



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
Jarquín-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.

**Polibotánica**

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

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, IvánEVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE *Monarda fistulosa* L. EN RATONES C57BL/6EVALUATION OF THE TOXICITY OF THE ESSENTIAL OIL OF *Monarda fistulosa* L. IN C57BL/6 MICE**Instituto Politécnico Nacional**

Núm. 62: 215-229 México. Julio 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.62.15



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Evaluación de la toxicidad del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. en ratones C57BL/6Evaluation 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

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.

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 62: 215-229. Julio 2026

DOI:
10.18387/polibotanica.62.15

Delgadillo-Puga, Claudia / <https://orcid.org/0000-0003-3506-754X>

Autora de correspondencia: claudia.delgadillo@incmnsz.mx

Tel: +52 55 54870900 ext. 2820.

Cariño-Cervantes, Yonatan Y.

Cruz-Martínez, Yesica R. / <https://orcid.org/0009-0002-5033-4909>

Departamento de Nutrición Animal. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y

Nutrición Salvador Zubirán, Vasco de Quiroga 15, Tlalpan,

CDMX 14080, México

Torre-Villalvazo, Iván / <https://orcid.org/0000-0001-7412-1153>

Departamento de Fisiología de la Nutrición, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y

Nutrición Salvador Zubirán, Vasco de Quiroga 15, Tlalpan, CDMX 14080, México

RESUMEN: Las plantas del género *Monarda* L. poseen fenoles, terpenos, flavonoides, antocianinas y ácidos fenólicos presentan posibles efectos bioactivos. De *Monarda fistulosa* L., se obtiene el aceite esencial y se comercializa indiscriminadamente con fines terapéuticos. La actividad biológica de los aceites incluye efectos nematotóxicos, repelente de insectos, antioxidante e inmunomoduladores; sin embargo, los estudios de toxicidad son limitados. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la toxicidad subaguda del aceite esencial de *Monarda fistulosa* (AEMF) en ratones C57BL/6 ambos sexos para estimar su margen preliminar de seguridad. Se predijeron parámetros toxicológicos de los constituyentes mayoritarios del AEMF utilizando el servidor Protox II. A partir de los valores teóricos de DL₅₀ se estableció una dosis de seguridad para el ensayo *in vivo*. Se integraron 4 grupos experimentales (n=6) a los que se administraron 20, 40, 80 y 120 mg de AEMF/kg/día y un grupo control. Se evaluó diariamente el peso de los animales, el consumo de alimento y las manifestaciones clínicas. La administración de 80 y 120 mg AEMF/kg registraron un 17% de letalidad; mientras que en dosis menores no hubo decesos. Por lo tanto, una dosis de 20 mg AEMF/kg/día no produjo mortalidad ni alteraciones histológicas evidentes durante 21 días, lo que sugiere un margen preliminar de seguridad en modelos murinos.

Palabras clave: *Monarda fistulosa*, aceite esencial, toxicidad.

ABSTRACT: Plants of the genus *Monarda* L. contain phenols, terpenes, flavonoids, anthocyanins, and phenolic acids with potential bioactive effects. The essential oil obtained from *Monarda fistulosa* L. is commercially distributed indiscriminately for therapeutic purposes. The biological activities of these oils include nematotoxic, insect-repellent, antioxidant, and immunomodulatory effects; however, toxicity studies are limited. Therefore, the objective of this study was to evaluate the subacute toxicity of *Monarda fistulosa* essential oil (MFEO) in male and female C57BL/6 mice.

Toxicological parameters of the main constituents of MFEO were predicted using the Protox II server. Based on the theoretical LD₅₀ values, a safety dose was established for the *in vivo* assay. Four experimental groups (n = 6) were established, receiving 20, 40, 80, and 120 mg MFEO/kg/day, along with a control group. Animal body weight, food intake, and clinical signs were monitored daily. Administration of 80 and 120 mg

MFEO/kg resulted in a 17% mortality rate, while lower doses showed no deaths. Therefore, a dose of 20 mg AEMF/kg/d did not result in mortality or evident histological alterations over 21 days, suggesting a preliminary margin of safety in murine models.

Key words: *Monarda fistulosa*, essential oil, toxicity.

INTRODUCCIÓN

El género *Monarda* L. (Lamiaceae) está conformado por 20 especies de plantas herbáceas nativas del norte de América (Native Plant Working Group, 2001). Este género se divide en dos subgéneros distintos, *Monarda* y *Cheilyctis*. En la actualidad, las especies de este género se cultivan ampliamente con fines ornamentales, pero también con fines medicinales (Upton, 2011; EDQM, 2016). El uso terapéutico de las especies de *Monarda* se atribuye a su alto contenido de compuestos orgánicos volátiles con potenciales efectos bioactivos (Vysochina, 2020). *Monarda fistulosa* se ha utilizado para el tratamiento de resfriados, dolor de estómago y cabeza, heridas y enfermedades de la piel. Diversos análisis químicos han permitido la identificación de fenoles (Andre *et al.*, 2016; Barnwal *et al.*, 2018), triterpenos (Bullangpoti *et al.*, 2018), monoterpenos (Casian *et al.*, 2020), carotenoides, vitamina C (Coltun *et al.*, 2018), flavonoides (Bullangpoti *et al.*, 2018), antocianinas y ácidos fenólicos a partir de la planta completa, así como timol, carvacrol, borneol y geraniol en el aceite esencial (AE). Las actividades biológicas del AE incluyen efectos nematotóxicos, repelentes de insectos y antioxidantes, entre otros (Adebayo *et al.*, 2013). Los AEs de *Monarda didyma* L., *M. citriodora* Cerv. ex Lag. y *M. punctata* L. también se les han atribuido diversos efectos medicinales (Adebayo *et al.*, 2013). Los beneficios terapéuticos de las plantas han impulsado el mercado de nutrácuticos; donde el segmento de extractos vegetales generó en el 2025 más de 45.31 mil millones de dólares. Sin embargo, muchos de estos productos se comercializan sin evaluación clínica robusta, lo que limita la evidencia sobre su eficacia y seguridad (Mordor Intelligence, 2025). La regulación variable y la falta de estandarización favorecen riesgos como hepatotoxicidad, nefrotoxicidad e interacciones farmacológicas, especialmente en preparados herbales (Navarro *et al.*, 2017; Teschke *et al.*, 2013). El crecimiento económico del sector resulta en un campo fértil para la generación de productos milagro sin rigor toxicológico y vigilancia post-comercialización. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la toxicidad subaguda del aceite esencial de *Monarda fistulosa* en ratones C57BL/6 y definir un margen preliminar de seguridad mediante la administración repetida de dosis seleccionadas a partir de una estimación teórica de DL₅₀ para la mezcla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y determinación taxonómica

Las partes aéreas de *Monarda fistulosa* L. (Lamiaceae) en estado reproductivo (floración) se colectaron el 1 de junio de 2020 en los Estados Unidos de América, estado de Texas, condado de Palo Pinto, en el área natural Fawcett Wildlife Management Area (coordenadas geográficas: 32.60172° N, -98.283722° O). La identificación taxonómica fue realizada y validada por el botánico Taylor Sultan Quedensley, mediante el uso de claves taxonómicas especializadas y la comparación con material de referencia de herbario. Un ejemplar de respaldo fue depositado en el Herbario de la Universidad de Texas bajo el número de catálogo TEX00566021 (número de colector 22308, Occurrence ID: 23d28bb3-e725-4c2d-93c4-ff44f4360de7).

Análisis químico del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

El aceite esencial de las partes aéreas de *Monarda fistulosa* L. se obtuvo por hidrodestilación y fue proporcionado por el Dr. Luis Cisneros-Zevallos, investigador de la Universidad de Texas

A&M. El análisis químico se realizó empleando cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM). Se utilizó el cromatógrafo Agilent 7890B (Agilent Technologies) acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5977A (Agilent Technologies). La separación cromatográfica se realizó en una columna capilar HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 µm; J&W Scientific). La muestra y los estándares de hidrocarburos se inyectaron en modo split (30:1), con una temperatura del inyector de 280 °C. El programa de temperatura del horno inició a 40 °C (1 min), seguido de una rampa de calentamiento de 8 °C/min hasta alcanzar 310 °C, manteniéndose a esta temperatura durante 15 min. Se empleó helio como gas acarreador a un flujo constante de 1 mL/min. La detección se realizó mediante ionización por impacto electrónico (EI) a 70 eV. La temperatura de la fuente de ionización se mantuvo a 230 °C y la del cuadrupolo a 150 °C. La adquisición y el procesamiento de datos se efectuaron utilizando el software MassHunter (Agilent Technologies). El análisis se realizó en el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Predicción de los parámetros toxicológicos de los componentes mayoritarios del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Con la finalidad de emplear el menor número de animales para el estudio *in vivo*, se realizó una aproximación teórica de los parámetros toxicológicos: carcinogenicidad, mutagenicidad, citotoxicidad de los componentes mayoritarios del AEMF: *o*-cimeno, timol y timoquinona utilizando el servidor ProTox-II. Las predicciones mediante este software emplearon el modelo de toxicidad oral aguda en roedores, basado en algoritmos de machine learning y descriptores estructurales 2D. Se emplearon los parámetros predeterminados del servidor y la estructura SMILES como entrada (Banerjee *et al.*, 2018).

Establecimiento de una dosis de seguridad del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Para el cálculo de la dosis del margen de seguridad del aceite esencial de *M. fistulosa* (AEMF) se utilizó el método de estimación de toxicidad aguda para mezclas (ATE) descrito en el Sistema Globalmente Armonizado (United Nations, 2019) y aplicado mediante la herramienta ChemsafetyPro (Little Pro, 2019) en la cual se emplearon los valores teóricos de DL₅₀ así como el porcentaje de los componentes mayoritarios del AEMF obtenidos por CG-EM: timoquinona (15.51%), *o*-cimeno (23.85%) y timol (26.89%):

$$100/DL_{50} = 15.51/2400 + 23.85/30 + 26.89/640$$
$$DL_{50} = 118.55 \text{ mg/kg} (\sim 120 \text{ mg/kg})$$

La dosis de 120 mg/kg/día se utilizó como dosis máxima de trabajo, al derivarse de la estimación teórica de DL₅₀ de la mezcla. Se incluyeron además tres dosis inferiores (80, 40 y 20 mg/kg/día) para caracterizar la relación dosis–respuesta, identificar niveles de tolerabilidad bajo administración repetida y delimitar un margen preliminar de seguridad.

Animales de experimentación

El estudio fue aprobado por el Comité para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ), bajo el número de registro: CICUAL-NAN-2097-23-24-1. Los procedimientos se realizaron de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (Diario Oficial de la Federación, 2001) y apegándose a los requerimientos de la guía ARRIVE (Animal Research: Reporting of *In vivo* Experiments) (Kilkenny *et al.*, 2010). Los ratones C57BL/6 de ambos sexos $n = 30$ (para un poder estadístico del 80% ($\beta = 0.20$) y de significancia $\alpha = 0.05$) con un peso (30 ± 3 g) se proporcionaron y alojaron en microaisladores con cama de viruta en el bioterio del INCMNSZ durante 20 días antes del inicio del estudio para adaptarse al entorno. Las condiciones de humedad relativa fueron de entre el 40% y el 70%, ciclos de 12 horas de luz/oscuridad y

temperatura ambiental de 22 ± 2 °C. El alimento (LabDieT 5053 irradiado) y agua se proporcionaron *ad libitum*. Los animales se asignaron aleatoriamente procurando balancear el peso corporal en 4 grupos experimentales ($n = 6$) administrados durante 21 días con las dosis de 20, 40, 80 y 120 mg/kg/día de aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. (AEMF), además de un grupo control ($n = 6$). El cálculo del tamaño de la muestra garantizó la validez estadística y cumplió con el principio de las 3R (reducir, reemplazar, refinar).

Preparación y administración oral de las formulaciones de aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

El valor estimado de DL_{50} de la mezcla mediante el método ATE se utilizó únicamente como referencia para definir la dosis máxima de exposición en el estudio *in vivo*. Debido a que el objetivo del presente trabajo no fue determinar la DL_{50} experimental aguda, sino evaluar la toxicidad subaguda por administración repetida y establecer un rango preliminar de tolerancia, se seleccionó la dosis superior de 120 mg/kg/día y tres dosis descendentes (80, 40 y 20 mg/kg/día). Este diseño permitió explorar la relación dosis-respuesta e identificar niveles de exposición asociados a una menor probabilidad de toxicidad durante 21 días.

Las formulaciones del AEMF en las dosis de 20, 40, 80 y 120 mg/kg/día se prepararon utilizando como vehículo aceite de maíz (Mazola®) en tubos Falcon de 15 mL cubiertos con aluminio para protegerlas de la luz hasta su uso. La administración se realizó por vía oral empleando una cánula esofágica curva de acero inoxidable no flexible de 18G x 1.5. Todos los procedimientos se apegaron a las recomendaciones descritas en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2025); para estudios de toxicidad oral aguda en roedores, particularmente en concordancia con los principios descritos en la OECD Test Guideline 407 (Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents). Aunque la guía establece una duración estándar de 28 días, en el presente estudio se empleó un periodo de exposición de 21 días, el cual permitió evaluar los efectos tóxicos asociados con la administración repetida del aceite esencial dentro de un marco experimental comparable. Se realizó la administración diaria por gavage de 150 μ L de la formulación por animal. De acuerdo con la OECD Test Guideline 407, cuando las sustancias se administran por gavage se recomienda minimizar la variabilidad del volumen administrado entre grupos ajustando la concentración del compuesto, con el fin de mantener un volumen constante entre tratamientos. Asimismo, la guía establece que el volumen administrado no debe exceder 1 mL por 100 g de peso corporal (10 mL/kg), el cual corresponde a un límite máximo de administración y no a un volumen estándar obligatorio. Considerando un peso corporal inicial promedio de 30 g, el volumen administrado en este estudio corresponde aproximadamente a 5.0 mL/kg.

Adicionalmente, los animales se monitorearon a los 20 y 30 minutos, 2 y 4-5 horas posteriores a la exposición a los tratamientos. Diariamente y a la misma hora se registraron el peso corporal, el consumo de alimento a través de la diferencia de peso entre la oferta y el rechazo, manifestaciones clínicas, aspecto físico y cambios en el comportamiento para establecer la severidad de los tratamientos. Los signos clínicos se clasificaron en una escala del 0 al 3, siendo 0 = normal y 3 = muy afectado. Diariamente, se registró la mortalidad de los animales, así como los hallazgos macroscópicos postmortem según fuera el caso. Durante el periodo experimental, únicamente el investigador responsable tenía conocimiento de la asignación y tratamiento de los grupos experimentales.

Eutanasia, obtención de muestras y tejidos

Transcurridos 21 días de exposición a los tratamientos, se procedió a la eutanasia de los animales, para lo cual fueron sometidos a un ayuno de 6 horas. El proceso se realizó mediante exanguinación por vía porta con previa inconsciencia por saturación con sevoflurano (fluorometil-2,2,2-trifluoro-1-(trifluorometil) etil éter) usando una cámara de anestesia, la muerte del animal fue confirmada mediante la ausencia de reflejos y paro cardiorrespiratorio. Se tomaron muestras de hígado y riñones, los cuales se colocaron en cassettes para inclusión en alcohol absoluto para su posterior procesamiento (National Research Council, 2011).

Análisis histológico

Las muestras de hígado y riñones, tejidos previamente fijados (formalina al 10%) se sometieron a un proceso automatizado de deshidratación, aclaramiento e infiltración en parafina utilizando un procesador de tejidos Thermo Scientific™ Shandon™. Inicialmente, los tejidos se deshidrataron mediante una serie gradual de soluciones de etanol de concentración creciente (70–100%) para eliminar el contenido de agua. Posteriormente, se realizó el aclaramiento con xileno. Finalmente, las muestras se sometieron a infiltración con parafina líquida a temperatura controlada (~58–60 °C), permitiendo la impregnación completa del tejido. Tras este proceso, los tejidos se incluyeron en bloques de parafina para su posterior corte (5 µm) histológico en micrótopo; las laminillas se tiñeron con hematoxilina y eosina (H&E) para su visualización en un microscopio Leica DM750 (Leica, Wetzlar, Alemania) a 40X (Delgadillo-Puga *et al.*, 2023).

Análisis estadísticos

Los datos se reportan como la media $\pm$ el error estándar ($n=6$). La normalidad se verificó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Para comparar los cambios medios de variables como el peso y el consumo de alimentos entre los grupos durante la intervención, se utilizó la prueba ANOVA de dos vías con medidas repetidas. Los análisis se realizaron con el software Jamovi y los valores de $p < 0.05$ se consideraron significativos. Los datos de supervivencia fueron expresados como porcentaje acumulado y representados gráficamente mediante curvas de Kaplan–Meier.

RESULTADOS

Análisis por CG-EM del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

El análisis del AEMF por CG-EM (**Figura 1**) permitió identificar 25 compuestos que se presentan en la **Tabla 1**, de los cuales, destacaron como componentes mayoritarios la timoquinona (15.51%), *o*-cimeno (23.85 %) y timol (26.89%).

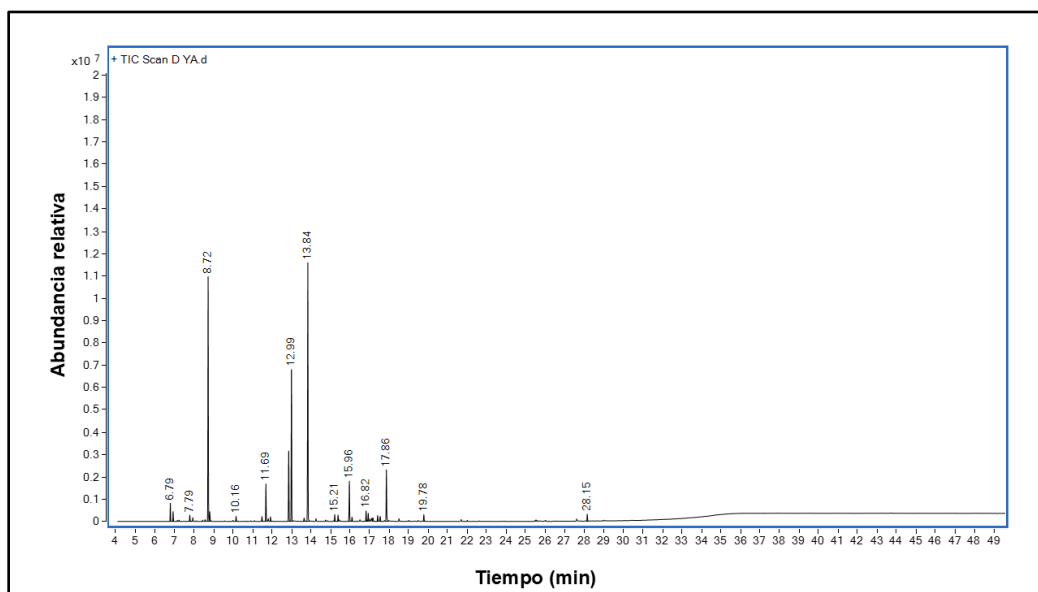


Figura 1. Perfil cromatográfico del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Figure 1. Chromatographic profile of the essential oil of *Monarda fistulosa* L.

Tabla 1. Composición química del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. en concordancia con la biblioteca NIST versión 3.0.**Table 1.** Chemical composition of the essential oil of *Monarda fistulosa* L. according to the NIST library version 3.0.

No.	Compuesto	TR (min)	IRL (calculado)	Area (%)
1	α -felandreno	6.79	929	1.597
2	3-Careno	6.93	936	0.877
3	NE	7.79	979	0.672
4	<i>o</i> -Cimeno	8.72	1027	23.858
5	<i>D</i> -Limoneno	8.81	1032	1.117
6	Linalol	10.16	1101	0.552
7	<i>endo</i> -Borneol	11.49	1172	0.513
8	4-Terpineol	11.69	1183	3.602
9	α -Terpineol	11.92	1196	0.476
10	2-isopropil-1-metoxi-4-metilbenceno	12.85	1248	7.088
11	Timoquinona	12.99	1256	15.515
12	3-metil-2-(2-metil-2-butenil)-furano	13.64	1293	0.409
13	Timol	13.84	1304	26.892
14	Copaeno	15.21	1386	0.685
15	β -Bourboneno	15.38	1397	0.66
16	Cariofileno	15.96	1433	4.217
17	NE	16.1	1440	0.473
18	γ -muuroleno	16.82	1487	1.073
19	NE	16.93	1494	0.815
20	NE	17.17	1509	0.594
21	NE	17.41	1524	0.617
22	<i>cis</i> -calameneno	17.54	1532	0.616
23	Timohidroquinona	17.86	1546	5.588
24	Naftaleno	19.78	1689	0.79
25	NE	28.15	2400	0.702

TR: tiempo de retención; IRL: índice de retención lineal calculado;

NE: no especificado por el software.

RT: retention time; LRI: calculated linear retention index;

NA: not specified by the software.

Predicción de parámetros toxicológicos del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Los resultados referentes a la hepatotoxicidad, carcinogenicidad, citotoxicidad, mutagenicidad de los componentes mayoritarios del AEMF se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Predicción de la toxicidad de compuestos seleccionados de *Monarda fistulosa* L.**Table 2.** Toxicity prediction of selected compounds from *Monarda fistulosa* L.

Compuesto	Hepatotóxico	Carcinógeno	Citotóxico	Mutagénico	Predicción LD ₅₀ (mg/kg)	SGA
Timol	No	No	No	No	640	IV
Timoquinona	No	No	No	No	2400	V
<i>o</i> -Cimeno	No	No	67%	No	30	II

Dosis letal media (DL₅₀); SGA = Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (mg/kg/día): Categoría I: >0–5; Categoría II: >5–50; Categoría III: >50–300; Categoría IV: >300–2000; Categoría V: >2000–5000; Categoría VI: >5000.

Median lethal dose (LD_{50}); GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (mg/kg/day): Category I: >0–5; Category II: >5–50; Category III: >50–300; Category IV: >300–2000; Category V: >2000–5000; Category VI: >5000.

Respuesta a la administración oral del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Los principales signos observados tras la administración de las dosis de 120, 80, 40 y 20 mg/kg/día a ratones C57BL/6 ($n = 6$) fueron: piloerección, respiración forzada, inmovilidad, ojos semicerrados, expresión facial asociada a dolor, letargia e hipotermia. Además, al incrementarse los días de administración del AEMF, se observó disminución del peso corporal (**Figura 2A, B**) y del consumo de alimento (**Figura 2C, D**).

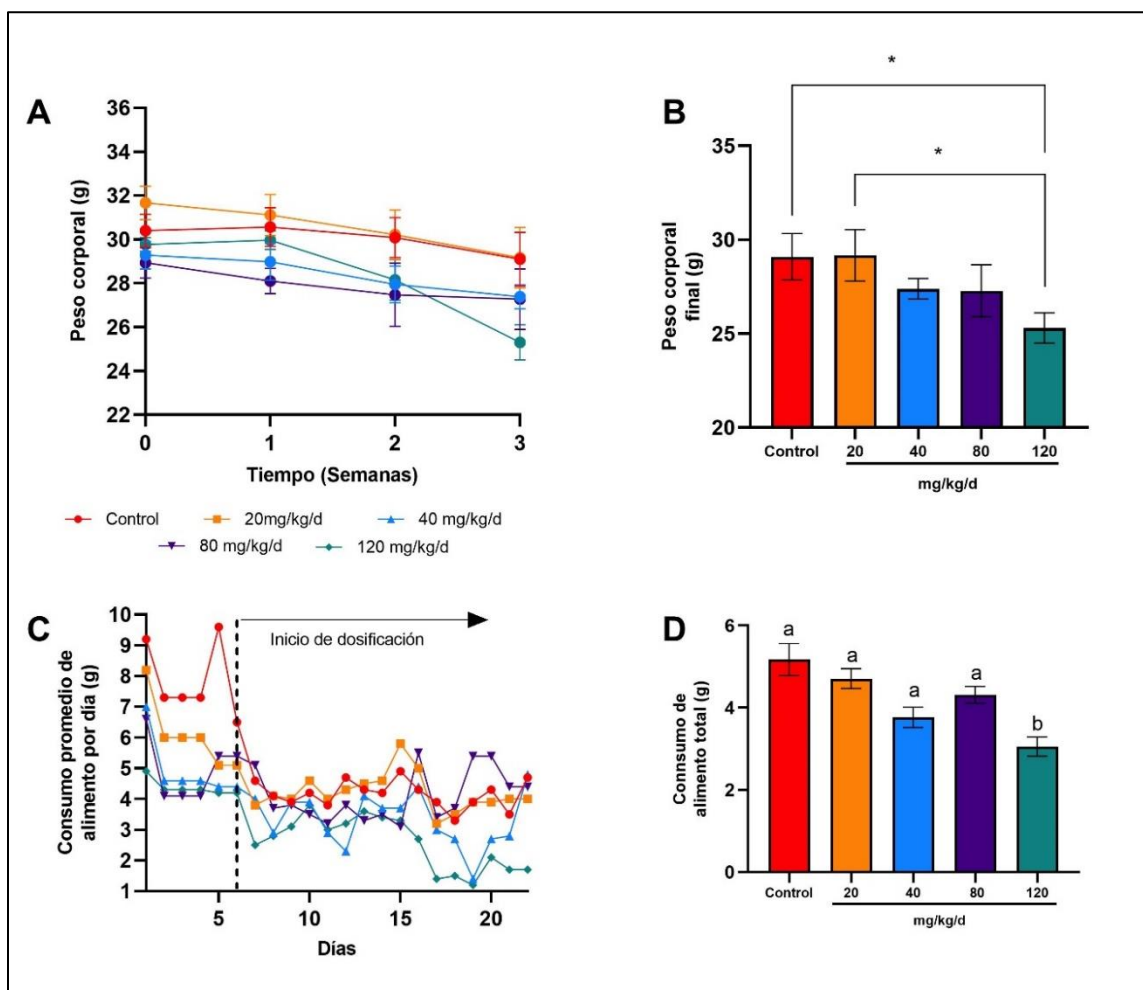


Figura 2. Curva de peso acumulado (A, B) y consumo de alimento (C, D) durante 21 días de la administración de 20 (barras o líneas naranjas), 40 (barras o líneas azul claro), 80 (barras o líneas azul morado) y 120 mg/mg/día (barras o líneas verdes) del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. Los resultados se presentan como el promedio $\pm$ error estándar ($n=6$). Las letras diferentes sobre las barras muestran diferencia ($p < 0.05$) estadística significativa.

Figure 2. Body weight gain (A, B) and food intake (C, D) during 21 days of administration of *Monarda fistulosa* L. essential oil at doses of 20 (orange bars/lines), 40 (light blue bars/lines), 80 (purple-blue bars/lines), and 120 mg/kg/day (green bars/lines). Data are expressed as mean $\pm$ standard error ($n = 6$). Different letters above the bars indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

Las curvas de supervivencia de Kaplan–Meier (Figura 3) mostraron ausencia de mortalidad en los grupos control, 20 mg/kg y 40 mg/kg. Se registró una muerte en el día 9 en los grupos de 80 mg/kg y 120 mg/kg, resultando en una supervivencia final de 83.3% en estos grupos, mientras que los grupos de menor dosis mantuvieron una supervivencia de 100%.

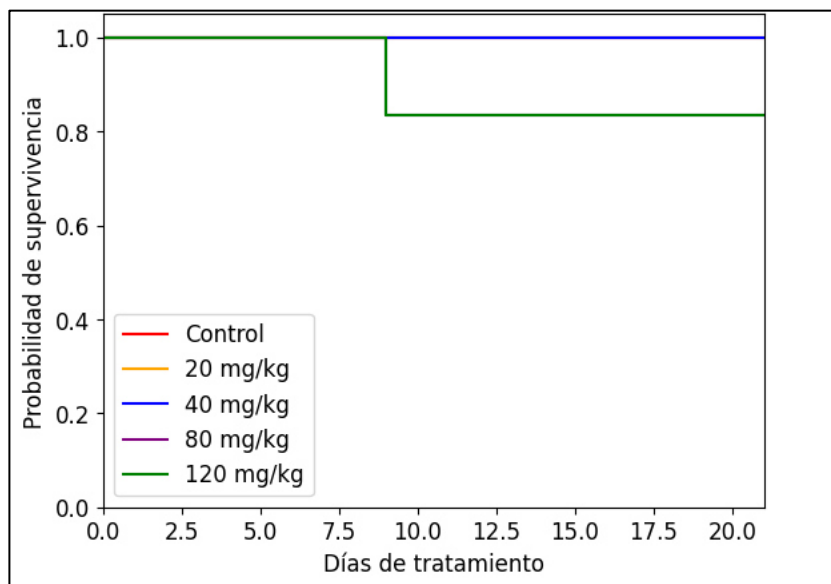


Figura 3. Curva de sobrevivencia de Kaplan–Meier durante 21 días de la administración del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L a dosis de 20 (línea naranja), 40 (línea azul), 80 (línea morada) y 120 mg/kg/día (línea verde) del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

Figure 3. Kaplan–Meier survival curves over 21 days of administration of *Monarda fistulosa* L. essential oil at doses of 20 (orange line), 40 (blue line), 80 (purple line), and 120 mg/kg/day (green line).

Al final del periodo experimental (**Figura 2A**) se observó una disminución del peso corporal en los animales expuestos a la dosis más alta (120 mg/kg/día) de aceite esencial de *Monarda fistulosa* L., alcanzando valores cercanos a 26 g tras 21 días de administración. Este efecto podría estar relacionado con la actividad biológica de algunos de los monoterpenos fenólicos presentes en el aceite esencial, como timol, y *o*-cimenol, compuestos ampliamente descritos por sus efectos sobre procesos metabólicos, la actividad digestiva y la fisiología celular en modelos experimentales (Marchese *et al.*, 2017). En este contexto, la reducción del peso corporal observada en el grupo de mayor dosis podría reflejar una respuesta fisiológica asociada con la exposición repetida a estos compuestos bioactivos.

Análisis histológico de hígado y riñón de los animales tratados con el aceite esencial de *Monarda fistulosa* L.

El análisis histológico del tejido hepático (**Figura 4**) y renal (**Figura 5 y 6**) se realizó para ratones del grupo control y ratones expuestos a 80 y 120 mg/kg/día de AEMF. En la **Figura 4A y 4B** se presenta el tejido hepático de los ratones C57BL/6 del grupo control, donde no se evidencian daños en las estructuras celulares; el parénquima se mantuvo sin cambios patológicos aparentes. La **Figura 4C y 4D**, corresponde a los cortes histológicos del hígado de animales expuestos a 80 mg/kg/día del AEMF, mientras que la **Figura 4E y 4F** corresponden a la dosis de 120 mg/kg/día del AEMF; a la dosis de 80 mg/kg/día se observan las estructuras bien conservadas sin infiltraciones inflamatorias, sin embargo, en el tejido hepático de los ratones expuestos a 120 mg/kg/día, se observan células eosinofílicas de naturaleza inflamatoria, las cuales se indican con una flecha azul y etiqueta con la letra C (**Figura 4E, 4F**).

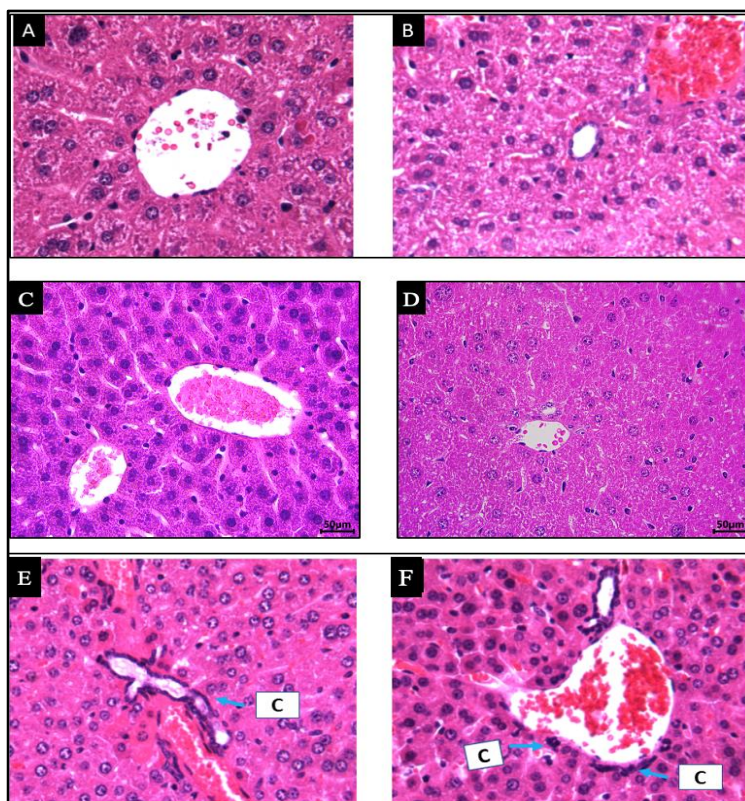


Figura 4. Secciones histológicas del hígado de ratones C57BL/6 del grupo control (**A, B**) y ratones expuestos a 80 (**C, D**) y 120 (**E, F**) mg/kg/día del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. con tinción hematoxilina y eosina (H&E). Las flechas azules etiquetadas con la letra C señalan células eosinófilas.

Figure 4. Liver histological sections from C57BL/6 mice in the control group (**A, B**) and mice treated with 80 (**C, D**) and 120 (**E, F**) mg/kg/day of *Monarda fistulosa* L. essential oil, stained with hematoxylin and eosin (H&E). Blue arrows labeled C indicate eosinophilic cells.

En la **Figura 5** se presentan las secciones histológicas del área cortical del riñón de ratones C57BL/6 del grupo control. El área cortical del riñón muestra las estructuras glomerulares preservadas (**B**) con infiltración de eritrocitos en el área mesangial (**C**), la cápsula de Bowman está identificada como preservada sin engrosamiento (**D**); los túbulos contorneados distales están preservados sin cambios patológicos aparentes (**E**) y se observan los túbulos contorneados proximales (**F**).

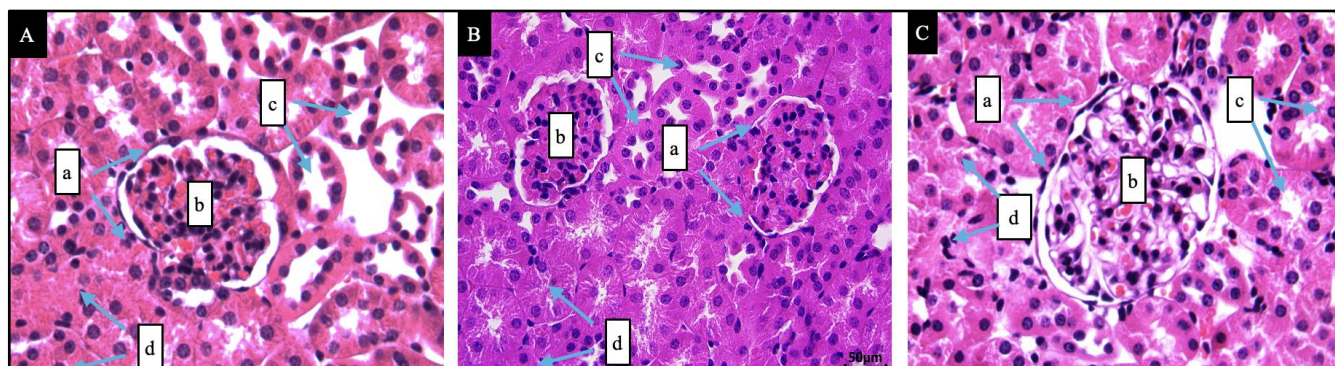


Figura 5. Secciones histológicas del área cortical del riñón de ratones C57BL/6 después de la administración del aceite de maíz al grupo control (A), 80 mg/kg/día (B) y 120 mg/kg/día (C) del aceite esencial de *Monarda fistulosa* L. con tinción H&E. Las flechas azules indican a: estructura glomerular; b: área mesangial; c: túbulo contorneado distal; d: túbulo contorneado proximal.

Figure 5. Histological sections of the cortical area of the kidney of C57BL/6 mice after administration of corn oil to the control group (A), 80 mg/kg/day (B) and 120 mg/kg/day (C) of the essential oil of *Monarda fistulosa* L. with H&E staining. The blue arrows indicate a: glomerular structure; b: mesangial area; c: distal convoluted tubules; d: proximal convoluted tubules.

En la **Figura 5B** se presentan las secciones del área cortical del riñón de los animales expuestos a 80 mg/kg/día del AEMF, en donde se muestra una arquitectura cortical renal conservada. Los corpúsculos renales presentan glomerulos definidos. Asimismo, los túbulo contorneado proximal y distal mantienen epitelio cúbico intacto, núcleos redondeados definidos y lumen tubular conservado. En conjunto, no se observan alteraciones histopatológicas evidentes como necrosis tubular, degeneración celular marcada, esclerosis glomerular ni dilatación tubular severa.

En la **Figura 5C** se presentan las secciones histológicas del área cortical del riñón de ratones C57BL/6 administrados con 120 mg/kg/día del AEMF, el área cortical del riñón muestra estructuras glomerulares con infiltración de células inflamatorias, mientras que en el área mesangial se observa hiperplasia, la cápsula de Bowman está identificada con engrosamiento, los túbulo contorneado distal se observan con infiltración de células inflamatorias y una reducción en el lumen aparente.

DISCUSIÓN

Durante los últimos años, el interés de los aceites esenciales (AEs) ha incrementado debido a sus diversas aplicaciones industriales y efectos biológicos como antimicrobianos, analgésicos y antiinflamatorios, entre otros (Aziz *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de su origen natural, los AEs no están exentos de inducir efectos adversos. Este es un tema de importancia en el campo de la salud pública, ya que actualmente se ha observado el incremento constante de nuevos productos herbales de venta libre que carecen de estudios toxicológicos controlados a nivel preclínico y clínico. Por lo anterior, la evaluación de la toxicidad representa un paso clave para establecer el margen de seguridad y límites de exposición adecuados que permitan aprovechar el potencial terapéutico de las especies vegetales sin causar daño por toxicidad. Actualmente, la exploración de la tolerancia de los AEs en modelos murinos sigue siendo una herramienta útil y el primer paso necesario para identificar dosis seguras que puedan ser trasladadas a humanos.

El análisis químico del AEMF por métodos cromatográficos y espectrométricos permitió identificar al timol, timoquinona y *o*-cimeno como constituyentes mayoritarios, lo cual es

consistente con lo informado en la literatura (Ghosh *et al.*, 2020). La literatura reciente confirma una marcada variabilidad química entre poblaciones, quimiotipos y etapas fenológicas de *Monarda fistulosa* L, aunque los compuestos predominantes reportados con mayor frecuencia incluyen timol, carvacrol, *p*-cimeno y, en algunos materiales vegetales, timoquinona (Gontar, 2024; Colţun *et al.*, 2019). Estudios publicados en 2020 y 2024 muestran precisamente que la composición de *M. fistulosa* puede desplazarse entre perfiles dominados por carvacrol/timol y perfiles con abundancia relevante de *p*-cimeno y timoquinona, lo cual es importante porque la variación composicional puede modificar de manera sustancial el perfil farmacológico y toxicológico del aceite esencial (Ghosh *et al.*, 2020; Gontar *et al.*, 2024; Lawson *et al.*, 2021).

Por otra parte, las aproximaciones teóricas sugieren que el timol y timoquinona no causan hepatotoxicidad, carcinogenicidad, mutagenicidad y citotoxicidad, a excepción del *o*-cimeno para el cual se predijo un riesgo potencial del 67% en el último parámetro. Esta predicción teórica ha sido corroborada en estudios *in vitro* (Souza *et al.*, 2024). Respecto a la DL₅₀ teórica, timol y timoquinona se clasificaron en la categoría IV y V del Sistema Globalmente Armonizado (SGA), mientras que el *o*-cimeno fue el único compuesto en la clasificación II del SGA (tóxico). Los valores teóricos de DL₅₀ y el porcentaje de componentes mayoritarios en el AEMF permitieron establecer la dosis de seguridad de 120 mg/kg/día para ser evaluada en un modelo murino. Durante los 21 días de la administración del AEMF se observó disminución en la ingesta de alimento, lo cual provocó una disminución del peso corporal. En la literatura se ha informado que algunos AEs como los del comino (*Cuminum cyminum*), jengibre (*Zingiber officinale*) y otras especies vegetales reducen el apetito en ratas. En dichos estudios se atribuyó al timol como responsable de la actividad (Haque y Ansari, 2018). Este compuesto fue el de mayor proporción (26.89%) en el AEMF, por lo que podría contribuir significativamente a la respuesta observada en el modelo murino de la presente investigación.

Por otra parte, en la inspección post mortem de los animales que recibieron las dosis de 120 y 80 mg/kg/día se observaron los riñones sin cambios patológicos aparentes, la cámara gástrica y el tubo gastrointestinal intactos. En cambio, el corazón presentaba cambios físicos evidentes y se observó necrosis hepática parcial. El análisis histológico del tejido hepático después del suministro oral del AEMF a una dosis de 120 mg/kg/día evidenció la presencia de eosinófilos indicando infiltración inflamatoria. Mientras que, el análisis del riñón de los ratones tratados con la misma dosis, permitió identificar la presencia de infiltración de células inflamatorias.

Como ya se mencionó, los aceites esenciales presentan un amplio potencial terapéutico, su perfil toxicológico puede variar significativamente dependiendo de la composición química, la dosis y la duración de la exposición. Investigaciones recientes han mostrado que compuestos fenólicos presentes en aceites esenciales, como timol y carvacrol, pueden inducir efectos biológicos dependientes de la dosis, incluyendo alteraciones en la homeostasis celular, estrés oxidativo y respuestas inflamatorias en tejidos metabólicamente activos como hígado y riñón (Bakkali *et al.*, 2008; Nazzaro *et al.*, 2013; Abdelmohsen y Elmaidomy, 2025). En modelos animales, se ha observado que dosis elevadas de algunos aceites esenciales pueden provocar infiltración de células inflamatorias y alteraciones histológicas en órganos como hígado, riñón y corazón, lo cual coincide con los hallazgos observados en el presente estudio. En particular, se ha descrito que monoterpenos fenólicos como el timol pueden modular vías relacionadas con el metabolismo hepático y la respuesta inflamatoria, lo que podría contribuir a explicar la presencia de infiltración celular observada en el análisis histológico (Marchese *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2024).

Los resultados obtenidos en el presente estudio también pueden interpretarse a la luz de investigaciones recientes que han evaluado la toxicidad de aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos en modelos animales (Sartori *et al.*, 2021). Estos resultados ponen de manifiesto la urgente necesidad de establecer regulaciones claras sobre el etiquetado de productos que contienen aceites esenciales, así como de llevar a cabo estudios clínicos rigurosos que permitan evaluar su seguridad en humanos. Tal como advirtió Paracelso en el siglo XVI, “la dosis hace el veneno”, una máxima que sigue siendo vigente y que cobra especial relevancia en el uso indiscriminado. En conjunto, los hallazgos del presente estudio confirman que, aunque el aceite esencial de *Monarda fistulosa* posee un perfil químico caracterizado por compuestos bioactivos

con potencial farmacológico, su administración a dosis elevadas puede inducir respuestas fisiológicas y alteraciones tisulares que deben considerarse en evaluaciones de seguridad. Por lo tanto, la determinación de dosis seguras y la caracterización toxicológica sistemática constituyen pasos indispensables para el desarrollo responsable de productos derivados de aceites esenciales.

CONCLUSIÓN

La administración oral repetida del aceite esencial de *Monarda fistulosa* (AEMF) a dosis de 80 y 120 mg/kg/día resultó en una letalidad del 17% de la población a los 9 días de tratamiento, acompañada de signos clínicos indicativos de toxicidad. En contraste, una dosis de 20 mg AEMF/kg/día podría considerarse segura en modelos murinos. Estos resultados destacan la necesidad de continuar con estudios toxicológicos más amplios, incluyendo evaluaciones crónicas y ensayos clínicos controlados, con el fin de establecer con mayor precisión su margen de seguridad y su posible aplicación terapéutica.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Nutrición Animal, Dr. Fernando Pérez-Gil Romo y al Departamento de Investigación Experimental y Bioterio del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

LITERATURA CITADA

- Abdelmohsen, U.R. y Elmaidomy, A.H. 2025. Exploring the therapeutic potential of essential oils: a review of composition and influencing factors. *Frontiers in Natural Products* 4: 1490511. <https://doi.org/10.3389/fntr.2025.1490511>
- Adebayo, O., Bélanger, A. y Khanizadeh, S. 2013. Variable inhibitory activities of essential oils of three *Monarda* species on the growth of *Botrytis cinerea*. *Canadian Journal of Plant Science* 93: 987–999. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-044>
- Andre, W.P., Ribeiro, W.L., Cavalcante, G.S., dos Santos, J.M., Macedo, I.T., de Paula, H.C., de Freitas, R.M., de Moraes, S.M., de Melo, J.V. y Bevilacqua, C.M. 2016. Comparative efficacy and toxic effects of carvacryl acetate and carvacrol on sheep gastrointestinal nematodes and mice. *Veterinary Parasitology* 218: 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.01.001>
- Aziz, Z.A.A., Ahmad, A., Setapar, S.H.M., Karakucuk, A., Azim, M.M., Lokhat, D., Rafatullah, M., Ganash, M., Kamal, M.A. y Ashraf, G.M. 2018. Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential: a review. *Current Drug Metabolism* 19(13): 1100–1110. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. y Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils: a review. *Food and Chemical Toxicology* 46(2): 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Banerjee, P., Eckert, A.O., Schrey, A.K. y Preissner, R. 2018. ProTox-II: a webserver for the prediction of toxicity of chemicals. *Nucleic Acids Research* 46(W1): W257–W263. <https://doi.org/10.1093/nar/gky318>
- Barnwal, P., Vafa, A., Afzal, S.M., Shahid, A., Hasan, S.K., Alpashree y Sultana, S. 2018. Benzo(a)pyrene induces lung toxicity and inflammation in mice: prevention by carvacrol. *Human and Experimental Toxicology* 37(7): 752–761. <https://doi.org/10.1177/0960327117735572>

- Bullangpoti, V., Mujchariyakul, W., Laksanavilat, N. y Junhirun, P. 2018. Acute toxicity of essential oil compounds (thymol and 1,8-cineole) to insectivorous guppy, *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Agriculture and Natural Resources* 52(2): 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.06.011>
- Casian, I., Casian, A. y Valica, V. 2020. Obtaining the wild bergamot essential oil with high content of thymoquinone. *Moldovan Medical Journal* 63(2): 40–43. DOI: 10.5281/zenodo.3866012
- Colțun, M., Gille, E., Necula, R. y Grigoraș, V. (2019). Biological study and chemical composition of *Monarda fistulosa* L. essential oil. *Studia Universitatis Moldaviae: Științe reale și ale naturii* 6 (116).
- Delgadillo-Puga, C., Torre-Villalvazo, I., Noriega, L.G., Rodríguez-López, L.A., Alemán, G., Torre-Anaya, E.A., Cariño-Cervantes, Y.Y., Palacios-González, B., Furuzawa-Carballeda, J., Tovar, A.R. y Cisneros-Zevallos, L. 2023. Las nueces pecanas y sus polifenoles previenen la obesidad, la esteatosis hepática y la diabetes al reducir la disbiosis, la inflamación y aumentar el gasto energético en ratones alimentados con una dieta rica en grasas. *Nutrients* 15(11): 2591. <https://doi.org/10.3390/nu15112591>
- Diario Oficial de la Federación (2001). NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare (EDQM). 2016. *European Pharmacopoeia*. 9th ed. Council of Europe, Strasbourg
- Ghosh, M., Schepetkin, I.A., Özek, G., Özek, T., Khlebnikov, A.I., Damron, D.S. y Quinn, M.T. 2020. Essential oils from *Monarda fistulosa*: chemical composition and activation of transient receptor potential A1 (TRPA1) channels. *Molecules* 25(21): 4873. <https://doi.org/10.3390/molecules25214873>
- Gontar, Ł., Geszprych, A., Sitarek-Andrzejczyk, M. y Osńska, E. 2024. Influence of plant phenology on chemical composition of *Monarda fistulosa* L. organs and their bioactive properties. *Plant Foods for Human Nutrition* 79(4): 920–925. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01238-y>
- Haque, M.R. y Ansari, H.S. 2018. Anti-obesity effect of arq zeera and its main components thymol and cuminaldehyde in high fat diet induced obese rats. *Drug Research* 68(11): 637–647. <https://doi.org/10.1055/a-0590-1956>
- Kilkenny, C., Browne, W.J., Cuthill, I.C., Emerson, M. y Altman, D.G. 2010. Improving bioscience research reporting: the ARRIVE guidelines for reporting animal research. *PLoS Biology* 8(6): e1000412. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000412>
- Lawson, S.K., Satyal, P. y Setzer, W.N. 2021. The volatile phytochemistry of *Monarda* species growing in South Alabama. *Plants* 10(3): 482. <https://doi.org/10.3390/plants10030482>
- Little Pro. 2019. Acute toxicity classification for mixture (acute toxicity estimate ATE method). Disponible en: https://www.chemsafetypro.com/Topics/GHS/Examples_of_Acute_Toxicity_Classification_for_Mixture.html
- Marchese, A., Barbieri, R., Coppo, E., Orhan, I.E., Daglia, M., Nabavi, S.F., Izadi, M., Abdollahi, M., Nabavi, S.M. y Ajami, M. 2017. Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: a mechanistic viewpoint. *Critical Reviews in Microbiology* 43(6): 668–689. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1295225>
- Mordor Intelligence. 2025. Essential oils market – growth, trends, and forecast (2025–2030). Mordor Intelligence, Hyderabad. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/essential-oils-market>
- Native Plant Working Group. 2001. *Native plant revegetation guidelines for Alberta*. Alberta Agriculture, Food and Rural Development y Alberta Environment, Edmonton.

Recibido / Received:
4/noviembre/2025

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

Aceptado / Accepted:
1/junio/2026

- Navarro, V.J., Khan, I., Björnsson, E., Seeff, L.B., Serrano, J. y Hoofnagle, J.H. 2017. Liver injury from herbal and dietary supplements. *Hepatology* 65(1): 363–373. <https://doi.org/10.1002/hep.28813>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R. y De Feo, V. 2013. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals* 6(12): 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
- National Research Council. 2011. *Guide for the care and use of laboratory animals*. 8th ed. National Academies Press, Washington, D.C.
- OECD. (Organisation for Economic Co-operation and Development) 2025. *Test Guideline No. 407: Repeated dose 28-day oral toxicity study in rodents*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4: Health Effects. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264070684-en>
- Sartori Tamburlin, I., Roux, E., Feuillee, M., Labbé, J., Aussaguès, Y., El Fadle, F.E., Fraboul, F. y Bouvier, G. 2021. Toxicological safety assessment of essential oils used as food supplements to establish safe oral recommended doses. *Food and Chemical Toxicology* 157: 112603. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112603>
- Souza, N.P., Fontão, A.P.G.A., Silva, G.W.S.E., Sampaio, A.L.F. y Mazzei, J.L. 2024. Assessment of in vitro and in silico antiproliferative effects of p-cymene and its naturally occurring 7-oxygenated derivatives on human cancer cell lines. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 25(10): 3515–3524. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2024.25.10.3515>
- Teschke R., Frenzel C., Glass X., Schulze J., Eickhoff A. 2013. Herbal hepatotoxicity: a critical review. *British Journal of Clinical Pharmacology* 75(3): 630–636. DOI:10.1111/j.1365-2125.2012.04395.x
- United Nations (2019). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), 8th revised edition. United Nations, New York and Geneva.
- Upton, R., Graff, A., Jolliffe, G., Länger, R. y Williamson, E. (2011). *American Herbal Pharmacopoeia: Botanical Pharmacognosy – Microscopic Characterization of Botanical Medicines*. CRC Press, Boca Raton. 800 pp. <https://doi.org/10.1201/b10413>
- Vysochina G.I. 2020. Genus *Monarda* (Lamiaceae): chemical composition, biological activity and practical application (review). *Chemistry for Sustainable Development* 28(1): 3–12.