

SEP

# POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768

ISSN 2395-9525



Enero 2026

Núm. 61

POLIBOTÁNICA

Núm. 61

Ciencia y  
Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades,  
Tecnología e Innovación

Enero 2026



## PÁG.

## CONTENIDO

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



## PÁG.

## CONTENIDO

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

# POLIBOTÁNICA

Núm. 61

ISSN electrónico: 2395-9525

Enero 2026



## Portada

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

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

por/by  
Rafael Fernández Nava

**REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**EDITOR EN JEFE**  
*Rafael Fernández Nava*

**EDITORAS ASOCIADAS**  
*Maria de la Luz Arreguín Sánchez*

**COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL**

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

*Delia Fernández González*  
Universidad de León  
León, España

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

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

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

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

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

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

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

*Mauricio Velayos Rodríguez*  
Real Jardín Botánico  
Madrid, España

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA**  
*Luz Elena Tejeda Hernández*

**OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**  
*Pedro Aráoz Palomino*

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

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

## **INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

e) CONCLUSIONES.

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

1. Secciones/Subtítulos de párrafo: Fuente tamaño 16, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula.
2. Subsecciones/Subtítulos de párrafo secundarios : Fuente tamaño 14, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula. Cuando existan subsecciones de subsección formatear en tamaño 13 negrita y centrado.
3. Cuerpo del texto: Fuente tamaño 12, justificado. NO debe haber saltos de línea entre párrafos.
4. Las notas de pie de página deben estar al final de cada página, fuente tamaño 12 justificadas.
5. Cita textual con mas de tres líneas: Fuente tamaño 12, margen izquierdo de 4 cm.
6. Título de imágenes: Fuente tamaño 12, centrado y en negritas, separado por dos puntos de su descripción. Descripción de las imágenes: tamaño 12.
7. Notas al pie de las imágenes: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la imagen, la primera letra debe estar en mayúsculas.
8. Imágenes: deben estar en el cuerpo del texto, insertadas en formato png o jpg, a por lo menos 300 dpi de resolución y centradas. Las imágenes 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 itálicas. 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 enviaran por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisarán y evaluarán y serán 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.

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 Conclusionsis: 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:

- CRMCYT - 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 Ruiz*

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

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

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

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

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

## ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director:

*Dr. Isaac Juan Luna Romero*

Subdirectora Académica:

*Biol. Elizabeth Guarneros Banuelos*

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

*Lic. Edgar Gregorio Cárcamo Villalobos*

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

*Biól. Gonzalo Galindo Becerril*

---

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

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

**Polibotánica**

ISSN electrónico: 2395-9525

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

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

# **COMPARACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLA, AGOSTADERO Y URBANO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA EN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO**

# **COMPARISON OF SOIL RESPIRATION RATES IN AGRICULTURAL, RANGELAND, AND URBAN ECOSYSTEMS AT SEMIARID AREAS IN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MEXICO**

**Flores Margez, J.P., A. Valles Rodriguez, P. Osuna Avila, D. Adilene Garcia Gonzalez**

COMPARACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLA,  
AGOSTADERO Y URBANO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA EN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO

COMPARISON OF SOIL RESPIRATION RATES IN AGRICULTURAL, RANGELAND, AND URBAN  
ECOSYSTEMS AT SEMIARID AREAS IN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MEXICO



**Comparación de tasas de respiración del suelo en ecosistemas agrícola, agostadero y urbano en una zona semiárida en Juárez, Chihuahua, México****Comparison of soil respiration rates in agricultural, rangeland, and urban ecosystems at semiarid areas in Juárez, Chihuahua, Mexico**

Juan Pedro Flores Margez,  
Alejandra Valles Rodríguez  
Pedro Osuna Avila, Dolores  
Adilene García González

**COMPARACIÓN DE TASAS  
DE RESPIRACIÓN DEL  
SUELO EN ECOSISTEMAS  
AGRÍCOLA, AGOSTADERO  
Y URBANO EN UNA ZONA  
SEMIÁRIDA EN JUÁREZ,  
CHIHUAHUA, MÉXICO**

**COMPARISON OF SOIL  
RESPIRATION RATES IN  
AGRICULTURAL,  
RANGELAND, AND URBAN  
ECOSYSTEMS AT  
SEMIARID AREAS IN  
JUÁREZ, CHIHUAHUA,  
MEXICO**

POLIBOTÁNICA  
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 115-131. Enero 2026

DOI:  
[10.18387/polibotanica.61.6](https://doi.org/10.18387/polibotanica.61.6)

Juan Pedro Flores-Márgez / [juflores@uacj.mx](mailto:juflores@uacj.mx) 

<https://orcid.org/0000-0003-0379-4128>

Alejandra Valles-Rodríguez <https://orcid.org/0009-0002-3771-4907>

Pedro Osuna-Ávila <https://orcid.org/0000-0002-7499-9676>

Dolores Adilene García-González <https://orcid.org/0000-0003-4634-1110>

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles  
núm. 1210, Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, C.P. 32310*

**RESUMEN:** La actividad de los microorganismos y raíces de la vegetación generan el proceso de respiración en el suelo al liberar CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por ello es importante cuantificar los impactos en los ecosistemas semiáridos. El objetivo fue comparar las tasas de respiración del suelo en tres ecosistemas: cultivo agrícola, agostadero y parque urbano, correlación con propiedades físicas y químicas de los suelos. Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0 a 15 cm, en cinco sitios con cinco repeticiones en cada ecosistema. Las variables fueron el contenido de partículas minerales, densidad aparente, porosidad, materia orgánica, alcalinidad, salinidad y la respiración del suelo. Esta última cuantificó el C-CO<sub>2</sub> con un método basado en cambios de la conductividad eléctrica del KOH 0.5 M en incubaciones aeróbicas. Diferencias significativas fueron detectadas para arena, limo, salinidad, materia orgánica y respiración, mientras que densidad aparente, arcilla y pH fueron no significativos entre ecosistemas. La tasa de respiración (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) en el suelo fue menor para el Sitio sin cultivo que presentó menor contenido de materia orgánica y mayor espacio poroso. El suelo con cultivo agrícola mostró más respiración que el sin cultivo, pero menos que el suelo de parque urbano, el cual duplicó al suelo agrícola, ya que presentó menor salinidad y mayor cantidad de materia orgánica. Correlaciones significativas se encontraron entre las tasas de respiración con el contenido de materia orgánica y el porcentaje de arena. Las tendencias de respiración del suelo observadas entre los ecosistemas contribuyen al entendimiento de la emisión de CO<sub>2</sub> en zonas semiáridas e impacto en el cambio climático.

**Palabras clave:** Conductividad eléctrica, dióxido de carbono, materia orgánica, alcalinidad, textura.

**ABSTRACT:** The activity of microorganisms and vegetation roots generates soil respiration by releasing CO<sub>2</sub> into the atmosphere. This process requires an assessment to quantify the impacts on semiarid ecosystems. The objective was to compare soil respiration rates in three ecosystems: agricultural, rangeland, and urban park, also the correlation with soil physical and chemical properties. Soil samples were collected at a depth of 0 to 15 cm at five sites with five replicates in each ecosystem. The variables evaluated were mineral particle content, bulk density, porosity, organic matter, alkalinity, salinity, and soil respiration. The C-CO<sub>2</sub> emission was assessed on change in the electrical conductivity measurement of 0.5% KOH M in aerobic incubations. Significant differences were detected for sand, silt, salinity, organic matter and soil respiration, but bulk density, clay, and pH did not present significant differences between ecosystems. The lowest soil respiration rate (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) was observed in the rangeland, which in turn had a lower organic matter content, and lower porosity. The agricultural soil showed more respiration than the rangeland soil, but less than the urban park soil, which was twice as high as the agricultural soil, and presented lower salinity

and higher amounts of organic matter. Significant correlations were found between respiration rates and the organic matter content and sand percentage. The trends in soil respiration observed between ecosystems contribute to the understanding of CO<sub>2</sub> emissions in semi-arid areas, and impact on climate change.

**Key words:** Electrical conductivity, carbon dioxide, organic matter, alkalinity, texture.

## INTRODUCCIÓN

El ciclo global del carbono relacionado con el problema de cambio climático es fundamental en ecosistemas de zonas áridas y semiáridas donde la respiración del suelo es un componente crítico y representa la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del suelo a la atmósfera, pues el 47.2% de la superficie del planeta es cubierto por estos ecosistemas (Lal, 2004; Mann *et al.*, 2024). El carbono (C) suele encontrarse en dos formas principalmente, como carbono orgánico e inorgánico. El C orgánico proviene de restos vegetales, animales y de microorganismos, es almacenado en forma de materia orgánica, la cual se encuentra protegida por agregados del suelo y minerales que favorecen su conservación a través del tiempo.

El C inorgánico se encuentra en forma de carbonatos, sobre todo en regiones áridas y está condicionado por factores como el pH y el manejo agrícola (Lal, 2016; Luo *et al.*, 2017; Gross & Harrison, 2019; Ferdush & Paul, 2021; Georgiou *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2024). El C llega al suelo principalmente a través de restos de raíces, hojas y exudados de raíces, posteriormente este carbono es utilizado por microorganismos que descomponen la materia orgánica y liberan CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Gross & Harrison, 2019; Basile *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022; Morrissey *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023).

El carbono se encuentra estabilizado gracias a la formación de complejos órgano-minerales y la encapsulación en micro agregados que lo protegen de la descomposición microbiana. Sin embargo, el carbono es propenso a perderse debido a cambios en el uso del suelo, el aumento de la temperatura y la humedad, favorecen la desestabilización del carbono, liberándolo en forma de CO<sub>2</sub> (Lal, 2016; Balesdent *et al.*, 2018; Bailey *et al.*, 2019; Lehmann *et al.*, 2020; Basile *et al.*, 2020; Witzgall *et al.*, 2021; Georgiou *et al.*, 2022).

La respiración del suelo es el proceso mediante el cual el dióxido de carbono es liberado desde el suelo hacia la atmósfera, siendo este el resultado de la actividad de raíces y microorganismos. Es un componente esencial en el ciclo global del carbono y esta influenciada por factores ambientales, biológicos y el manejo agrícola del suelo (Hursh *et al.*, 2017). Factores como el cambio climático y el manejo agrícola, influyen en este proceso ya que pueden aumentar o disminuir estas tasas de respiración ya que afectan la oxigenación, la biomasa microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Zou *et al.*, 2024).

La respiración del suelo genera el CO<sub>2</sub> como resultado de la actividad microbiana, proceso radicular de las plantas, acción de la fauna edáfica y de procesos no biológicos (Ryan & Law, 2005; Brady & Weil, 2017). Este flujo de CO<sub>2</sub> refleja la actividad biológica del suelo dado por organismos autótrofos y heterótrofos que es posible medirse y modelarse, de tal forma que se interpreta la capacidad para descomponer la materia orgánica través del proceso de la mineralización del nitrógeno, entre otros nutrientes, al interpretarse como un indicador clave de la salud y funcionalidad de los ecosistemas (Ryan & Law, 2005; Campuzano *et al.*, 2021).

Debido a que el suelo alberga una de las mayores reservas de carbono terrestre, las pequeñas variaciones en los flujos de respiración pueden tener efectos significativos a una escala global (Lal, 2004). Dado que la respiración del suelo es un indicador clave de su salud y el funcionamiento de los ecosistemas, es de valiosa utilidad cuantificar las tasas de respiración, ya que varían significativamente entre las diferentes regiones y usos del suelo como consecuencia de múltiples factores tales como diferencias en las condiciones ambientales, la vegetación y las prácticas de manejo (Zhou, *et al.*, 2011).

La tasa de respiración del suelo está influenciada por factores ambientales tales como la temperatura, la humedad, el pH, la textura, la cantidad y calidad de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo, pues la respiración como producto de la

actividad microbiana se ve influenciada por diversos factores bióticos y abióticos, entre los que destacan el uso del suelo y el tipo de vegetación (Campuzano *et al.*, 2021; Campuzano *et al.*, 2025). Sin embargo, existe poca información donde se comparan con análisis exhaustivo los cambios en la respiración del suelo en regiones templadas, tropicales y áridas, incluidos parques urbanos, suelos agrícolas y suelos no cultivados o de agostadero (Lai, *et al.*, 2012; Lal & Stewart, 2017). Particularmente, en ecosistemas áridos y semiáridos, como el desierto Chihuahuense, este proceso adquiere especial relevancia, ya que constituye una fracción dominante de la respiración total del ecosistema, ya que su comportamiento se encuentra vinculado a las condiciones climáticas, como la temperatura del aire, la humedad del suelo y el déficit de presión de vapor (Celaya & Castellanos, 2011; Campuzano *et al.*, 2021).

Los procesos como la respiración y la mineralización de materia orgánica están muy relacionados y dependen de condiciones ambientales similares a las que afectan la actividad de los microorganismos del suelo, por ello la temperatura, la humedad, el pH y la disponibilidad de materia orgánica son cruciales en las tasas de iones inorgánicos liberados incluido el CO<sub>2</sub> (Flores-Márquez *et al.*, 2010; Brady, 2017). La interacción entre la respiración del suelo y la dinámica del nitrógeno refleja la relación entre el ciclo del carbono y el ciclo del nitrógeno, sobre todo en ambientes áridos, donde los pulsos breves de humedad activan rápidamente la actividad microbiana, la descomposición de materia orgánica y la liberación simultánea de CO<sub>2</sub> (Havlin *et al.*, 1999).

Con respecto a la medición de CO<sub>2</sub> en suelos, propuestas iniciales han sido basadas en el método de la conductividad eléctrica y NaOH como técnica precisa y rápida, la cual se aplicó en estudios para evaluar las tasas de respiración microbiana en suelos y descomposición de materia orgánica entre varias comunidades de plantas (Wollum & Gómez, 1970). Además, existen algunas técnicas portátiles y económicas recientes que han sido desarrolladas para el monitoreo del CO<sub>2</sub>, las cuales incluyen cámaras de trampa alcalina con KOH y sensores tanto en condiciones de laboratorio como en campo para su aplicación en sistemas agrícolas y otros ambientes naturales (Batterman, *et al.*, 2022; Irving *et al.*, 2024). También, se han propuesto metodologías basadas en la ecuación general de los gases, presión y temperatura para facilitar la compresión de modelos matemáticos en la cuantificación de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (Montoya *et al.*, 2024; Ryan & Law, 2005).

La emisión de C como CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) que es la magnitud de la respiración del suelo, han sido reportadas para diferentes ecosistemas donde ciertos estudios fueron realizados en suelos áridos y semiáridos, mostrando una amplia variación, en parte por las diferencias en condiciones ambientales, las técnicas de medición y el manejo de los suelos. Las tasas de respiración para algunos ecosistemas como bosque tropical reportan un rango de 4.3 a 9.8 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Sotta *et al.*, 2004; Ohashi *et al.*, 2008), en pastizales de 0.3 a 0.6 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Chamizo *et al.*, 2022; Silletta *et al.*, 2019), en suelo agrícola de 0.3 a 0.5 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Zou *et al.*, 2024; Cui & Tan, 2022) y para suelo con biocostras de 0.2 a 0.6 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Chamizo *et al.*, 2022), donde los factores dominantes en el proceso de respiración edáfica son la temperatura, humedad, raíces, microbiota y nitrógeno.

También, Ayala-Niño *et al.*, (2018) muestran valores muy bajos, mientras que Gutiérrez & Mendoza (2022) reportan tasas de hasta 24.2 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para matorral desértico del desierto Chihuahuense, seguido de Campuzano *et al.*, (2025) con 12.5 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en Coahuila, México. Por su parte (Zhang *et al.*, 2009) encontraron tasas de 1.91 a 14.52 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en Kelayami, China, mientras que Yu (2021) encontraron entre 2.3 y 13.5 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en el mismo país. Estas referencias muestran que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede fluctuar enormemente y sirven de base referencial para los estudios edáficos principalmente en las zonas áridas en México, donde los suelos se caracterizan por tener bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno total, alcalino y con variados niveles de salinidad (Cueva, *et al.*, 2016; Mendoza & Flores, 2022). Estas características fisicoquímicas predominan en los suelos más comunes en el norte del estado de México, que cubren el desierto Chihuahuense, donde sobresalen los grupos: Calcisol, Gypsisol, Arenosol, Solonetz y Regosol, entre otros (WRB, 2015; INEGI, 2017). Con respecto a suelos de parques urbanos, es común el riego con aguas tratadas y se ha encontrado aumento de materia orgánica, N total y P disponible, una mejora

en la actividad de los microorganismos, sin efecto en salinidad y ligero aumento de pH (Chen *et al.*, 2015; García *et al.*, 2020).

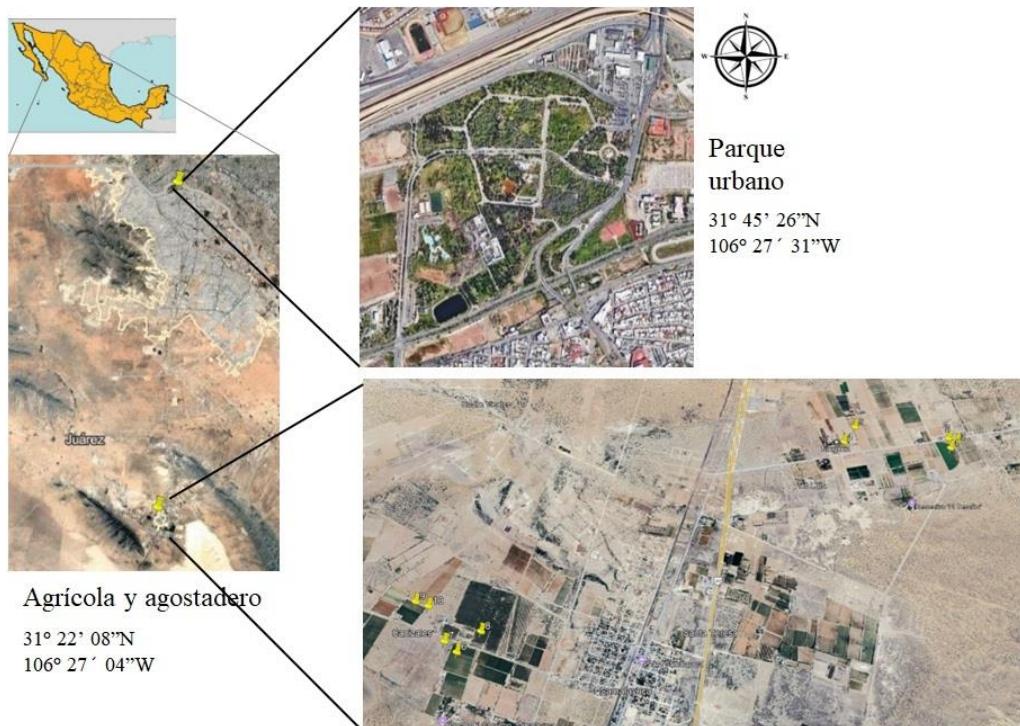
Otras mejoras en la calidad del suelo son el incremento en la estabilidad de micro agregados en la parte superficial debido al aumento de materia orgánica, así como mejoras en las tasas de infiltración y porosidad (Salacain *et al.*, 2019; Kranz *et al.*, 2020). Con respecto a la respiración de suelo cuantificada como la actividad microbiana que emite C del CO<sub>2</sub> se han reportado valores de 0.1 a 38.4 y 1.51 a 4.87 g C/cm<sup>2</sup>/día equivalente a 0.77 y 295 mg C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y 11.6 a 37.5 mg C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para suelos agrícolas y de agostadero, respectivamente (Cuevas *et al.*, 2016), mientras que Li *et al.* (2024) indican entre 1 a 6 µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, es decir, 7.98 a 47.89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. El conocimiento de las emisiones de C-CO<sub>2</sub> a la atmósfera por parte de los suelos en zonas semiáridas se considera fundamental, por ello se llevó a cabo este estudio con el objetivo de evaluar la respiración del suelo en tres ecosistemas de una región semiárida y relacionarla con parámetros físicos y químicos del suelo.

## MÉTODOS

### Sitios de estudio

Los Sitios de estudio en suelo cultivado agrícola y sin cultivar de monte denominado agostadero con vegetación xerofita se ubicaron al sur del municipio de Juárez a 31° 22' 08" de Latitud Norte y 106° 27' 04" Longitud Oeste, así como otra área en 31° 20' 52" de Latitud Norte y 106° 29' 57" de Longitud Oeste, mientras el suelo urbano fue en Ciudad Juárez, Chihuahua en el parque "El Chamizal" que se localiza a 31° 45' 26" de Latitud Norte y 106° 27' 31" de Longitud Oeste, altitud promedio de 1 200 msnm (Figura 1, Google earth®, 2025). Los cinco suelos con cultivo agrícola incluidos en este estudio fueron seleccionados al tener especies cultivadas representativas del área como alfalfa, chile, calabacita, cilantro y nogal, aunque al momento del muestreo (marzo 2025) estaban con rastrojo, es decir no sembrados todavía, excepto el nogal. Las áreas sin cultivar de monte estuvieron adyacentes en 50 m a los suelos de cultivo agrícola, esto con el fin de evaluar y comparar el impacto del manejo del suelo. La vegetación predominante en los Sitios de agostadero (sin cultivo) fueron: gobernadora (*Larrea tridentata*), mezquite (*Prosopis juliflora*) y zacates de zonas áridas. Los grupos de suelo en las áreas agrícolas y sin cultivar fueron *Gypsisol* (INEGI, 2017) mientras que en el Sitio del parque urbano el suelo fue grupo *Calcisol* (FAO, 2016; INEGI, 2017).

El clima en el área de estudio es clasificado como BWx, desértico muy árido con lluvias poco abundantes que pueden presentarse en cualquier época del año (García, 2004). El clima es templado extremoso con invierno, otoño y primavera secos, temperatura media anual de 17 °C, mínima extrema de -23 °C en enero y máxima extrema de 44 °C en julio, precipitación media anual de 217 mm y evaporación de 2 634 mm (INIFAP, 1991).



**Figura 1.** Ubicación de los sitios de muestreo de suelos agrícola, agostadero y urbano en el norte del estado de Chihuahua. [www.Google earth®](http://www.google.com.earth). Elaboro Juan P. Flores M.

<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>

**Figure 1.** Location of sampling sites in agriculture, rangeland and urban soils at north Chihuahua state. [www.Google earth®](http://www.google.com.earth). Prepared by Juan P. Flores M.

<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>

### Muestreo y análisis de suelo

El muestreo del suelo fue mediante el método en zig-zag en cinco *Sitios* (parcelas) con cultivo agrícola y cinco *Sitios* sin cultivo de monte agostadero, el cual consistió en recolectar nueve submuestras a una profundidad de 0 a 15 cm en cada sitio, los cuales variaron en superficie de 1 a 5 ha, debido a la baja heterogeneidad observada en campo en parcelas pequeñas, donde las normas en materia de muestreo de suelo indican que son suficientes ocho submuestras por parcela (SEMARNAT, 2000). El muestreo del suelo en el *Sitio* del parque urbano también fue con el método en zig-zag, por triplicado en cuatro *Sitios*, ubicados como secciones del parque representativos con una superficie promedio de 1 ha cada *Sitio*, así se colectaron nueve submuestras por *Sitio*. Se utilizó una barrena de acero inoxidable donde se colectó un kilogramo de suelo que se colocó en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta, las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ciencias Ambientales de la UACJ, para ser secadas a temperatura ambiente, después se procedió a molienda y tamizado con un molino marca Humboldt® tamizadas en criba de 2 mm y almacenadas para su análisis. El contenido de humedad del suelo se llevó a cabo mediante el método gravimétrico que se basa en diferencias de peso húmedo y peso seco (SEMARNAT, 2000). La densidad aparente fue a través de la colecta de muestras de suelo con un cilindro de aluminio en campo (5 x 8 cm), luego se secó la muestra en estufa y los cálculos fueron al dividir el peso seco entre el volumen del cilindro. La porosidad o espacio poroso ( $\phi$ ) fue estimado con la fórmula:  $\phi = 1 - (\rho_b/\rho_s) * 100$ , donde  $\rho_b$  es la densidad aparente y  $\rho_s$  es la densidad real con valor constante de  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$  (Ortiz, 2010).

El análisis granulométrico o de textura del suelo fue con el método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962; SEMARNAT, 2000). La alcalinidad del suelo fue medida mediante el pH

con el método de la relación suelo:agua, 1:2, y la concentración de sales solubles a través de la conductividad eléctrica con el método de relación suelo:agua 1:5, con un instrumento marca Thermo electron Co. Orion 3 (SEMARNAT, 2000;CP, 2007). El valor de conductividad se multiplicó por cinco para aproximar al valor obtenido con pasta de saturación del suelo, ya que se ahorra tiempo y recursos con el método 1:5. El contenido de materia orgánica del suelo fue analizado mediante el método de Walkley y Black (Aguilar, *et al.*, 1987; Bremner, 1996; Nelson & Sommers, 1996).

El análisis de respiración de suelo fue con el método que determinar el CO<sub>2</sub> emitido por la actividad microbiana en condiciones de laboratorio mediante incubaciones aeróbicas de respirometría con trampa alcalina de cámara sellada y medición de la conductividad eléctrica del KOH 0.5M (Batterman, *et al.*, 2022). La técnica fue propuesta por el Cornell Soil Health Laboratory, basada en la medición de la conductividad eléctrica de las sustancias utilizadas en el sistema como el KOH y K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> producido en la reacción. La emisión de C-CO<sub>2</sub> fue medida al utilizar 20 g de suelo, los cuales fueron humedecidos por capilaridad según su capacidad de retención de agua previamente calculada, así hasta llegar al punto de saturación de cada muestra de suelo. Después, el suelo fue colocado en una charola de aluminio de 4 cm de diámetro perforada, permitiendo el drenaje y la aireación del suelo. Esta charola se introdujo en un frasco de vidrio de 10 cm de altura por 5 cm de diámetro; se colocó un papel filtro en la base, luego encima se colocó la muestra de suelo, y sobre está un trípode de plástico que sostenía un vaso de precipitados con 9 mL de KOH 0.5 M (Figura 2). Las muestras fueron incubadas durante cuatro días, con cuatro períodos como repeticiones, se registró la temperatura durante cada período, al cuarto día de incubación se midió la conductividad eléctrica del K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> liberado en la reacción.



**Figura 2.** Procedimiento de preparación del suelo e incubación mediante trampa alcalina para evaluar la respiración de suelo. Método (Batterman, *et al.*, 2022). Diagrama elaborado por Alejandra Valles

**Figure 2.** Procedure for soil preparation and incubation using an alkaline trap to evaluate soil respiration. Method (Batterman, *et al.*, 2022). Diagram prepared by Alejandra Valles

### Análisis estadístico

Los análisis estadísticos consistieron en revisar la distribución normal de datos (Kolmogorov-Smirnov), obtener los parámetros descriptivos, y regresión correlación lineal y no lineal entre las variables estudiadas, análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar con efecto anidado donde los *Sitios* se analizaron dentro de cada ecosistema (cultivado agrícola, sin cultivar tipo agostadero y parque urbano), y así determinar el efecto principal para cada factor de variación como fueron: el sitio, el ecosistema y el sitio dentro de cada ecosistema para las variables evaluadas en el estudio. También se realizaron las pruebas de comparación múltiple de promedios con la técnica Tukey al 0.05 con el programa SPSS® versión 24.0.

## RESULTADOS

### Propiedades de los suelos

De acuerdo con los contenidos de partículas minerales, la textura de los suelos presentó una variación considerable que pueden ser clasificados desde fracos, franco-arenosos y franco-arcillosos, con un rango mayor en los porcentajes de arena (Tabla 1). La densidad aparente de los suelos estuvo entre 1 y 1.6 g cm<sup>-3</sup> y el espacio poroso entre 42 y 62%, lo cual se asocia con las texturas observadas, ya que ambas propiedades físicas generalmente se encuentran íntimamente ligadas. La alcalinidad medida a través del pH, mostró valores clasificados desde neutros (6.6) a medianamente alcalinos (8.4) con un rango de 1.76, mientras que la concentración de sales solubles medida mediante la conductividad eléctrica presentó una variación considerable con rango de 25.2 dS m<sup>-1</sup>, es decir clasificado como muy ligeramente salino (1.5 dS m<sup>-1</sup>) a muy fuertemente salino (26.7 dS m<sup>-1</sup>). El contenido de materia orgánica fluctuó entre 1.9 y 3.5, considerado de bajo a medio, aunque predominaron niveles bajos. La respiración del suelo (Cuadro 1) medida a través de la emisión de C-CO<sub>2</sub> como producto de la actividad microbiana también mostró una amplitud considerable de 112 (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), lo cual coincide con la heterogeneidad de las variables reportadas para los suelos de los sitios estudiados.

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

**Table 1.** Descriptive statistics for soil physical, chemical and biological properties.

Variable	Mín.	Media	Máx.	E.E.*	Rango
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1.007	1.322	1.558	0.016	0.551
Porosidad (%)	42.20	49.80	62.00	0.69	19.80
Arena (%)	39.48	63.67	93.06	2.66	53.57
Limo (%)	2.00	27.19	50.00	2.18	48.00
Arcilla (%)	2.88	9.13	27.96	0.99	25.08
pH	6.64	7.43	8.40	0.042	1.76
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	1.54	14.61	26.70	0.862	25.16
Materia orgánica (%)	0.78	1.919	3.54	0.149	2.76
Respiración (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	5.512	37.602	117.2	3.15	111.76

\*E.E.= error estándar.

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 2), no se detectó diferencia significativa para las variables de densidad aparente, porosidad, arcilla y pH en los tres factores de variación incluidos que fueron los sitios, ecosistema y sitio dentro de ecosistema ( $p > 0.05$ ). El porcentaje de arena y limo variaron significativamente ( $p < 0.05$ ) entre sitios y ecosistemas, pero no entre sitios dentro de cada ecosistema. La salinidad de los suelos analizada mediante la conductividad eléctrica (CE)

presentó diferencia altamente significativamente ( $p < 0.01$ ) para las fuentes de variación de Sitios dentro de ecosistemas, es decir que la CE del suelo en cada Sitio fue diferente tanto en el ecosistema cultivo como sin cultivar y el urbano. El contenido de materia orgánica fue diferente significativamente entre Sitios dentro de cada ecosistema, mientras que la respiración de suelo medida como flujo de C-CO<sub>2</sub> presentó diferencias significativas entre ecosistemas y sitios dentro de cada una de estos.

**Tabla 2.** Niveles de significancia observado (valor p) en el análisis de varianza para los factores analizados de los parámetros de suelo.

**Table 2.** Observed level of significance (p value) in the analysis of variance for factors analyzed for soil parameters.

Parámetro	Sitio	Factor de variación	
		Ecosistema	Ecosistema (Sitio)
Densidad aparente	0.532 <sup>†</sup>	0.346	0.244
Porosidad	0.533	0.347	0.242
Arena	0.041*	0.048*	0.910
Limo	0.007**	0.081	0.809
Arcilla	0.758	0.441	0.980
pH	0.758	0.441	0.980
C.E.	0.232	0.029*	0.001**
Materia orgánica	0.548	0.480	0.012*
Respiración	0.258	0.020*	0.001**

<sup>†</sup>valor p; \*, \*\*, significativo al 0.05 y 0.01; C.E.= conductividad eléctrica

El análisis de comparación múltiple de promedios permitió detectar efectos significativos para la mayoría de las variables, excepto los casos de densidad aparente y espacio poroso del suelo (Tabla 3). Los porcentajes de arena fueron mayores significativamente ( $p < 0.05$ ) en los ecosistemas agrícola y de agostadero, mientras que en el parque urbano fue inferior en 28.14% comparado con el suelo de agostadero. La alcalinidad de los suelos fue mayor significativamente con 0.64 unidades en el suelo urbano, aunque los tres se ubican entre medianamente alcalino en promedio (SEMARNAT-2000). La concentración de sales solubles en promedio fue fuertemente salina en los ecosistemas agrícola y agostadero, y moderadamente salino en el suelo urbano, de tal manera que el suelo agrícola fue mayor en 5.74 y 16.7 dS m<sup>-1</sup> comparado a los suelos de agostadero y urbano. Los niveles de materia orgánica pueden clasificarse de bajos a medios, y resultó mayor significativamente ( $p < 0.05$ ) en el suelo urbano al superar con 0.42 % al suelo más bajo que fue el de agostadero. Las tasas de respiración del suelo fueron significativamente mayores en el suelo urbano, seguido del agrícola y en menor cantidad el suelo de agostadero.

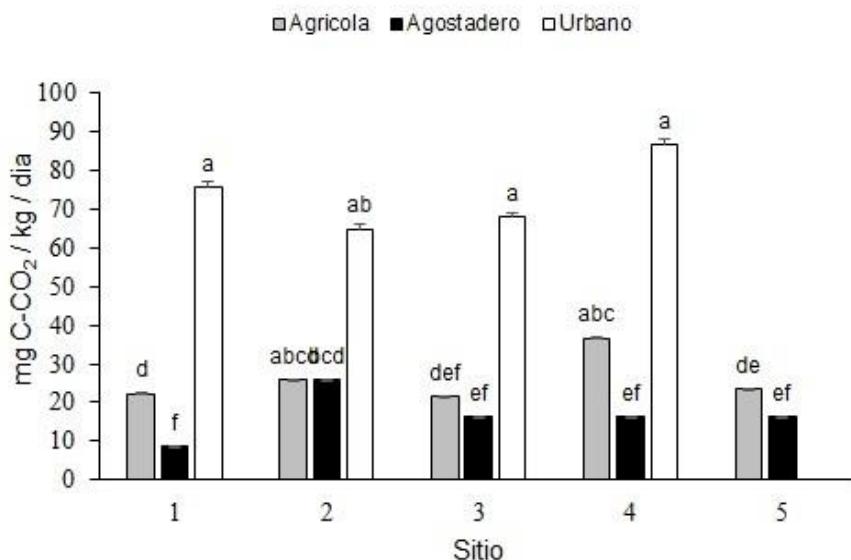
**Tabla 3.** Comparación de promedios entre ecosistemas para los parámetros de suelo.

**Table 3.** Average comparison between ecosystems for soil parameters.

Parámetro	Cultivado Agrícola	Ecosistema		
		Sin cultivar agostadero	Parque Urbano	
Densidad ap. (g cm <sup>-3</sup> )	1.294±0.06 <sup>a†</sup>	1.378±0.05 <sup>a</sup>	1.302±0.03 <sup>a</sup>	
Porosidad (%)	51.18±2.35 <sup>a</sup>	48.02±2.0 <sup>a</sup>	50.85±1.32 <sup>a</sup>	
Arena (%)	74.64±3.79 <sup>a</sup>	82.75±3.27 <sup>a</sup>	54.61±2.13 <sup>b</sup>	
Limo (%)	19.71±4.10 <sup>a</sup>	13.80±3.32 <sup>a</sup>	33.47±2.06 <sup>b</sup>	
Arcilla (%)	5.65±0.84 <sup>b</sup>	3.45±0.14 <sup>ab</sup>	11.91±1.20 <sup>a</sup>	
pH	7.26±0.06 <sup>b</sup>	7.36±0.03 <sup>b</sup>	7.90±0.08 <sup>a</sup>	
C.E. (dS m <sup>-1</sup> )	20.35±0.77 <sup>a</sup>	14.61±1.27 <sup>b</sup>	3.63±0.39 <sup>c</sup>	
Materia orgánica (%)	1.748±0.13 <sup>c</sup>	1.512±0.16 <sup>b</sup>	1.934±0.16 <sup>a</sup>	
Respiración (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	27.07±1.08 <sup>b</sup>	16.11±1.11 <sup>c</sup>	72.75±1.09 <sup>a</sup>	

<sup>†</sup>error estándar; promedios con letras iguales no son diferentes significativamente, Tukey ( $p=0.05$ ).

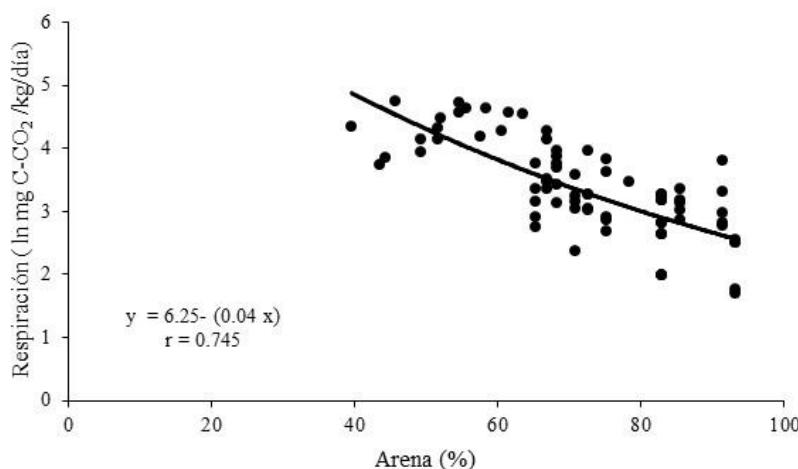
Las diferencias de emisión de C-CO<sub>2</sub> fue de 45.6 y 56.6 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> entre el urbano comparado con el suelo agrícola y de agostadero, que corresponde 63% y 78%, respectivamente, mientras que el agrícola supero en 10.9 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> al suelo del agostadero que corresponde a un incremento de 40%. La emisión de CO<sub>2</sub> como producto de la actividad microbiana en los suelos resulto diferente significativamente ( $p < 0.05$ ) entre los sitios estudiados (Figura 3).



**Figura 3.** Respiración de suelo (C-CO<sub>2</sub>) en cinco sitios muestreados de tres ecosistemas en zonas áridas del norte del Estado de Chihuahua. Barras con letras iguales no son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ).

**Figure 3.** Soil respiration (C-CO<sub>2</sub>) in five sampled sites for three ecosystems in arid zones of north Chihuahua state. Bars with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

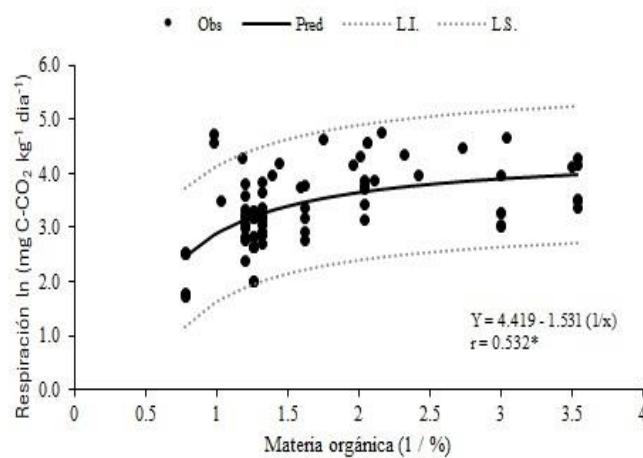
Al encontrar tendencias entre las variables edáficas y las tasas de respiración de suelo (transformadas a  $\ln$ ) se decidió realizar análisis de regresión lineal múltiple (selección de variables hacia adelante) para encontrar una ecuación que explique la respiración en los suelos del presente estudio. El análisis permitió generar solo un modelo significativo ( $p < 0.01$ ), que fue una correlación logarítmica significativa entre la respiración del suelo y el contenido de arena para los tres ecosistemas (Figura 4). La asociación de estas variables indica que por cada 1% de arena, la tasa de respiración disminuye en 0.04  $\ln$  (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) con un coeficiente de correlación de 74.5%. Las otras correlaciones mostraron tendencias lineales de aumento en la respiración al incrementarse el porcentaje de limo, arcilla, pH y materia orgánica tal como coincide con los promedios de la Tabla 3.



**Figura 4.** Correlación entre las tasas de respiración de suelo ( $\ln \text{mg C-CO}_2$ ) y el porcentaje de arena al incluir los tres ecosistemas (agrícola, agostadero y urbano).

**Figure 4.** Correlation between soil respiration rates ( $\ln \text{mg C-CO}_2$ ), and sand percentage by including the three ecosystems (agriculture, rangeland, and urban).

Al observar las tendencias de cada correlación se encontró que, para el contenido de materia orgánica, la función inversa ( $1/x$ ) es la que mejor explica los valores de respiración en  $\ln (\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1})$  tal como se muestra en la Figura 5. Los aumentos estimados de respiración del suelo con el citado modelo son de 2.15, 1.291, 1.136 y 1.08  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para 1, 2, 3 ,4 y 5 % de contenido de materia orgánica del suelo, respectivamente, es decir, aunque la pendiente aumenta, la tendencia es cada vez menos pronunciada de las emisiones de C-CO<sub>2</sub> para los tres ecosistemas estudiados. Las bandas de los intervalos de confianza en la Figura 5 indican que la tasa de respiración mínima (L.I.) estimada a un 95% de confianza es de 1.17 a 2.72 que equivalen a 3.22 y 15.25  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , mientras que el intervalo superior (L.S.) muestra tasas de 3.74 a 5.24, es decir, 42.16 a 190.27  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$  con la función inversa ( $1/x$ ).



**Figura 5.** Correlación entre las tasas de respiración de suelo ( $\ln \text{mg C-CO}_2$ ) y el porcentaje de materia orgánica para los tres ecosistemas. Obs=datos observados, Pred=datos pronosticados, L.S.=límite superior del intervalo de confianza, y L.I.=límite inferior del intervalo de confianza.

**Figure 5.** Correlation between soil respiration rates ( $\ln \text{mg C-CO}_2$ ), and organic matter percentage for the three ecosystems. Obs=observed data, Pred=predicted data, L.S.=upper limit of confidence interval, L.I.=lower limit of confidence interval.

## DISCUSIÓN

Las propiedades físicas del suelo como la textura, densidad aparente y la porosidad se encuentran muy relacionadas, ya que en suelos de texturas pesadas como los arenosos la retención de humedad es muy baja, la cantidad de espacio poroso es menor y la densidad aparente es mayor, por el contrario en suelos donde predominan las partículas más pequeñas como el limo y arcilla existe mayor retención de agua y las densidades son menores en rangos de 1 a 1.3 g cm<sup>-3</sup> (SEMARNAT, 2000; Ortiz, 2010; Brady, 2017). En el presente estudio al encontrar alta variabilidad de estos parámetros físicos principalmente arena y limo que variaron significativamente, lo cual es evidente y en gran parte son explicados por la naturaleza de los suelos, ya que en los ecosistemas cultivado agrícola y sin cultivar de agostadero del grupo de suelo Gypsisol, suelos franco-arenosos con alto contenido de sulfato de calcio, que se localizan adyacentes a los del grupo Arenosol por los extensos médanos arenosos de Samalayuca. La clasificación de los suelos en las áreas cultivadas agrícolas y sin cultivar de agostadero corresponden al grupo *Gypsisol* que se caracterizan por la acumulación significativa de yeso (sulfato de calcio), ya que debido a alta evaporación ocurre la precipitación del yeso a partir de aguas subterráneas o superficiales (INEGI, 2017). El suelo del parque urbano corresponde al grupo *Calcisoles* (del latín *calx*, cal), tienen acumulación significativa de material calcáreo (carbonato cálcico), ricos en bases, están muy extendidos en ambientes semiáridos (FAO, 2016; INEGI, 2017). Este suelo ubicado junto al Río Bravo frontera con los Estados Unidos se formó por depósitos aluviales y eólicos de material meteorizado, con un horizonte subsuperficial Cámbico o Árgico, por sus cambios en contenidos de arcilla. A nivel clasificación de *Serie*, este suelo del parque urbano se clasificó como *Serie Juárez* y representa el parque principal de ciudad Juárez de 107 ha (CIEPS, 1970). Por otra parte, el suelo del parque urbano de grupo Calcisol predominaron las texturas franco, aunque con variabilidad por su formación aluvial del Río Bravo (CIEPS, 1970; INEGI, 2017), ya que al estar ubicado en la zona fronteriza México-USA, este suelo Calcisol de la Serie Juárez coincide con el tipo Harkey-Glendale reportado por el Soil Survey de El Paso County (USDA, 1971) clasificado como suelo calcáreo con perfil superficial estratificado con texturas franco-limoso a franco-arenoso con arenas finas en las primeras 12 pulgadas de profundidad y en lo general predomina la textura franca. También lo describen con suelos de alta fertilidad, capacidad de humedad disponible y permeabilidad moderada.

Con respecto a las propiedades químicas del suelo, el pH fue de neutro a medianamente alcalino (6.6 a 8.4) con variabilidad no significativa encontrado en los tres ecosistemas, aunque ligeramente mayor en el suelo del parque urbano. Estos niveles de alcalinidad indican que disminuye la disponibilidad de ciertos nutrientes como Mn, Fe, B, Cu y Zn, mientras que P se afecta solo en el rango de 8.0 a 8.5 (Havlin, *et al.*, 1999; Castellanos, *et al.*, 2000). Tanto la variabilidad significativa como la mayor concentración de sales solubles encontrada en los suelos de uso agrícola y agostadero es explicada tanto por los factores de formación como por el riego con agua de pozos salinos que predominan en el norte del estado de Chihuahua, ya que por ejemplo valores encontrados en estudio equivalen entre 1 000 y 17 000 mg kg<sup>-1</sup> de sales solubles en los suelos, por ello predominan las plantas halófitas y cultivos agrícolas con tolerancia a sales como algodón y sorgo, entre otros (Castellanos, *et al.*, 2000). El contenido de materia orgánica en los suelos es de importancia, ya que se asocia con la liberación de N y P, entre otros nutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn por la acción quelatante, también es fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que participan en la fisicoquímica del suelo y la fisiología de las plantas (Brady & Weil, 2017). En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas y predominaron niveles bajos de materia orgánica, lo cual es reportado para los grupos de suelo en zonas semiáridas, lo que se asocia a bajas tasas de mineralización de N (Flores-Márquez *et al.*, 2010). El suelo urbano presentó la mayor cantidad de materia orgánica significativamente, lo cual es explicado por la aportación de materia orgánica en parques y jardines, así como por los materiales sólidos y líquidos que dispersan las personas durante las actividades recreativas.

Las tasas de respiración microbiana mostraron una diferencia significativa entre ecosistemas y muestras dentro de los ecosistemas ( $p < 0.05$ ), donde el suelo del parque urbano presentó la mayor respiración al superar en 62% al suelo cultivado agrícola y 78% al sin cultivar de agostadero. Al

comparar los valores de emisión de C-CO<sub>2</sub> del presente estudio con las referencias se puede apreciar que, para el rango observado en los tres ecosistemas, 16 a 72 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, estas tasas de respiración están cercanas a lo reportado por (Gutiérrez *et al.*, 2022) con 24.2 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, pero más altos que lo indicado por (Campuzano *et al.*, 2025) con 12.5 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Mientras que lo encontrado en el presente estudio para suelo de parque urbano supera el doble la tasa de respiración que, en suelo cultivado agrícola, lo cual puede explicarse tanto por las propiedades de los suelos incluidos los niveles de materia orgánica y partículas minerales, manejo, entre otros (Lai *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2024), así como cuando se aplican materiales orgánicos como estiércol, compostas, o bien reciben actividades de labranza (Ortiz, 2010; Salgado & Núñez, 2010 ;Brady & Weil, 2017 ).

El parque urbano con grupo de suelo Calcisol, mientras que en agrícola y agostadero fue grupo Gypsisol con altos niveles de salinidad. Esto apoya en que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede variar considerablemente debido a las condiciones ambientales, el grupo de suelo y manejo de estos, por ello la importancia de su cuantificación y relación con variables edáficas. Un estudio más reciente del área fronteriza México-USA que cubre el parque urbano incluido en este estudio, pero en la otra sección que pertenece al lado americano (Ganjegunte *et al.*, 2017) en salinidad encontraron valores de 1 a 43 dS m<sup>-1</sup>, atribuido al riego con agua salina, mientras que en el presente estudio fue menor que es explicado por el riego con agua residual tratada baja en sales solubles (García *et al.*, 2020), lo cual no afecta el crecimiento del pasto *Cynodon dactylon L.* que prevalece en el área. Por ejemplo, la incorporación de compostas en el suelo puede alterar de manera significativa algunas propiedades físicas y químicas como las nutrimentales (Kranz *et al.*, 2020). Estos resultados coinciden con estudios del ciclo del N en suelos de parques urbanos (Zalacáin *et al.*, 2019; Lal, 2017), donde los niveles altos de materia orgánica, nitratos extractables, tasas de desnitrificación, entre otros, han sido afectados por las aplicaciones de fertilizantes, riegos y escorrentía por las lluvias. También el rango observado de tasas de emisión de C-CO<sub>2</sub> en el presente estudio coincide con la respiración del suelo cuantificada como C del CO<sub>2</sub> reportado en valores de 0.1 a 38.4 y 1.51 a 4.87 g C cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> equivalente aproximadamente a 0.77 y 295 mg C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y 11.6 a 37.5 mg C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para suelos agrícolas y de agostadero, respectivamente (Cueva *et al.*, 2016) mientras que Li *et al.*, (2024) indican entre 1 a 6 µmol C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, es decir, 7.98 a 47.89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Dado que la densidad aparente está estrechamente relacionada con la textura de los suelos (Brady & Weil, 2017), en este estudio se aprecia que al aumentar la densidad ocurre una reducción en la respiración del suelo. Generalmente, al aumentar el contenido de arena se presenta un aumento en la densidad aparente, lo cual es de importancia en suelos de zonas áridas donde pueden presentarse estas clases texturales pesadas (Castellanos *et al.*, 2000).

Las tasas de respiración del suelo reportadas en múltiples estudios que fueron realizados en suelos áridos y semiáridos, donde ha existido una amplia variabilidad y refleja las diferencias en condiciones ambientales, técnicas de medición y manejo del suelo (Gutiérrez *et al.*, 2022). La comparación de estas tasas muestra que a pesar de que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede variar ampliamente. Las correlaciones entre parámetros fisicoquímicos de suelo y las tasas de respiración de suelo permiten apreciar como la actividad microbiana es función de las condiciones ambientales. Por ejemplo, la correlación negativa y significativa observada entre el porcentaje de arena y la emisión de C-CO<sub>2</sub>, es explicada por la baja retención de humedad y menor espacio poroso, lo cual reduce la actividad de los microorganismos (Brady & Weil, 2017). Por el contrario, los aumentos de tasas de respiración fueron cuando el porcentaje de limo y arcilla, así como el pH aumentaron, aunque no significativamente. Además de las diferencias en tasas de respiración entre los suelos de los ecosistemas estudiados, una correlación de suma importancia generada fue entre el contenido de materia orgánica y la tasa de respiración, donde se establecen aumentos significativos conforme aumenta de 1 a 5% el contenido orgánico en los suelos con una función inversa, ya que la tasa de respiración se incrementa no lineal, y a la vez va disminuyendo gradualmente conforme el contenido de materia orgánica aumenta. Esta información contribuye al conocimiento de los efectos de parámetros del suelo con la actividad microbiana reflejada por la tasa de respiración para ecosistemas de zonas áridas del norte de México y en general al impacto del cambio climático global.

## CONCLUSIONES

Las tasas de respiración del suelo resultaron diferentes significativamente entre los ecosistemas evaluados, de tal forma que las cantidades menores de emisión de C-CO<sub>2</sub> en el suelo sin cultivar dedicado al agostadero, se relacionó principalmente con menor contenido de materia orgánica y textura arenosa, seguido en magnitud de respiración por el suelo de cultivo agrícola que se encuentran ubicados en el mismo grupo de suelo (Gypsisol) pero con mayor salinidad, mientras que el suelo de parque urbano (Calcisol) con menor salinidad y mayor cantidad de materia orgánica duplico la tasa de respiración de los suelos anteriores. Correlaciones significativas se encontraron entre el contenido de materia orgánica y arena con la tasa de respiración, donde se observaron aumentos significativos al aumentar el contenido orgánico en los suelos mediante función inversa, ya que la tasa de respiración se incrementa con esa tendencia y la pendiente disminuye gradualmente. Estos cambios en la respiración del suelo para los ecosistemas estudiados son importantes por sus implicaciones de los flujos de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, A., Etchevers, J.D., Castellanos, J.Z. (1987). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo* (A. C., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Bailey, V., Pries, C., & Lajtha, K. (2019). What do we know about soil carbon destabilization? *Environmental Research Letters*, 14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2c11>.
- Basile-Doelsch, I., Balesdent, J., & Pellerin, S. (2020). Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil. *Biogeosciences*. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-49>.
- Batterman, Z., K. Kurtz, D. J. Moebius-Clune, B. S. (2022). *Respiration*. <https://Soilhealthlab.Cals.Cornell.Edu/>.  
<https://doi.org/https://soilhealthlab.cals.cornell.edu>
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 646–665.
- Brady, N. C. & R. R. Weil. (2017). *The nature and properties of soils* (Brady & Weil, Ed.; 15th ed., Vol. 1). Prentice Hall.
- Bremner, J. M. (1996). *Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods*. (D. L. Sparks, Ed.; 1st ed., Vol. 3). Soil Science Society of America.
- Campuzano, E. F., Delgado-Balbuena, J., & Flores-Rentería, D. (2021). Controlling factors of the ecosystem and soil respiration in a xeric shrubland in the Chihuahuan Desert, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 39 (December), 1–14. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.1251>
- Campuzano, E. F., Guillen-Cruz, G., Juárez-Altamirano, R., & Flores-Rentería, D. (2025). Seasonal and Land Use Effects on Soil Respiration and Its Controlling Factors in Arid Lands from Northeastern Mexico. *Soil Systems*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/soilsystems9010012>
- Carlos A. Ortiz Solorio. (2010). *Edafología* (Universidad Autónoma Chapingo, Ed.; 8th ed., Vol. 1). Universidad Autónoma Chapingo.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., Aguilar-Santelises, A (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas* (2nd ed., Vol. 1). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Celaya, H., & Castellanos, A. (2011). Nitrogen Mineralization on Arid and Semi-Arid Land Soil. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343–356. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792011000300343](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300343)

- Chen, W., Lu S., Pan N. Wang Y. and Wu L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere*; 119:654-661. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035>
- CIEPS. (1970). *Estudio de Factibilidad para la rehabilitación del Distrito de Riego (Valle de Juárez, Chihuahua)*. CIEPS. <https://doi.org/https://sigagis.conagua.gob.mx/listado21/listadoAS.pdf>.
- CP. (2007). *Manual de procedimientos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos*.
- Cueva, R. A., A., C.A., Robles, Z., J., Garatuza, P., E.A., Yépez (2016). *Soil respiration in Mexico: Advances and future directions*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000300253](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300253).
- Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Sánchez-Cañete, E., Domingo, F., & Cantón, Y. (2022). Temporal dynamics of dryland soil CO<sub>2</sub> efflux using high-frequency measurements: Patterns and dominant drivers among biocrust types, vegetation and bare soil. *Geoderma*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115404>.
- Cui, J., & Tan, F. (2022). PLSR-Based Assessment of Soil Respiration Rate Changes under Aerated Irrigation in Relation to Soil Environmental Factors. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010068>.
- Ferdush, J., & Paul, V. (2021). A review on the possible factors influencing soil inorganic carbon under elevated CO<sub>2</sub>. *Catena*, 204, 105434. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105434>
- Flores-Márquez, J. P., Poncio-acosta, M. Z., Salas-galván, E., Pérez-casio, F., Corral-avitia, A. Y., Salazar-sosa, E., & Idilio, H. (2010). Mineralización De Nitrógeno En Biosólidos. *Terra Latinoamericana*, 307–317.
- Ganjegunte, G. K., Clarc.k, R. Sallenave, E. Sevostianova, M. Serena, G. Álvarez, B. Leinauer (2017). Soil salinity of an urban park after long-term irrigation with saline ground water. *Agronomy Journal*, 109(6), 311–318.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México: Instituto de Geografía, UNAM. 5a. edición, 97 p. <https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>.
- García-Carrillo, M., Luna-Ortega, J. G., Gallegos-Robles, M. A., Preciado-Rangel, P., Cervantes-Vázquez, M. G., & González-Salas, U. (2020). Impact of wastewater on soil properties and accumulation of heavy metals. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 907–916. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556>
- Gutiérrez-Gutiérrez, M., & Mendoza-Aguilar, D. O. (2022). Influencia de las biocostras en el flujo de CO<sub>2</sub> en el matorral desértico micrófilo del altiplano mexicano Influence of biocrusts on the CO<sub>2</sub> flux in the microphyllous desert shrubland of the Mexican plateau. *Terra Latinoamericana*, 1–11.
- Havlin, J. L., J.D., Beaton, S, L, Tisdale, W, L, Nelson (1999). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management* (North Carolina State University, Ed.; 6th ed., Vol. 1). Prentice Hall.
- INEGI. (2017). *Superficie por tipo de uso de suelo en México*. Mapas INEGI. <https://doi.org/https://www.inegi.org.mx/temas/suelo>.
- INIFAP. (1991). Logros y avances de la investigación agropecuaria en el Campo Experimental Valle de Juárez (CEVAJ). Publicación especial No. 9, 47 p. <https://www.gob.mx/inifap>.
- Irving, D., Bakhshandeh, S., Tran, T. K. A., & McBratney, A. B. (2024). A cost-effective method for quantifying soil respiration. *Soil Security*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100162>
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5, 212-222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>.
- Kranz, C. N., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G., & Heitman, J. L. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review.

- In *Journal of Environmental Management* (Vol. 261). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>
- Georgiou, K., Jackson, R., Vindušková, O., Abramoff, R., Ahlström, A., Feng, W., Harden, J., Pellegrini, A., Polley, H., Soong, J., Riley, W., & Torn, M. (2022). Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nature Communications*, 13. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9>.
- Lai, L., Xuechun Zhao, Lianhe Jiang, Yongji Wang, Liangguo Luo, Yuanrun Zheng, Xi Chen, Glyn M. Rimmington (2012). Soil Respiration in Different Agricultural and Natural Ecosystems in an Arid Region. *PLOS One*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048011>
- Luo, Z., Feng, W., Luo, Y., Baldock, J., & Wang, E. (2017). Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. *Global Change Biology*, 23, 4430 - 4439. <https://doi.org/10.1111/gcb.13767>
- Gross, C., & Harrison, R. (2019). The Case for Digging Deeper: Soil Organic Carbon Storage, Dynamics, and Controls in Our Changing World. *Soil Systems*. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3020028>
- Huang, Y., Song, X., Wang, Y., Canadell, J., Luo, Y., Ciais, P., Chen, A., Hong, S., Wang, Y., Tao, F., Li, W., Xu, Y., Mirzaeitalarposhti, R., Elbasiouny, H., Savin, I., Shelepanchenko, D., Rossel, R., Goll, D., Chang, J., Houlton, B., Wu, H., Yang, F., Feng, X., Chen, Y., Liu, Y., Niu, S., & Zhang, G. (2024). Size, distribution, and vulnerability of the global soil inorganic carbon. *Science*, 384, 233 - 239. <https://doi.org/10.1126/science.adj7918>.
- Hursh, A., Ballantyne, A., Cooper, L., Maneta, M., Kimball, J., & Watts, J. (2017). The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. *Global Change Biology*, 23. <https://doi.org/10.1111/gcb.13489>.
- Lal, R. (2004). Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 33(4), 528–544. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9110-9>
- Lal, R., B. A. S. (2017). *Urban Soils* (CRC Press, Ed.; 1st ed., Vol. 1). CRC Press. <https://doi.org/https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781315154251/urban-soils-rattan-lal-stewart>.
- Lehmann, J., Hansel, C., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J., Torn, M., Wieder, W., & Kögel-Knabner, I. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*, 13, 529 - 534. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0612-3>
- Li, Y., K. Zhang, Y. Li, P. Wan (2024). Temperature sensitivity of soil respiration to elevated temperature and nitrogen availability. *Soil & Tillage Research*, 244, 1–10.
- Mann, T. A., Yanai, R. D., Fahey, T. J., & Reinmann, A. B. (2024). Nitrogen and Phosphorus Addition Affect Soil Respiration in Northern Hardwood Forests. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-024-0091>
- Mendoza, C. G. & J. P. Flores Margez (2022). Efecto de agricultura en contenido de materia orgánica en suelos en el norte de Chihuahua. In: F. Ayala N., F. López V., G. Medina P., N.A. Sígala A., F. Fernández L. (Ed.), *Innovación y suelos sanos para el desarrollo sustentable* (pp. 453–458). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Montoya, J. V.M., V.M. Ordaz CH., G.S. Benedicto V., A. Ruiz B. & J.M. Arreola T. (2024). Análisis metodológico de la respiración del suelo: un planteamiento para su interpretación. *Terra Latinoamericana*, 42(1), 1-6. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i1.1822>
- Morrissey, E., Kane, J., Tripathi, B., Rion, M., Hungate, B., Franklin, R., Walter, C., Sulman, B., & Brzostek, E. (2023). Carbon acquisition ecological strategies to connect soil microbial biodiversity and carbon cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108893>.
- Nelson, D. W., & L. E., S. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In J. M. Bartels (Ed.), *Methods of soil analysis, Chemical methods. Part 3* (3rd ed., Vol. 1, pp. 961–1010). Soil Science Society of America. Madison.

**Recibido:**  
29/julio/2025

**Aceptado:**  
8/diciembre/2025

- Niño, F. A., Delgado, Y. M., & Diéguez, E. T. (2018). Carbon storage and flux in arid soils as an environmental service: An example in northwestern Mexico. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 93–104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>.
- Ohashi, M., Kumagai, T., Kume, T., Gyokusen, K., Saitoh, T., & Suzuki, M. (2008). Characteristics of soil CO<sub>2</sub> efflux variability in an aseasonal tropical rainforest in Borneo Island. *Biogeochemistry*, 90, 275–289. <https://doi.org/10.1007/s10533-008-9253-0>.
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. In *Biogeochemistry* (Vol. 73, Issue 1, pp. 3–27). <https://doi.org/10.1007/s10533-004-5167-7>
- Salgado, G.S., & R. Núñez, E. (2010). *Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos* (B. B. de Agricultura, Ed.; 1st ed.). Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT. (2000). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Norma Oficial Mexicana. Establece Las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos; Estudios, Muestreo y Análisis.
- Sillett, L., Cavallaro, A., Kowal, R., Pereyra, D., Silva, R., Arias, N., Goldstein, G., Scholz, F., & Bucci, S. (2019). Temporal and spatial variability in soil CO<sub>2</sub> efflux in the patagonian steppe. *Plant and Soil*, 444, 165 - 176. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04268-7>.
- Sotta, E., Meir, P., Malhi, Y., Nobre, A., Hodnett, M., & Grace, J. (2004). Soil CO<sub>2</sub> efflux in a tropical forest in the central Amazon. *Global Change Biology*, 10. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00761.x>.
- USDA. (1971). *Soil Survey, El Paso County, Texas* (S. C. Service, Ed.; 1st ed.). United States Department of Agriculture. <https://doi.org/https://ttu-ir.tdl.org/items/2a9a546e-102c-4f52-8e1e-694b2fb31c1b>
- Wollum, A.G., y J. E. Gómez. (1970). A conductivity method for measuring microbially evolved carbon dioxide. *Ecology* 51(1): 155-156. <https://www.jstor.org/stable/1933610>.
- Witzgall, K., Vidal, A., Schubert, D., Höschken, C., Schweizer, S., Buegger, F., Pouteau, V., Chenu, C., & Mueller, C. (2021). Particulate organic matter as a functional soil component for persistent soil organic carbon. *Nature Communications*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24192-8>
- WRB. (2016). *Base referencial mundial del recurso suelo* (FAO, Ed.; 1st ed., Vol. 1). FAO.
- Wu, H., Cui, H., Fu, C., Li, R., Qi, F., Liu, Z., Yang, G., Xiao, K., & Qiao, M. (2023). Unveiling the crucial role of soil microorganisms in carbon cycling: A review. *The Science of the total environment*, 168627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168627>
- Wang, Q., Zhang, Q., Han, Y., Zhang, D., Zhang, C., & Hu, C. (2022). Carbon cycle in the microbial ecosystems of biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108729>
- Yu, H., Liu, X., Ma, Q., Yin, Z., Wang, Y., Xu, Z., & Zhou, G. (2021). Climatic warming enhances soil respiration resilience in an arid ecosystem. *Science of the Total Environment*, 756, 1–10.
- Zalacáin, D., Bienes, R., Sastre-Merlín, A., Martínez-Pérez, S., & García-Díaz, A. (2019). Influence of reclaimed water irrigation in soil physical properties of urban parks: A case study in Madrid (Spain). *Catena*, 180(May 2018), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.05.012>
- Zhang, L., Chen, Y., Li, W., & Zhao, R. (2009). Abiotic regulators of soil respiration in desert ecosystems. *Environmental Geology*, 57(8), 1855–1864. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1474-y>
- Zhou, Hong-hua, Li Weihong, Yang Yuhui,Cao Zhichao, Li Zhi (2011). Soil respiration variant and its effecting factors at different land use in arid land. *Geographical Science*, 31(2), 190–196.
- Zou, Y., Shan, Y., Yue, Z., Gioacchini, P., Montecchio, D., Gaggia, F., Alberoni, D., Baffoni, L., Zhang, Q., Xiong, P., Marzadori, C., & Di Gioia, D. (2024). Factors Driving Soil Respiration Rate After Different Fertilizer Sources Addition. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112468>.