio de raíces de 7 y 2.1 cm, respectivamente (Popova *et al.*, 2021). Estos resultados son comparables a los obtenidos en esta investigación, donde se alcanzó un 40 % de raíces con una longitud promedio de 2.98 cm al utilizar AIB.

En conjunto, los resultados de este trabajo evidencian que la composición de los medios de cultivo y la concentración adecuada de sus componentes son factores cruciales para establecer un sistema eficiente de regeneración de cultivos de tejidos para *L. campestris*.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió establecer un protocolo de micropropagación *in vitro* para *L. campestris* a partir de semillas, abarcando desde la germinación hasta la fase de enraizamiento.

En la fase de establecimiento *in vitro*, los mejores resultados se obtuvieron escarificando las semillas de *L. campestris* con H₂SO₄ concentrado (98%), desinfectándolas con hipoclorito de sodio al 2% durante 20 min, cortándolas con bisturí y sembrándolas en medio agar agua (6.5 g L⁻¹). Las semillas deben permanecer en este medio durante un mes, obteniéndose un 100% de germinación.

En la multiplicación de los explantes, el mejor tratamiento fue el T4 (6BAP 1 mg L⁻¹ + Kin 0.5 mg L⁻¹ + AIA 0.2 mg L⁻¹) debido a que el 100% de los explantes multiplicaron en presencia de CA (2.5 g L⁻¹) y presentaron un coeficiente de multiplicación de 4.5.

La formación de raíces (40 %) se observó en un medio MS al 50% suplementado con 20% sacarosa, y AIB 5 mg L⁻¹.

Los resultados obtenidos evidencian que la combinación de condiciones de cultivo y reguladores de crecimiento utilizados favorece el establecimiento, multiplicación y enraizamiento de los explantes, constituyendo una base metodológica sólida para la propagación *in vitro* de la especie. En conjunto, este protocolo representa una herramienta confiable para la producción de material vegetal en condiciones controladas, y sienta las bases para futuros estudios orientados a la optimización de las técnicas de micropropagación en *L. campestris*.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

LITERATURA CITADA

- Aslam, M. M., Karanja, J. K., Zhang, Q., Lin, H., Xia, T., Akhtar, K., Liu, J., Miao, R., Xu, F., & Xu, W. (2020). *In vitro* regeneration potential of white lupin (*Lupinus albus*) from cotyledonary nodes. *Plants*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/plants9030318>
- Barrientos, D. L., Montenegro, B. A., & Pino, N. I. (2002). Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en un Andisol Vilcun del sur de Chile. *Terra Latinoamericana*, 20(1), 33–44.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2021). The great diversity in kinds of seed dormancy: a revision of the Nikolaeva–Baskin classification system for primary seed dormancy. *Seed Science Research*, 31(4), 249–277. <https://doi.org/10.1017/S096025852100026X>
- Buckseth, T., Singh, R. K., Sharma, A. K., Sharma, S., Moudgil, V., & Saraswati, A. (2018). Optimization of activated charcoal on *in vitro* growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(10), 3543–3548. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.410>
- Carta, A., Fernández-Pascual, E., Gioria, M., Müller, J. V., Rivière, S., Rosbakh, S., Saatkamp, A., Vandeloof, F., & Mattana, E. (2022). Climate shapes the seed germination niche of temperate flowering plants: a meta-analysis of European seed conservation data. *Annals of Botany*, 129(7), 775–786. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac037>
- Corona, A., Gómez, M., & Linding, R. (2007). Efecto de la escarificación y la calidad de la luz en la germinación de *Lupinus elegans*. *Biológicas*, 9, 47–54.
- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, Alejandro I. (2021). Respiración del suelo en un bosque templado de México y su relación con el

- carbono orgánico. *Madera y bosques*, 27(2), e2722153. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722153>
- Del Rivero-Bautista, N., Espinoza-Lagunes, L. del C., Azpeitia-Morales, A., Díaz-Ruiz, R., & Acosta-Pech, R. G. (2025). Respuesta de *Lupinus* a la escarificación química y dos medios de cultivo en la propagación in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(2), e3437. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i2.3437>
- Gambhir, G., Kumar, P., & Srivastava, D. K. (2017). High frequency regeneration of plants from cotyledon and hypocotyl cultures in *Brassica oleracea* cv. Pride of India. *Biotechnology Reports*, 15, 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.02.005>
- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., & Kowalczyk, T. (2015). In vitro regeneration of eight cultivars of *Brassica oleracea* var. capitata. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 51(1), 80–87. <https://doi.org/10.1007/s11627-014-9648-7>
- Kamran, F., Phillips, M., Harman, D. G., & Reddy, N. (2023). Antioxidant activities of lupin (*Lupinus angustifolius*) protein hydrolysates and their potential for nutraceutical and functional foods. *Food Chemistry Advances*, 2, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100297>
- Lambers, H., Clements, J. C., & Nelson, M. N. (2013). How a phosphorus-acquisition strategy based on carboxylate exudation powers the success and agronomic potential of lupines (*Lupinus*, Fabaceae). *American Journal of Botany*, 100(2), 263–288. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200474>
- Lee, Y.-C., & Chang, J.-C. (2022). Development of an Improved Micropropagation Protocol for Red-Fleshed Pitaya ‘Da Hong’ with and without Activated Charcoal and Plant Growth Regulator Combinations. *Horticulturae*, 8(2), 104. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020104>
- Lima-Cabello, E., Morales-Santana, S., Foley, R. C., Melser, S., Alché, V., Siddique, K. H. M., Singh, K. B., Alché, J. D., & Jimenez-Lopez, J. C. (2018). Ex vivo and in vitro assessment of anti-inflammatory activity of seed β -conglutin proteins from *Lupinus angustifolius*. *Journal of Functional Foods*, 40, 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.040>
- Masson-Boivin, C., & Sachs, J. L. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia — the roots of a success story. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.001>
- Mellal, H., Yacine, B., Boukaous, L., Khouni, S., Benguedouar, A., Castellano-Hinojosa, A., & Bedmar, E. J. (2019). Phylogenetic diversity of *Bradyrhizobium* strains isolated from root nodules of *Lupinus angustifolius* grown wild in the North East of Algeria. *Systematic and Applied Microbiology*, 42(3), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.01.003>
- 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>
- Musco, N., Cutrignelli, M. I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., Lo Presti, V., Gresta, F., & Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*Lupinus albus* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(6), 1227–1241. <https://doi.org/10.1111/jpn.12643>
- Pablo Pérez, M., Lagunes Espinoza, L., López Upton, J., Aranda Ibáñez, E. M., & Ramos Juárez, J. (2015). Composición química de especies silvestres del género *Lupinus* del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 38, 49–55.
- Petterson, D. S. (2016). Lupin: Overview. In *Encyclopedia of Food Grains* (pp. 280–286). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00036-X>
- Popova, E. V., Shukla, M. R., McIntosh, T., & Saxena, P. K. (2021). In Vitro and Cryobiotechnology Approaches to Safeguard *Lupinus rivularis* Douglas ex Lindl., an

Recibido / Received:
11/septiembre/2026

**Recepción de versión
corregida / Revised
version received:**
5/marzo/2026

Aceptado / Accepted:
29/mayo/2026

- Endangered Plant in Canada. *Agronomy*, 11(1), 37. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010037>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Ramírez-González, G., Rodríguez-de la O, J. L., Arreola-Ávila, J. G., & Álvarez-Moctezuma, J. G. (2015). Respuestas morfogénicas de tres explantes de *Lupinus montanus* (hbk) cultivados *in vitro*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(1), 17–27. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.07.022>
- Rodas, C. A., Núñez, E. R., Espinoza, H. V., & Alcantar, G. G. (2001). Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un andosol. *Terra Latinoamericana*, 19, 141–154.
- Rodrigues-Junior, A., Faria, J., Vaz, T., Nakamura, A., Jose, A. (2014). Physical dormancy in *Senna multijuga* (Fabaceae: Caesalpinioideae) seeds: the role of seed structures in water uptake. *Seed Science Research*, 24, 147-157. 10.1017/S0960258514000087
- Srividya, A., & Dharavath, R. (2023). Activated charcoal: an effective enhancer of *in vitro* seed germination and growth in *Nothapodytes foetida*—a threatened medicinal plant. *Vegetos*, 36(3), 1049–1057. <https://doi.org/10.1007/s42535-022-00482-4>
- Tiryaki, I., & Topu, M. (2014). A Novel Method to Overcome Coat-Imposed Seed Dormancy in *Lupinus albus* L. and *Trifolium pratense* L. *Journal of Botany*, 2014, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/647469>
- Zamora Natera, J. F., Zapata Hernández, I., & Villalvazo Hernández, A. (2019). Fijación biológica del nitrógeno en tres especies silvestres del género *Lupinus* (Leguminosae, Papilionoideae) en México. *Acta Botanica Mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1543>