

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 García 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
 Monthly 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
 - 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 Tomás 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 Tomás CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

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

Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

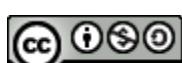
SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR

RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY

Yax-Lopez, P., K.M. Noriega Elías, J.R. Sosof Vásquez

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



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

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

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 427-442. Enero 2026

DOI:
10.18387/polibotanica.61.24

Pablo Yax-Lopez / pyax@icc.org.gt 
<https://orcid.org/0000-0001-7719-1667>

Kevin Manolo Noriega Elías / knoriega@icc.org.gt
Jorge Rubén Sosof Vásquez

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
Edificio 2 CENGICAÑA, km 92.5 carretera a Mazatenango, Santa Lucía
Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. C.P. 05002 Guatemala

RESUMEN: La inseguridad alimentaria y nutricional de poblaciones humanas en regiones vulnerables como Guatemala, se ve afectada por diferentes factores como la pobreza estructural, malnutrición, acceso limitado a servicios de salud y alimentos, siendo agravada por fenómenos climáticos extremos y el limitado acceso a tierra para la producción de alimentos. En este estudio se evaluó el potencial productivo de sistemas verticales rústicos de producción de alimentos como una tecnología accesible para la producción de hortalizas en condiciones de espacio físico limitado, empleando recursos locales. Se probaron dos prototipos o diseños estructurales (Diseño 1: cajas de madera; diseño 2: con torres de PVC) y tres sustratos locales (gallinaza, lombricomposta y broza) en un diseño factorial para las tres especies comestibles: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L. y *Brassica campestris* L.

Los resultados evidenciaron que el diseño estructural de producción y los sustratos influyeron en el rendimiento, observándose una interacción significativa ($p = < 0.05$) en la producción de *B. vulgaris*. El mayor rendimiento para esta especie fue de 329.6 kilogramos (kg) por metro cúbico (m^3) de sustrato, empleando el diseño D2 en combinación con gallinaza. Para *S. oleracea* y *B. Campestris*, la mayor producción se obtuvo con los sustratos de lombricomposta y gallinaza (193.4 kg/m³ y 143.8 kg/m³, respectivamente), independientemente del diseño estructural de producción, lo que destaca la relevancia del sustrato.

Se concluye que los sistemas verticales de producción de alimentos evaluados, construidos con materiales locales representan un alternativa viable y escalable para la producción de alimentos nutritivos en traspasos de hogares rurales y urbanos, que representa una oportunidad para diversificar la canasta básica alimentaria. Si bien, no sustituyen a la agricultura convencional, su implementación puede fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional a nivel familiar, al proporcionar acceso a alimentos frescos en contextos de recursos limitados.

Palabras clave: Sistemas-agroalimentarios, innovación, producción-urbana, adaptación, desarrollo sostenible

ABSTRACT: Food and nutritional insecurity in vulnerable populations like Guatemala is affected by various factors, including structural poverty, malnutrition, and limited access to health services and food. This is exacerbated by extreme weather events and limited access to land for food production. This study evaluated the productive potential of rustic vertical food production systems as an accessible technology for vegetable production in space-constrained garden environments, utilizing local resources. Two structural prototypes or designs (Design 1: wooden boxes; Design 2: PVC towers) and three local substrates (chicken manure, vermicompost, and brushwood/mulch) were

tested in a factorial design for three edible species: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L., and *Brassica campestris* L.

The results showed that the structural design of the vertical production system and the substrates influenced yield, with a significant interaction ($p < 0.05$) observed in the production of *B. vulgaris*. The highest yield for this species was 329.6 kilograms (kg) per cubic meter (m^3) of substrate, using design D2 in combination with chicken manure. For *S. oleracea* and *B. campestris*, the highest production was obtained with vermicompost and chicken manure substrates (193.4 kg/ m^3 and 143.8 kg/ m^3 , respectively), regardless of the structural design, highlighting the importance of the substrate.

It is concluded that the evaluated vertical food production systems, built with local materials, represent a viable and scalable alternative to produce nutritious food in the backyards of rural and urban households, offering an opportunity to diversify the basic food basket. While they do not replace conventional agriculture, their implementation can strengthen food and nutritional security at the family level by providing access to fresh food in contexts of limited resources.

Kew words: agrifood systems, innovation, urban production, adaptation, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

La inseguridad alimentaria es un desafío multifacético que afecta a millones de personas en muchos países y representa una de las preocupaciones del siglo XXI (Dawood & van Vuuren, 2023), particularmente aguda en regiones con alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, como es el caso de Guatemala. En este contexto, la convergencia de factores como el crecimiento poblacional, la urbanización sin planificación la migración rural-urbana, el limitado acceso a tierras productivas o habitacionales y la alta exposición a fenómenos climáticos o geofísicos extremos, crean un contexto donde las familias, especialmente las de escasos recursos que pertenecen a grupos étnicos mayas, enfrentan grandes obstáculos para acceder a alimentos frescos y nutritivos (Canales, 2019); (Morales Gamboa, 2020); (Lal, 2020); (FAO, 2004); (FAO, 2023); (Bello *et al.*, 2021); (Sistema Guatemalteco de ciencias del Cambio Climático [SGCCC], 2019). Sumado a lo anterior, el retraso en el crecimiento, conocido como desnutrición crónica, es un importante problema para la salud de los niños mayas, derivado de una compleja interacción entre la malnutrición, acceso limitado a atención médica, la pobreza y la inseguridad alimentaria (Monroy-Valle *et al.*, 2025); (Lane *et al.*, 2024) Además, en Guatemala la actividad agrícola es uno de los medios de vida de mayor importancia, pero, es de los más sensibles y vulnerables ante fenómenos climáticos por su dependencia de las lluvias (SGCCC, 2019), esta dependencia puede agravar la inseguridad alimentaria y nutricional (Garrido Solano *et al.*, 2019); (FAO, 2022). El cambio climático trae consigo una diversidad de retos especialmente en el sector agroalimentario, (Acción contra el hambre, 2023) afirma que “Un clima más cálido y menos predecible significa menos alimentos en la mesa para hasta 80 millones de personas más de aquí a 2050 especialmente en lugares donde los conflictos, la inestabilidad económica y los fenómenos meteorológicos extremos recurrentes dificultan la capacidad de adaptación”

Frente a esta problemática, la agricultura en espacios reducidos emerge como una estrategia de resiliencia. En el altiplano occidental de Guatemala, por ejemplo, se estima que sólo el 17.7% de las familias cuenta con un área potencial para huertos de traspatio y la mayoría de estos tiene un espacio entre 5 a 14 metros cuadrados (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC], 2021). Esto resalta la necesidad de desarrollar sistemas de producción que no solo optimicen el uso del espacio, sino que sean tecnológicamente y económicamente viables, y que puedan emplear recursos locales.

Los sistemas verticales de producción de alimentos se presentan como una alternativa innovadora para aportar en la seguridad alimentaria de familias. Su potencial de eficiencia no se limita solo a la productividad por unidad de área, sino que se extiende al uso de recursos locales y de bajo costo, clave para su adopción y escalabilidad en contextos de subsistencia. Sin embargo, la

viabilidad de esta tecnología depende de su diseño estructural y de los insumos para su construcción para que estén al alcance de las poblaciones o familias vulnerables.

Para afrontar la inseguridad alimentaria existe una variedad de tecnologías agrícolas que pueden fortalecer los medios de producción, sin embargo, la asequibilidad es limitada. Principalmente para las familias con bajos ingresos económicos.

Para responder a algunos desafíos mencionados se optó por estudiar los sistemas verticales rústicos de producción de alimentos y la respuesta productiva de las siguientes especies comestibles: acelga *Beta vulgaris* var. Cicla; espinaca *Spinacia oleracea* y flor amarilla *Brassica campestris* L. Para ello se establecieron de manera paralela los tres ensayos, cada una se enmarcó bajo el diseño experimental bloques completamente al azar bifactorial con arreglo combinatorio y con tres repeticiones.

Este estudio analizó esta tecnología vertical de producción de alimentos, que no pretende competir con los rendimientos de la agricultura convencional (suelo), sino evaluar la funcionalidad productiva con base a prototipos rústicos de sistemas verticales, construidos con materiales locales y reutilizables (madera y tubería de PVC), y empleando sustratos de origen local (gallinaza, lombricomposta y broza). El objetivo fue determinar el potencial productivo de estos sistemas verticales de producción de alimentos, como una tecnología potencialmente apropiada y escalable para la producción de hortalizas (primordialmente las hojas o follaje) en condiciones de traspatio con espacio limitado. De este modo, el estudio busca contribuir a la seguridad alimentaria desde una perspectiva de accesibilidad y adaptación local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y temporalidad

La investigación se estableció a cielo abierto bajo condiciones climáticas de Santa Lucía Utatlán, departamento (provincia) de Sololá, Guatemala (14.815745 latitud norte y -91.269628 longitud oeste), desde el 20 de abril hasta el 19 de agosto de 2022. Con una duración de 121 (4 meses) días desde su establecimiento hasta la culminación (última cosecha). Durante la investigación se tuvo una precipitación acumulada de 725.1 mm; se registró una temperatura máxima de 19.76 °C y una mínima de 10.0 °C. La temperatura promedio fue 14.6 °C. Las temperaturas registradas a lo largo de esta investigación se mantuvieron dentro de los rangos diarios considerados favorables para el desarrollo de las especies evaluadas. Según la literatura, los rangos de temperatura son los siguientes: para la especie *Beta vulgaris*, entre 15 °C- 25 °C. (Jiménez *et al.*, 2010); (Idrissova *et al.*, 2023). Para la especie *Spinacia oleracea*, entre 14 °C a 24 °C (Iriany *et al.*, 2021). Para la especie *Brassica campestris*, entre 12°C a 30 °C (Eduarda Borges *et al.*, 2023), mostrando esta última la mayor plasticidad adaptativa de las tres.

Especies evaluadas

Se evaluó la producción kg de biomasa foliar obtenida por volumen de sustrato en m³ de sustrato para las especies comestibles: Acelga *Beta vulgaris* L. var. *cicla*, espinaca *Spinacia oleracea* L. var Región F1 y la especie flor amarilla *Brassica campestris* L.; Las especies enlistadas fueron seleccionadas por su aporte nutricional (Macro y micronutrientes) y en el caso de *B. campestris* por su uso cultural alimenticio en la dieta de la población indígena en el altiplano occidental de Guatemala, los aportes nutricionales de estas especies se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de las tres especies comestibles empleadas en la investigación (consumidas en fresco).

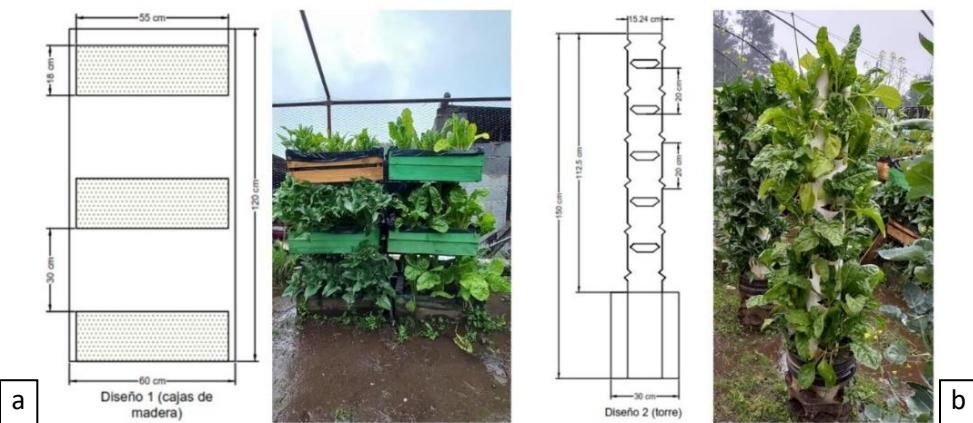
Fuente: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)

Table 1. Nutritional composition of the three edible species used in the research (consumed fresh). Source: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)

Especie	Composición 100 gramos en fresco																	
	Agua		energía	proteína	Grasa Total	Carbohidratos	Fibra		Diet.		Ceniza	Calcio	Fósforo	Hierro	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Vitamina C
	%	Kcal.	g	g			g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg		
<i>S. oleracea</i>	91.4	23	2.86	0.39	3.63	2.2	1.72	99	49	2.71	0.08	0.19	0.72	28				
<i>B. vulgaris</i>	91.1	27	2.9	0.3	4.8	-	-	62	-	3.9	0.05	0.23	0.5	6				
<i>B. campestris</i>	91	27	1.7	0.1	6.2	3.6	1	24	46	0.4	0.05	0.02	0.4	62				
<i>S. oleracea</i>	469	0.01	0.17	0.06	0	558	79	0.53	79	0.19	0	0	0	194	0.75			
<i>B. vulgaris</i>	330	-	-	-	0	550	147	0.02	65	-	0	90	-	-	0.82			
<i>B. campestris</i>	2	0.01	0.05	0.01	0	350	20	0.03	19	0.15	0	0	0	16	0.46			

Factores de estudio**Diseño**

Para el primer diseño estructural D1 (Figura 1a) se emplearon materiales maderables locales bajo condición de reúso como tarimas o pallets. También se emplearon cajas de madera (0.55 m x 0.30 m x 0.18 m) para transporte de verduras en Guatemala y soportes metálicos (ménulas para repisas con capacidad de 25 kg).

**Figura 1.** Prototipos de diseños estructurales de producción de alimentos: a) Diseño 1 (D1 = cajas de madera) y b) diseño 2 (D2 = torre).**Figure 1.** Prototypes for food-production, a) Design 1(D1= wooden boxes type) and b) Design 2 (D2= tower type).

El segundo diseño estructural D2 (figura 1b) consistió en tubos de PVC (Policloruro de vinilo) de 15.2 cm de diámetro con un grosor de 0.28 cm y 150 cm de altura; (Martínez & Romero, 2015) afirman que la durabilidad teórica de este material es cercana a los 100 años. Además, para su degradación se requieren de condiciones de intemperie con temperaturas superiores a los 54 °C (Solorio, 2020) afirma que para su deformación total se requiere de 399 °C. Estos datos como durabilidad son indispensables para la toma de decisiones para su posible replicación.

Cada estructura ocupó un espacio superficial distinto (Figura 2). Ambos diseños ocupan un área superficial eficaz (trama) y un área necesaria para el manejo que corresponde (zona blanca). Dada la naturaleza de la investigación no se evaluaron estratos de cada diseño ya que la prioridad consistió en sistematizar el comportamiento de la producción por cada estructura completa como se observa en la sección de resultados.

Cada una de las plantas para el diseño no. 1 tuvo un volumen de sustrato de 3.4 litros y para el diseño 2 cada planta ocupó un volumen de 0.8 litros, la característica del diseño 1 con relación al volumen del sustrato se ve limitada a cada una de las cajas que ocuparon, sin embargo, en el diseño no. 2 al ser un sistema conectado cada planta pudo anclarse al sustrato en toda la estructura.

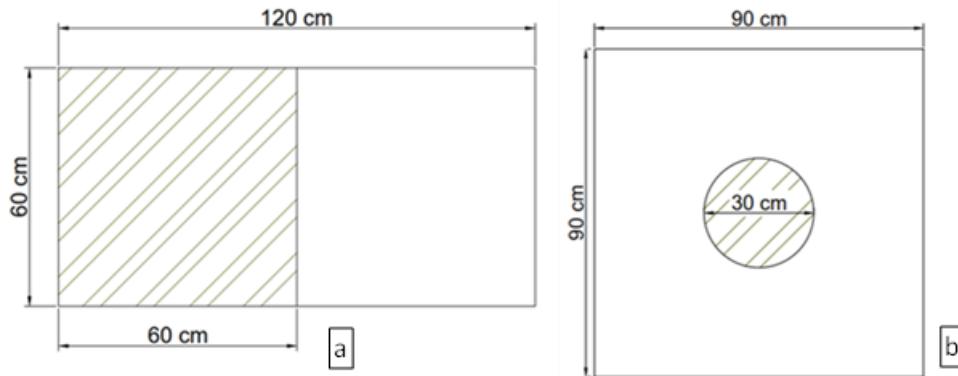


Figura 2. Espacio que ocupa cada uno de los diseños estructurales a) diseño D1 y b) diseño D2.
Figure 2. Space occupied by each food production prototype a) design D1 and b) design D2.

Tabla 2. Área superficial efectiva (trama) y área para manejo agronómico utilizada (zona blanca) por cada diseño de estructural de producción de alimentos.

Table 2. Effective surface area (cross-hatching) and area for agronomic management used (white area) for each food production structure design (prototype).

Diseño	Área efectiva superficial	Área efectiva superficial + área de manejo
Diseño 1	0.36 m ²	0.71 m ²
Diseño 2	0.07 m ²	0.81 m ²

Sustratos

Los sustratos se formularon en una mezcla en proporción de 3:1. El primer sustrato formulado con gallinaza + suelo; el segundo sustrato: compuesto de lombricomposta (a partir de estiércol de ganado vacuno) + suelo y el tercer sustrato fue una mezcla broza (hojarasca o mantillo de boques) + suelo. El suelo empleado provino de la misma zona de investigación y sus características físico/químico se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado del análisis físico/químico del suelo empleado en la formulación de la mezcla de sustratos para ambos sistemas verticales.

Table 3. Physicochemical analysis of the soil is used to formulate the substrate mixture for both food production systems.

Conductividad Eléctrica (dS m-1)	pH en agua	Materia orgánica	Ca	Mg	K	Na	Capacidad de intercambio catiónico	P	Cu	Zn	Fe	Mn	Textura	Punto de Marchitez Permanente	Capacidad de Campo	Densidad aparente
								Meq intercambiables/100 g suelo						(ppm)		% H
0.07	6.33	4.39	6.46	1.70	1.06	0.84	22.29	0.34	0.69	1.46	9.80	36.93	Franco Arenoso	16.67	36.36	0.96

Diseño y conformación de tratamientos

Se empleó un diseño factorial $2 \times 3 = 6$ tratamientos ensayados por cada especie comestible. El diseño experimental utilizado fue un bloque completo al azar con arreglo combinatorio que consistió en tres repeticiones.

Los tratamientos se designaron como:

* T1, T2...T6 = tratamiento (combinación de factores A y B)

Factor A: * D1 = Estructura vertical (cajas)

* D2 = Estructura vertical (torre)

Factor B: * S1 = Sustrato 3:1 (gallinaza y suelo convencional)

* S2 = Sustrato 3:1 (lombricomposta y suelo convencional)

* S3 = Sustrato 3:1 (broza/mantillo y suelo convencional)

Análisis estadístico

Los dos diseños de estructuras de producción de alimentos evaluados (tipo cajas y torre) presentaron una superficie ocupada y, consecuentemente, una capacidad de alojamiento de plantas diferente. Para comparar su productividad de manera equitativa, se normalizó la producción de ambos diseños a un volumen estándar de 1 m^3 de sustrato. Tras esta normalización, se determinó que el diseño "D1" puede alojar 294 plantas, mientras que el diseño "D2" 250 plantas. El análisis de los datos generados se empleó el software Infostat® en su versión estudiantil.

Los datos de producción se sometieron a un análisis de varianza. Los supuestos de normalidad y homogeneidad varianza se verificaron con anticipación y, cuando hubo diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). El análisis se efectuó por cada especie evaluada de manera separada.

Manejo experimental

Algunas consideraciones de manejo de las tres especies comestibles evaluadas, la temporalidad de siembra y cosecha entre otros aspectos se resumen en la Tabla 4. El riego se efectuó manualmente cada dos días, empleando un recipiente calibrado. El volumen de agua aplicado en cada riego fue proporcional al volumen del sustrato de cada diseño, con el fin de mantener la humedad cercana a la capacidad de campo. Para ello, se utilizó una relación de 196.9 litros de agua por cada metro cúbico de sustrato. Con base a dicha relación, el volumen de riego fue de 10 y 24 litros para el diseño D1 y diseño D2.

Tabla 4. Resumen del manejo agronómico de la investigación
Table 4. Summary of agronomic management for research

Nombre común	Acelga	Espinaca	Flor amarilla
Nombre científico	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cicla</i>	<i>Spinacia oleracea</i> L.	<i>Brassica campestris</i> L.
Método de siembra		Siembra directa de plántulas	
Fecha de siembra		20 de abril de 2022	
Fecha de cierre		19 de agosto de 2022	
Órgano aprovechado		Hojas	
Consideraciones de cosecha	Hojas ≥ 25 cm		≥ 15 cm
Número de cortes		5 cortes en intervalo de entre 9 a 29 días entre corte	
Plantas por estructura diseño D1		18	
Plantas por estructura diseño D2		22	
Control de malezas		1 control a los 60 días después de siembra	
Plagas de importancia	Chupadores pulgones (<i>Aphididae</i>)	Masticadores estado larval (especie no identificada)	
Tipo de control	2 aplicación foliares en intervalo de 20 días (cloronicotinilo + Piretroide)		
Fertilización foliar	3 aplicaciones foliares a razón de 7.8 cc/litro de agua en intervalos de 20 días		

Cosecha

La cosecha de las tres especies se efectuó cuando las plantas alcanzaron la madurez foliar, determinada según los criterios indicados en la tabla 5, como longitud de hoja y estado fitosanitario libre de daños visibles. Para todas las especies, la primera cosecha se efectuó a los 49 días después de la siembra. Los cortes posteriores se efectuaron en un régimen de cinco cosechas con los siguientes intervalos: 9 días entre la primera y la segunda, 20 días entre la segunda y la tercera, 19 días entre la tercera y la cuarta, y 29 días entre la cuarta y la cuarta (última).

Los criterios de longitud foliar mínima para la cosecha fueron: *B. vulgaris* ≥ 25 cm; *S. oleracea* ≥ 15 cm y *B. campestris* ≥ 15 cm. Durante el estudio, se registró el peso fresco de cada tratamiento en cada uno de los cinco cortes.

RESULTADOS

Las especies *B. vulgaris* y *S. Oleracea* cultivadas en el diseño estructural D2 (tipo torre) mostraron una productividad superior con los sustratos de gallinaza y lombricomposta en comparación con el sustrato de broza/mantillo (Figura 3 y 4). Un comportamiento distinto se observó con la especie *B. campestris* (Figura 5); que presentó el mejor rendimiento en el diseño de estructura D1 (tipo cajas) en combinación con los sustratos de lombricomposta y gallinaza.

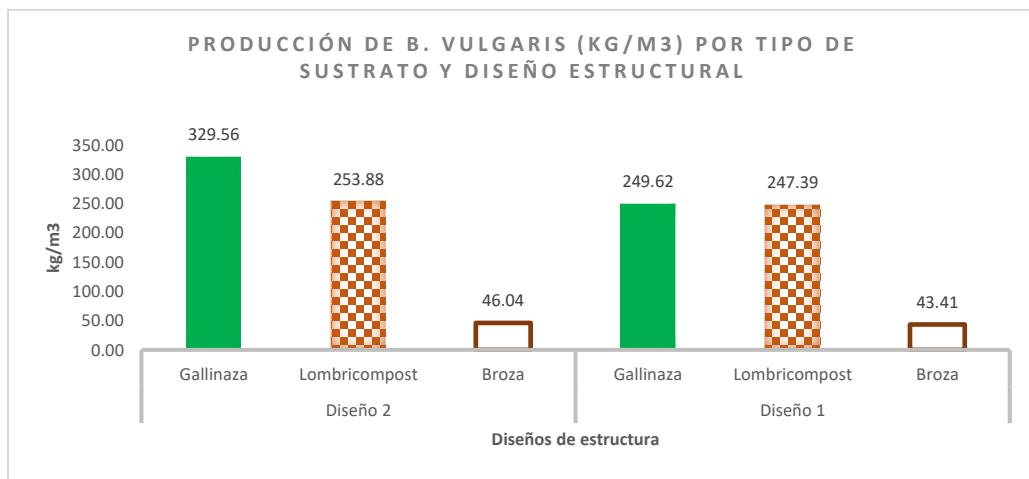


Figura 3. Producción promedio de biomasa de la especie acelga -*B. vulgaris* en kg/m³
Figure 3. Average biomass yield of *B. vulgaris* (Swiss chard) in Kg/m³



Figura 4. Producción promedio de biomasa de la especie espinaca -*S. oleracea* en kg/m³
Figure 4. Average biomass yield of *S. oleracea* (Spinach) in Kg/m³.

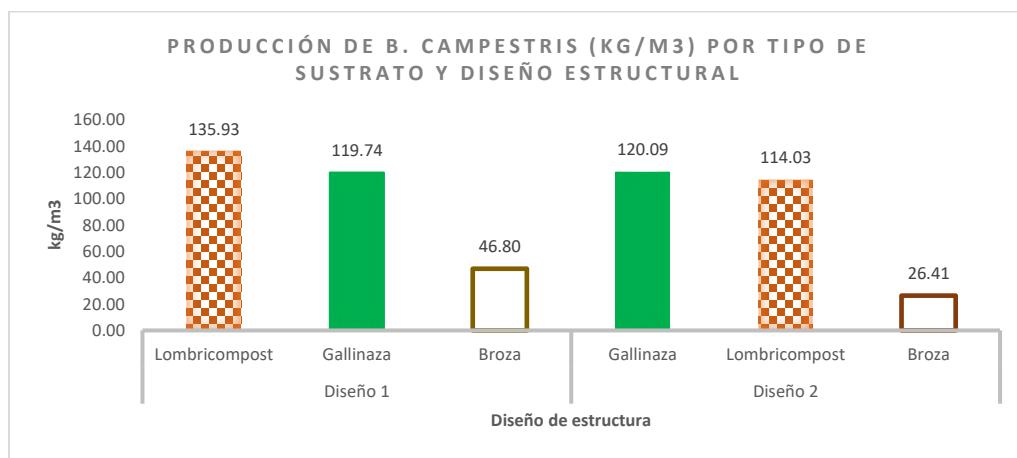


Figura 5. Producción promedio de biomasa de la especie flor amarilla -*Brassica campestris* L. kg/m³
Figure 5. Average biomass yield of *Brassica campestris* L. in Kg/m³.

Acelga *B. vulgaris*

El análisis de varianza reveló que la producción de *B. vulgaris* fue afectada de manera altamente significativa por el diseño estructural, el tipo de sustrato y la interacción entre ambos factores (Tabla 5). El factor que explicó la mayor variación fue el sustrato ($p<0.0001$), siendo la gallinaza el de mejor desempeño. Asimismo, se encontró un efecto significativo del diseño estructural ($p=0.0183$), con el diseño D2 mostrando la mayor producción promedio.

Tabla 5. Análisis de varianza para la producción de acelga *B. vulgaris*.**Table 5.** Analysis of variance for the chard production of *B. vulgaris*.

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	230829.6	7	32975.66	98.27	<0.0001
Bloque	9393.39	2	4696.69	14	0.0013
Diseño	3021.49	1	3021.49	9	0.0133
Sustrato	214300.29	2	107150.14	319.31	<0.0001
Diseño*Sustrato	4114.43	2	2057.22	6.13	0.0183
Error	3355.72	10	335.57		
Total	234185.32	17			

Con base a la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$), la combinación entre el diseño estructural D2 con el sustrato de gallinaza produjo el rendimiento significativamente más alto de *B. vulgaris* alcanzando 329.6 kilogramos (Tabla 6), formando un conglomerado estadístico superior. Los tratamientos que le siguieron en rendimiento, formando un grupo secundario, fue el diseño de D1 (cajas) combinado con gallinaza (260.94. kilogramos) y la lombricomposta en ambos diseños.

En contraste, el sustrato 3 (broza/mantillo) mostró los rendimientos más bajos y conformando un tercer grupo estadístico distinto e inferior (Clasificación C, Tabla 6b), independientemente del diseño estructural productivo empleado.

Tabla 6. Producción *B. vulgaris* prueba de medias para las variables: a) diseño, b) sustrato y c) interacción de factores en *B. vulgaris*.**Table 6.** Yield of *B. vulgaris* Analysis of variance for the variables: a) design b) substrate and c) interaction between factors.

a) Diseño			
Diseño	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	209.83	6.11	A
D1	183.92	6.11	B

b) Sustrato			
Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
Gallinaza	295.25	7.48	A
Lombricomposta	250.64	7.48	B
Broza	44.73	7.48	C

c) Interacción

Diseño	Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	Gallinaza	329.56	10.58	A
D1	Gallinaza	260.94	10.58	B
D2	Lombricomposta	253.88	10.58	B
D1	Lombricomposta	247.39	10.58	B
D2	Broza	46.04	10.58	C
D1	Broza	43.41	10.58	C

Espinaca *S. oleracea* L.

El análisis de varianza (Tabla 7) de la producción de *S. oleracea* no mostró un efecto significativo del diseño estructural ($p = 0.0544$), pero si reveló diferencias altamente significativas debidas con base al tipo de sustrato ($p < 0.0001$), donde la lombricomposta y la gallinaza superaron notablemente la broza/mantillo (Tabla 8). La interacción entre el diseño y el tipo de sustrato no fue significativa, lo que sugiere que la elección del sustrato es el factor determinante para maximizar la producción de esta especie comestible.

Tabla 7. Análisis de varianza para la producción de *S. oleracea***Table 7.** Analysis of variance for the spinach production *S. oleracea*

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	96605.46	7	13800.78	23.52	<0.0001
Bloque	2044.77	2	1022.39	1.74	0.2243
Diseño	2784.57	1	2784.57	4.75	0.0544
Sustrato	89305.99	2	44652.99	76.1	<0.0001
Diseño*Sustrato	2470.13	2	1235.07	2.1	0.1726
Error	5868.03	10	586.8		
Total	102473.49	17			

Nota: gl= grados de libertad; CM= cuadrado medio; F= estadístico F de Fisher.

Tabla 8. Prueba de medias para la variable sustrato en *S. oleracea*.**Table 8.** T- test for variable substrate in *S. oleracea*.

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	178.56	9.89	A
Gallinaza	148.91	9.89	A
Broza (mantillo)	16.54	9.89	B

Los resultados de producción de *S. oleracea* sugieren la especie *S. oleracea* se ajusta a condiciones confinadas, sin embargo, el sustrato que le proporcionó las mejores condiciones para alcanzar la producción reflejada en la Tabla 8 corresponde al uso de lombricomposta.

Flor amarilla *B. campestris*

La producción de *B. campestris* con base al análisis de varianza, no presentó diferencias significativas entre las dos opciones de estructuras de producción de alimentos (tipo torre y cajas). Por el contrario, se observaron diferencias altamente significativas ($p > 0.0001$) entre de los sustratos (Tabla 9). No obstante, no se detectó interacción significativa entre el diseño de estructura y el tipo de sustrato.

Tabla 9. Análisis de varianza para la producción de *B. campestris*.**Table 9.** Analysis of variance for the yield of *B. campestris*.

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	30920.48	7	4417.21	13.57	0.0002
Bloque	24.45	2	12.23	0.04	0.9633
Diseño	879.9	1	879.9	2.7	0.1312
Sustrato	29552.6	2	14776.3	45.39	<0.0001
Diseño*Sustrato	463.52	2	231.76	0.71	0.514
Error	3255.67	10	325.57		
Total	34176.15	17			

Tabla 10. Prueba de Tukey para la variable producción de biomasa por el uso del sustrato en *B. campestris*.**Table 10.** Tukey's mean test for the variable biomass production by using the substrate variable in *B. campestris*.

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	124.98	7.37	A
Gallinaza	119.92	7.37	A
Broza	36.6	7.37	B

Con base en la prueba de medias de Tukey, se observó superioridad de la producción promedio de *B. campestris* empleando en los sustratos de lombricomposta y gallinaza sobre la broza/mantillo (Tabla 10).

DISCUSIÓN

El presente estudio demostró que, para alcanzar la optimización en los sistemas verticales de producción de alimentos, con referencia a las dos estructuras (diseños) y las especies *B. vulgaris* y *S. oleracea* en contextos de escasos recursos depende de la interacción entre el diseño y la calidad del sustrato, más que de factores aislados.

Los resultados confirman que el diseño estructural como el sustrato influyeron significativamente ($p = 0.001$) en la producción de *B. vulgaris*. Además, se observó una interacción significativa ($p=0.0183$) entre ambos factores, lo que indica que el efecto del sustrato en el rendimiento dependió del diseño de la estructura de producción empleado, y viceversa. La superioridad del diseño estructural D2 (tipo torre) puede atribuirse a una mejor optimización del espacio y una exposición lumínica más homogénea para las plantas. Si bien esta variable no fue medida cuantitativamente en el estudio, representa una línea de investigación prioritaria para futuros trabajos vinculado a los sistemas verticales.

De manera consistente, el sustrato surgió como el factor de mayor influencia en el rendimiento de las tres especies, estos resultados concuerdan con los argumentos de (Bárbaro *et al.*, 2019) quien a través de la caracterización de 15 tipos de composta comprobaron que estos mejoran las características físicas y químicas de un sustrato a comparación de un suelo convencional. En el presente estudio de los sustratos evaluados, la gallinaza y la lombricomposta fueron superiores sobre la broza/mantillo, concordando con lo reportado por (Libutti *et al.*, 2020). Para el caso de la gallinaza, la composición de este recurso es una alternativa ideal ya que al estabilizar la materia orgánica facilita el aprovechamiento de sus propiedades como fertilizante como afirman (Casas Rodríguez & Guerra Casas, 2020). Además, estos beneficios sobre la producción coinciden con los hallazgos de (Peñaloza Monroy *et al.*, 2019), quienes reportaron mayores rendimientos y tallos más vigorosos en tratamientos basado en gallinaza. (Wang *et al.*, 2017), también documentaron incrementos entre el 5 y 10% en cultivos de alta densidad mediante el uso de estiércol (abono orgánico).

En el caso específico de la especie *B. vulgaris*, el nitrógeno disponible (+17%) proporcionado por la gallinaza presentó una relación positiva sobre la producción de hojas frescas lo cual concuerda con las afirmaciones de (Puccinelli *et al.*, 2022), además, este sustrato mejoró significativamente el ratio de peso seco/peso húmedo de las hojas y en la variable de área foliar. De manera similar, el uso de compostaje enriquecido ha destacado como sustrato efectivo para las tres especies estudiadas, fundamentalmente para *S. oleracea* y *B. campestris*, en coincidencia con los estudios realizados por (Smith *et al.*, 2001) y validados por (Tognetti *et al.*, 2005).

En el presente estudio se observó que la producción de *B. vulgaris* (var. *cicla*) bajo los diseños estructurales D1 y D2 se redujo entre un 18% y un 46%, respectivamente, en comparación con una producción intensiva en suelo reportada por Seymour (1999), citado en Salas Espinoza, (2019). Ésta marcada reducción puede atribuirse fundamentalmente a la severa limitación en el volumen del sustrato, el cual se encuentra muy por debajo del mínimo recomendado de 7-10 litros/planta para esta especie (Morales *et al.*, 2021); (Elorza, 2019), sin embargo, (Lemaitre & Gallego, 2014) afirma que el volumen mínimo puede considerarse en los 5 litros. restringiendo drásticamente la disponibilidad de nutrientes y agua disponible para las plantas.

Para la especie *S. oleracea* el requerimiento es entre 2 - 4 litros de sustrato por planta, tal como lo afirman (Lemaitre & Gallego, 2014) y cuya afirmación es confirmada por la autora (Elorza, 2019). Con relación a la producción asociada a los sustratos para las especies *S. oleracea* y *B. campestris*, los mayores rendimientos se obtuvieron por medio los sustratos de lombricomposta y gallinaza, respectivamente. Los hallazgos sugieren que en los diseños evaluados la calidad de los sustratos es clave en el rendimiento de los cultivos aún más que el volumen de los recipientes.

Los resultados sistematizados en esta investigación permiten que, para los diseños de estructura evaluados, la calidad del sustrato fue un factor determinante en el rendimiento, que podría compensar parcialmente las limitaciones impuestas por el reducido volumen de los contenedores. No obstante, se identificaron desafíos técnicos, como la baja capacidad de retención de humedad en la sección superior del diseño D2, lo que implicó elevar la frecuencia de riego.

A pesar de estas limitaciones mencionadas, los sistemas verticales evaluados muestran un gran potencial para ser empleados por familias de bajos recursos en zonas con espacio limitado. Incluso en situaciones de crisis, como la pandemia de COVID-19, estos sistemas podrían ofrecer el acceso y disponibilidad de alimentos frescos ante la interrupción de las cadenas de suministro convencional. Estos resultados sugieren que los sistemas verticales de producción de alimentos representan una alternativa viable para complementar y fortalecer la seguridad alimentaria de familias con escasos recursos, sin la pretensión de reemplazar la producción convencional intensiva.

CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia la importancia de optimizar conjuntamente el diseño estructural vertical de producción de alimentos y el tipo de sustrato para maximizar el rendimiento en los

sistemas verticales de producción destinados a condiciones de escasos recursos y espacios físicos reducidos.

La restricción en el volumen de sustrato, características de estos sistemas, es una limitante para alcanzar la producción de una agricultura convencional. Sin embargo, no se pretendió desplazar un sistema de agricultura convencional, sino aportar en la diversidad de la dieta alimentaria. Así mismo, el estudio resalta que el uso de sustratos de alto contenido nutricional para los cultivos, como lo gallinaza y la lombricomposta, es una estrategia clave para compensar esta limitación y maximizar el rendimiento en condiciones de confinamiento. Los resultados permiten atribuir mejores rendimientos de la especie *B. vulgaris* en el diseño estructural D2 (tipo torre), dado a su capacidad para optimizar el espacio y brindar mejores condiciones lumínicas para las plantas, una condición clave en agricultura vertical.

En perspectiva, estos sistemas verticales rústicos representan una herramienta innovadora para fortalecer la seguridad alimentaria en entornos con limitaciones de espacio y escasos recursos. Su implementación puede beneficiar a familias en contextos rurales, urbanos o periurbanos al proporcionar acceso a alimentos frescos.

AGRADECIMIENTOS

El estudio contó con el financiamiento la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo -AECID- y del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC-, en el marco del proyecto: Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala.

LITERATURA CITADA

- Acción contra el hambre. (2023). *La crisis climática es una crisis de hambre llamamiento de acción contra el hambre sobre la crisis climática diciembre 2023.* <https://accioncontraelhambre.org/sites/default/files/documents/lacrisisclimaticaunesunacrisisdehambre02esp.pdf>
- Azurdia, C. (2016). *Plantas Mesoamericanas Subutilizadas en la Alimentación Humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual.* <https://digi.usac.edu.gt/edigi/pdf/plantasmeso.pdf>
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126–136. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Bello, O., Peralta, L., Monett, Á., Rivas, J. C., & López, J. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala.* <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46681-evaluacion-efectos-impactos-depresiones-tropicales-eta-iota-guatemala>
- Canales, A. (2019). La centralidad de las migraciones en la reproducción de las sociedades avanzadas. *REMHU: Revista Interdisciplinar Da Mobilidade Humana*, 27(57), 101–121. <https://doi.org/10.1590/1980-85852503880005707>
- Casas Rodríguez, S., & Guerra Casas, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v32n3/2224-7920-rpa-32-03-87.pdf>
- Dawood, F., & van Vuuren, J. H. (2023). A multi-dimensional spatial index for the quantification of food insecurity. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100768>
- Eduarda Borges, C., Von dos Santos Veloso, R., Alves da Conceição, C., Sampaio Mendes, D., Ramirez-Cabral, N. Y., Shabani, F., Shafapourtehrany, M., Carlota Nery, M., & Siqueira

- da Silva, R. (2023). Forecasting *Brassica napus* production under climate change with a mechanistic species distribution model. *Scientific Reports* 1, 13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38910-3>
- Elorza, M. I. (2019). *Cultivo de un huerto y prácticas asociadas*. http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Cultivo_de_un_huerto.pdf
- FAO. (2004). *La Mujer en la Agricultura, Medio Ambiente y la Producción Rural GUATEMALA*. <http://www.fao.org/3/ad930s/ad930s01.htm>
- FAO. (2022). Urban and peri-urban agriculture sourcebook. In *Urban and peri-urban agriculture sourcebook*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CB9722EN>
- FAO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. In *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/CC3017EN>
- Garrido Solano, A. L., Ochoa, W., & Carrera, J. L. (2019). *Agricultura y seguridad alimentaria*. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap6.pdf>
- ICC. (2021). *Informe de Línea base del proyecto Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del departamento de Sololá, Guatemala MACC-SAN*.
- Idrissova, A., Zhumagulova, Z., Myrzabayeva, G., Abayeva, K., & Bekbauov, M. (2023). Adaptive abilities of chard cultivars. *Scientific Horizons*, 26(7), 118–128. <https://doi.org/10.48077/SCIHOR7.2023.118>
- INCAP. (2012). *Tabla de composición de alimentos de centro América* (H. Méndez, Ed.; 2a.). <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAimentos.pdf>
- Iriany, A., Hasanah, F., Roeswitawati, D., & Bela, M. F. (2021). Biodegradable mulch as microclimate modification effort for improving the growth of horenso; *Spinacia oleracea L.* *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7(2), 185–196. <https://doi.org/doi.org/10.22034/gjesm.2021.02.03>
- Jiménez, J., Arias, L. A., Espinosa, L., Fuentes, L. S., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodriguez, M. (2010). *El cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea L.) y su manejo fitosanitario en Colombia*. UJTL. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13123>
- Lal, R. (2020). Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic. *Food Security* 2020 12:4, 12(4), 871–876. <https://doi.org/10.1007/S12571-020-01058-3>
- Lane, G., Xinico, S., Monroy-Valle, M., Cordón-Arrivillaga, K., & Vatanparast, H. (2024). Intergenerational Food Insecurity, Underlying Factors, and Opportunities for Intervention in Momostenango, Guatemala. *Nutrients*, 16(4), 470. <https://doi.org/10.3390/NU16040470>
- Lemaitre, H., & Gallego, J. T. (2014). *El huerto ecológico en macetas - Hortensia Lemaitre (tercera)*. RBA Libros S.A. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sz3ODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=espinaca,+maceta,+sustrato,+volumen,+litros&ots=jqLaCyHDkH&sig=Ng_iq60NFe1mYdIvYOJujZ21zZ8#v=onepage&q&f=false
- Libutti, A., Trotta, V., & Rivelli, A. R. (2020). Biochar, Vermicompost, and Compost as Soil Organic Amendments: Influence on Growth Parameters, Nitrate and Chlorophyll Content of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 346, 10(3), 346. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030346>
- Martínez del Amo, Y., & Romero Montoya, M. (2015). Tuberías de PVC orientado: eficiencia, ahorro energético y sostenibilidad. *XXXIII Congreso Nacional de Riegos*, 373–379. <https://doi.org/10.4995/CNRIEGOS.2015.1512>
- Monroy-Valle, M., Estrada, M. R., del Carmen Caamaño, M., Cordón-Arrivillaga, K., Lane, G., & Vatanparast, H. (2025). Preschoolers in severely food insecure Guatemalan Mayan households consume a monotonous grain-based diet. *BMC Public Health* 2025 25:1, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12889-025-24111-2>

Recibido:
27/mayo/2025

Aceptado:
2/diciembre/2025

- Morales Gamboa, A. (2020). El círculo de la fragilidad: migración de sobrevivencia en Centroamérica. *Migración y Desarrollo*, 18(35), 41–70. <https://doi.org/10.35533/myd.1835.amg>
- Morales, L., Vilis, I., Jarri, L., Fontalvo, J., Alfonso, J., & Acosta, J. (2021). Cultivo de Acelga. In *Infografía*. <https://www.uv.mx/hab/files/2021/10/Cultivo-de-Acelga.pdf>
- Peñaloza Monroy, J., Perez López, D., Reyes, A., González, A., & Sangermán, D. (2019). Fertilización orgánica con tres niveles de gallinaza en cuatro cultivares de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1139–1149. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I5.1759>
- Puccinelli, M., Carmassi, G., Botrini, L., Bindi, A., Rossi, L., Fierro-Sañudo, J. F., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2022). Growth and Mineral Relations of *Beta vulgaris* var. *cicla* and *Beta vulgaris* ssp. *maritima* Cultivated Hydroponically with Diluted Seawater and Low Nitrogen Level in the Nutrient Solution. *Horticulturae*, 8(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8070638>
- Salas Espinoza, J. L. (2019). *Manejo de Nutrición Considerando Capacidad de Extracción de Fertilizantes en la Producción de Acelga (Beta vulgaris)* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46451/K%202066045%20Salas%20Espinoza%2C%20Jorge%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SGCCC. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala: Resumen para tomadores de decisión*. <https://sgccc.org.gt/resumen-para-tomadores-de-decision/>
- Smith, D. C., Beharee, V., & Hughes, J. C. (2001). The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus*). *Scientia Horticulturae*, 91(3–4), 393–406. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00273-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00273-4)
- Solorio, J. (2020, December 11). *¿Cuál es la diferencia entre el CPVC Cédula 80 y el PVC? | Corzan*. <https://www.corzan.com/es-mx/blog-sp/diferencia-entre-cpvc-corzan-y-pvc>
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M. J., & Hernández, M. T. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, 13(1), 6–13. [https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212;JOURNAL:JOURNAL:UCSU20;RE QUESTEDJOURNAL:JOURNAL:UCSU20;ISSUE:ISSUE:DOI](https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212)
- Wang, X., Ren, Y., Zhang, S., Chen, Y., & Wang, N. (2017). Applications of organic manure increased maize (*Zea mays* L.) yield and water productivity in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 187, 88–98. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.03.017>