

e-ISSN 2477-8982
p-ISSN 1390-6895

 **LA TÉCNICA**
Revista de las Agrociencias



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1952

15
VOLUMEN
Núm. 1



ENERO - JUNIO 2025

ECUADOR

Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Rector

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Vicerrectora Académica

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director del Instituto de Investigación

Equipo editorial

 Joan Manuel Rodríguez Díaz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director de la revista

 Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Editora General

Editores de sección

 Ana María Santana Piñeros, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Acuicultura y pesca

 Liudmila Shkiliova, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agricultura y silvicultura

 Juan Carlos Vélez Chica, MSc.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroeconomía

 Wagner Antonio Gorozabel Muñoz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroindustria

 Mirna Cecilia Oviedo, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Ciencias de la vida

 Yulien Fernández Romay, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Producción y salud animal

 Henry Pacheco, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Protección del ambiente



Cuerpo editorial

- iD** Juan Manuel Vera, Blgo.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Acuicultura y pesca
- iD** Jesús Díez Dapeña, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Francisco López Lozano, PhD.
Universidad de Córdoba, España
Acuicultura y pesca
- iD** Osvaldo Alberto Fosado Téllez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Carlos Alfredo Salas Macías, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Rolando León Aguilar, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Freddy Zambrano Gavilanes, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agricultura y silvicultura
- iD** Lenin Oswaldo Vera Montenegro, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Frank Intriago Flor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroeconomía
- iD** Ulbio Eduardo Alcívar Cedeño, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** Yordanis Gerardo Puerta de Armas, PhD.
Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
Protección del ambiente
- iD** Mario Javier Bonilla Loor, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Agroindustria
- iD** José Guerrero Casado, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Gerardo José Cuenca Nevárez, Mg.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** Edis Macías Rodríguez, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Marina Dalila Zambrano Aguayo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal
- iD** Sixto Leonardo Reyna Gallegos, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Ciencias de la vida
- iD** William Méndez Mata, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Protección del ambiente
- iD** Juan Luis Cedeño Pozo, PhD.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Producción y salud animal

Consejo editorial

- iD** Rouverson Pereira da Silva, PhD.
Universidad Estatal Paulista de Brasil, Brasil
- iD** Wilson Orlando Pozo Guerrero, PhD.
Universidad de Guayaquil, Ecuador
- iD** Débora Simón Baile, PhD.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
- iD** Wilmer Sepúlveda, PhD.
Grupo de Investigación IPER, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Colombia
- iD** Jorge Simón Pérez de Corcho Fuentes, PhD.
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
- iD** Ángel Guzmán Cedeño, PhD.
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador
- iD** Mayra Beatriz Gómez Patiño, PhD.
Instituto Politécnico Nacional, Ecuador
- iD** Manuel Dagoberto Acevedo Pérez, PhD.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
- iD** Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Alexander Díaz Arias, PhD.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- iD** Ciolys Beatriz Colmenares de Ortega, PhD.
Departamento de Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Tomás Díaz Valdés, PhD.
Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, México

- iD** María Herminia Cornejo, PhD.
Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, Ecuador
- iD** Pedro Antonio Valdés Hernández, PhD.
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- iD** Eunice Pérez Sánchez, PhD.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México
- iD** Matteo Radice, PhD.
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- iD** Juan Antonio Reyes Agüero, PhD.
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZD), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
- iD** Ely Fernando Sacón Vera, PhD.
Escuela Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador
- iD** Ángel Villegas Monter, PhD.
Profesor-Investigador Titular, Programa de Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Cecilia Beatriz Peña Valdivia, PhD.
Profesora-Investigadora Emérita, Programa de Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, México
- iD** Gretty Rosario Ettiene Rojas, PhD.
Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Yaillet Alberbas, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad Central de las Villas, Cuba
- iD** María Andrade Rodríguez, PhD.
Profesora-Investigadora, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
- iD** Lourdes Casas Cardoso, PhD.
Docente-Investigadora, Universidad de Cádiz, Andalucía, España
- iD** Darisol Lisbeth Pacheco Rivera, PhD.
Docente-Investigadora, Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia
- iD** Maria da Conceição Branco da Silva, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** Célia Amorim, PhD.
LAQV-REQUIMTE/Departamento de Ciências Químicas, Faculdade de Farmácia, Universidade Do Porto, R. Jorge Viterbo Ferreira, 228, 4050-313, Porto, Portugal
- iD** María Dolores Saquete, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Nuria Boluda-Botella, PhD.
Instituto Universitario de Ingeniería de los Procesos Químicos, Universidad de Alicante, Alicante, E-03080, Spain
- iD** Rafael Luque, PhD.
Department of Chemistry, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh, Saudi Arabia
- iD** Alina M. Balu, PhD.
Departamento de Química Orgánica, Universidad de Córdoba, Edificio Marie Curie (C-3), Campus de Rabanales, Ctra. Nnal. IV-A, Km 396, E14014, Córdoba, Spain
- iD** Luis Ernesto Arteaga, PhD.
Laboratory of Thermal and Catalytic Processes (LPTC), Wood Engineering Department, Faculty of Engineering, Universidad del Bio-Bio, Concepción 4030000, Chile
- iD** Daniella Carla Napoleão, PhD.
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil
- iD** Jesús Rafael Salazar Miquilena, MSc.
Universidad Central de Venezuela
- iD** Santiago Miguel Ulloa Cortázar, PhD.
Universidad de las fuerzas armadas, ESPE, Ecuador
- iD** Adán Guillermo Ramírez García, PhD.
Universidad Autónoma Chapingo, Mexico
- iD** Jose Atilio Aranguren Mendez, PhD.
Universidad del Zulia, Venezuela
- iD** Jorge Guillermo Morales Ramos, PhD.
Universidad de San Martín de Porres, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Lambayeque, Perú
- iD** Jorge Ortega Alcalá, PhD.
Universidad del Zulia, Venezuela

iD Manuel de Jesús Jumbo Romero, MSc.
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

iD Marta Maria Menezes Bezerra Duarte, PhD.
Chemical Engineering Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

Equipo Técnico

iD Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.
Instituto de Investigación, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico

iD Víctor Andrés López Tuarez, Ing.
Departamento de TICs, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Editor Técnico/Web Master OJS

iD Orly Bermello Zamora, Ing.
Dirección de Comunicaciones, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Diseño/Diagramación

iD Gary Eduardo Loor Escobar, Mg.
Instituto de Investigación, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Traductor

ÍNDICE

PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

Efecto del calcio y materia orgánica como alternativa de reducción en la toxicidad de cadmio en maíz

Effect of calcium and organic matter as an alternative for reducing cadmium toxicity in maize

Ana Karen Cobeña Loor, Jéssica Jessenia Morán Morán

1-8

AGROINDUSTRIA

Determinación de la composición química del aceite esencial de residuos de hojas de Arazá (*Eugenia stipitata*) y posibles aplicaciones agroindustriales

*Determination of the chemical composition of the essential oil from Arazá (*Eugenia stipitata*) leaf residues and possible agroindustrial applications*

Angélica María Tasambay Salazar, Byron Giovanni Hidalgo Olmedo, Jannys Lizeth Rivera Barreto, Sting Brayan Luna Fox, Luis Ramón Bravo Sánchez

9-20

AGROINDUSTRIA

Uso de aceites esenciales como conservantes naturales en la industria cárnica

Use of essential oils as natural preservatives in the meat industry

Miguel Ángel Enríquez Estrella, Luis Andrés Torres Caicedo, Armando Vinicio Paredes Peralta

21-28

AGROINDUSTRIA

Métodos de desinfección de cormos en cultivares de plátano (*Musa AAB*) sobre sus características morfológicas y productivas

*Methods of corm disinfection in banana cultivars (*Musa AAB*) on their morphological and productive characteristics*

Leonardo Avellán-Vásquez, Diana Alava-Cruz, Gema Moreira-Basurto, Manuel Meza-Loor

29-34

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el cantón Tosagua

Multi-temporal analysis of change in land use through remote perception in the Tosagua canton

Alfredo Nicolas Solórzano Faubla, Orly Disney Loor Fernandez, Angel Frowen Cedeño Sacon, Geoconda Aracely López Álava

35-41

AGROINDUSTRIA

Morfometría aérea en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de siembra, en sabanas de Monagas, Venezuela

Aerial morphometry in *Moringa oleifera* Lam. at different planting densities, in savannahs of Monagas, Venezuela

Raul Granado Gimón, Guillermo Romero Marcano, Ramon Silva Acuña, Rodolfo J. González Betancourt

42-51

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Prevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica en el período 2010- 2021. Revisión sistemática y meta-análisis

Prevalence of brucellosis in sheep and goats in the regions of Central America and the Caribbean and South America in the period 2010-2021. Systematic review and meta-analysis

José Roberto Velásquez Navarrete, Marina Dalila Zambrano Aguayo, Cesar Augusto Zamora Macías, Daniel Isaias Burgos Macías, Osvaldo Fonseca-Rodríguez, Miguel Pérez Ruano

52-66

AGROINDUSTRIA

Respuesta del cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) a la aplicación de bioinsumos edáficos

Response of the sweet potato crop (*Ipomoea batatas*) to the application of edaphic bioinputs

Jennifer Milena López Castro, Zully Nathaly Soledispa Bernita, Joffre Añazco Chávez, Favio Ruilova Narváez, Xavier Ortiz Dueñas, Jorge Tumbaco Vera, Gloria Cobeña Ruíz, Chang Hwan Park

67-74



Efecto del calcio y la materia orgánica como alternativa de reducción en la toxicidad de cadmio en maíz

Effect of calcium and organic matter as an alternative for reducing cadmium toxicity in maize

Autores

¹Ana Karen Cobeña Loor

✉ cobena-ana8952@unesum.edu.ec

²Jéssica Jessenia Morán Morán

✉ jessica.moran@unesum.edu.ec

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí.
Instituto de Posgrado. Programa de Maestría
en Gestión Ambiental. Jipijapa, Manabí,
Ecuador

²Universidad Estatal del Sur de Manabí.
Facultad de Ciencias Naturales y de la
Agricultura. Carrera Agropecuaria. Jipijapa,
Manabí, Ecuador.

Citación sugerida: Cobeña Loor, A. K. y Morán Morán, J. J. 2025. Efecto del calcio y la materia orgánica como alternativa de reducción en la toxicidad de cadmio en maíz. *La Técnica*, 15(1), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.7027>

Recibido: Octubre 10, 2024

Aceptado: Noviembre 12, 2024

Publicado: Enero 01, 2025

Resumen

La contaminación por cadmio (Cd) en maíz es crucial para garantizar la seguridad alimentaria, dado que este metal pesado puede acumularse en los granos y representar un riesgo significativo para la salud humana. El objetivo fue evaluar fuentes de calcio (Ca) y materia orgánica (MO) como alternativa de reducción en la absorción de cadmio en maíz. Se empleó un diseño completo al azar con un arreglo factorial de 2 x 4, donde se evaluaron diferentes tratamientos que combinaban la aplicación de MO y fuentes de Ca. La preparación del suelo incluyó la adición de compost en los tratamientos con MO. La contaminación con Cd se realizó adicionando cloruro de cadmio (CdCl_2), posteriormente, se aplicaron las fuentes de Ca mediante riego. Las semillas de maíz se sembraron en macetas con un riego constante para mantener la humedad a capacidad de campo. Durante un período de 60 días, se monitorearon y registraron diversas variables, incluyendo la biomasa seca y concentración de Cd en raíces y tallos. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en la biomasa seca foliar y de la raíz de las plantas de maíz expuestas a la contaminación por cadmio, tanto en los efectos simples como en la interacción entre la MO y la fuente de Ca. Se observó que la incorporación de un 2% de MO y nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvo un impacto significativo en la producción de biomasa y en la concentración de Cd en las plantas de maíz expuestas al contaminante, tanto de manera independiente como en conjunto.

Palabras clave: metal pesado, absorción de cadmio, biomasa seca.

Abstract

Cadmium (Cd) contamination in maize is crucial for ensuring food security, as this heavy metal can accumulate in the grains and pose a significant risk to human health. The objective of this research was to evaluate calcium (Ca) sources and organic matter (OM) as alternatives to reduce cadmium uptake in maize. A completely randomized design with a 2 x 4 factorial arrangement was used, where different treatments combining OM application and Ca sources were evaluated. Soil preparation included the addition of compost in the OM treatments. Cd contamination was induced by adding cadmium chloride (CdCl_2), followed by the application of Ca sources through irrigation. Maize seeds were planted in pots with consistent irrigation to maintain adequate moisture. Over a period of 60 days, various variables were monitored and recorded, including dry weight and Cd concentration in roots and stems. The results showed highly significant differences in the dry biomass of maize leaves and roots exposed to cadmium contamination, both in simple effects and in the interaction between OM and Ca sources. It was observed that the incorporation of 2% OM and calcium nitrate $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ had a significant impact on biomass production and Cd concentration in maize plants exposed to the contaminant, both independently and in combination.

Keywords: heavy metal, cadmium uptake, dry biomass.



Introducción

Zea mays L., mejor conocido como maíz, es uno de los cultivos más reconocidos a nivel mundial, tanto por su producción como por su papel crucial en la seguridad alimentaria, así como para el consumo humano y animal. Su versatilidad y uso generalizado lo convierten en un componente dietético esencial en muchas partes del mundo (Rouf et al., 2016). Sin embargo, la presencia de metales pesados, particularmente cadmio (Cd), en el suelo representa una amenaza para la seguridad de la calidad de los cultivos, la salud humana y el equilibrio ambiental (Rashid et al., 2023).

El cadmio, conocido por su alta toxicidad, es una grave preocupación tanto para la salud humana como para los ecosistemas. A diferencia de otros elementos, el Cd no desempeña ningún papel biológico esencial en el ambiente, por lo que su presencia es solo un subproducto de actividades humanas como la minería, la industria y la agricultura intensiva (Hayat et al., 2019). Puede acumularse en los suelos y ser absorbido por las plantas, lo que, en última instancia, resulta en la contaminación de la cadena alimentaria y la exposición humana a través del consumo de alimentos contaminados (Angon et al., 2024). Esta contaminación plantea diversas problemáticas ambientales y de salud.

El contexto internacional, a medida que ha aumentado la conciencia sobre los riesgos asociados con la contaminación por Cd, varios países han impuesto regulaciones ambientales más estrictas para disminuir sus efectos. Según las regulaciones, la reducción de la exposición a metales pesados en los alimentos y el desarrollo de prácticas agrarias más sustentables son objetivos para proteger tanto el ambiente como la salud humana (Hembrom et al., 2020). Normativas que regulan los niveles de Cd permitidos en productos alimenticios han sido establecidas en este contexto, lo que ha hecho que se dé más atención a las prácticas agrarias que pueden influir en la acumulación de este metal en los cultivos.

A nivel nacional la contaminación por metales pesados se está convirtiendo en un problema cada vez más grave en los ecosistemas agrícolas, los metales pesados como el Cd se acumulan en la cadena alimentaria y pueden tener efectos perjudiciales sobre las funciones fisiológicas de los organismos vivos (Luo et al., 2019). Las actividades antropogénicas pueden elevar las concentraciones de Cd en los suelos y las aguas subterráneas, que son importantes para mantener un suministro saludable de alimentos y agua potable (Daripa et al., 2023).

Ante estos obstáculos, se requiere investigar opciones viables para disminuir el riesgo al que conlleva la absorción del Cd en

los cultivos agrícolas. Entre los posibles enfoques, el uso de enmiendas del suelo como Ca y MO se ha convertido en un enfoque prometedor. Cada nutriente es esencial para el crecimiento de las plantas, el Cd no solo compite con el Ca por las membranas de transporte de la raíz, ya que poseen propiedades físico-químicas similares, sino que también puede formar complejos insolubles en el suelo, disminuyendo su disponibilidad para las plantas (Hayat et al., 2019). Por otro lado, el material orgánico elaborado a partir de restos de plantas y animales puede mejorar la estructura del suelo y la capacidad de retención de nutrientes, reduciendo la cantidad de cadmio que absorben las plantas y, en ciertos casos, facilitando su movimiento hacia formas menos accesibles (Genchi et al., 2020).

Bajo estos antecedentes, el estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial del calcio y la materia orgánica como alternativa para disminuir la toxicidad del cadmio en el maíz, un cultivo ampliamente consumido a nivel mundial.

Materiales y métodos

El trabajo contempló la metodología de investigación mixta, integrando un enfoque estadístico y matemático. Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial de 2×4 donde el factor A fue la aplicación de materia orgánica (0 y 2%), y el factor B las fuentes de calcio (sin calcio, nitrato de calcio, sulfato de calcio y 50% nitrato de calcio + 50% sulfato de calcio), dando un total de ocho tratamientos. Cada tratamiento incluyó una población de 144 plantas distribuidas en cuatro repeticiones. Cada repetición contó con un grupo de 36 plantas, de las cuales se seleccionaron 10 para formar la muestra, según las indicaciones de Arispe et al. (2019). Las 26 plantas restantes se mantuvieron como parte del efecto de borde, conforme a lo recomendado por Peña-Becerril et al. (2005).

Manejo del ensayo

Preparación del suelo: se pesaron y dispusieron 4 kg de arena de río en cada maceta. Para los tratamientos que incluyeron materia orgánica, se añadieron 80 g de compost por maceta, realizando una mezcla homogénea.

Contaminación con cadmio (Cd): se llevó a cabo utilizando CdCl_2 , aplicando 0,09 meq de $\text{Cd} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Para cada tratamiento, se pesó la cantidad correspondiente del contaminante y se diluyó en 100 mL de agua. Luego, se aplicó de manera uniforme mediante riego, 8 días antes de la siembra.

Aplicación de las fuentes de calcio (Ca): para cada tratamiento se aplicó 0,09 meq de $\text{Ca} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ a través de las fuentes nitrato y sulfato de calcio, y se diluyó en 100 mL de agua y fue aplicado mediante el riego 5 días después de la contaminación con cadmio.

Siembra: las semillas se remojaron durante 24 horas antes de la siembra para asegurar su viabilidad. Se sembraron dos semillas por maceta y se mantuvo un riego constante para mantener la humedad del suelo en su capacidad de campo durante todo el período de investigación.

En la tabla 1 se muestra el análisis del suelo usado en la investigación, el cual presentó un pH ligeramente alcalino, contenido de materia orgánica bajo. Los niveles de nutrientes esenciales como fósforo, potasio, calcio y magnesio también fueron bajos en general.

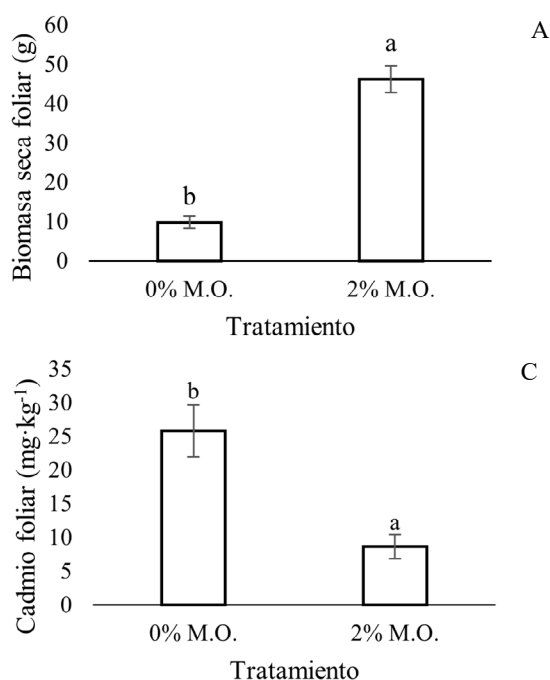
Tabla 1. Análisis físico-químico del suelo.

Clase textural	pH	Materia orgánica (%)	Fósforo ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Potasio ($\text{mq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)	Calcio ($\text{mq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)	Magnesio ($\text{mq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)
Franco arenoso	7,6	0,9	1,3	0,06	1,4	0,24

El análisis químico del compost (tabla 2) mostró un pH cercano a la neutralidad. En cuanto a los macronutrientes, el nitrógeno se encontró en niveles adecuados, mientras que el fósforo (0,84%) y el potasio (1,04%) presentaron concentraciones moderadas. El calcio con un 3,43% destacó por su alta concentración, y el magnesio con un 0,82% se encontró en cantidades apropiadas para el desarrollo de las plantas.

Tabla 2. Análisis químico del compost.

pH	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
7,47	42,68	1,98	0,84	1,04	3,43	0,82



Por otra parte, el material vegetal utilizado fue el híbrido de maíz trueno. Con el propósito de examinar el impacto de la aplicación de Ca y MO en la mitigación de la toxicidad del Cd en el maíz, se procedió a mantener las plantas en las macetas durante un período de 60 días. Durante este lapso, se registraron y analizaron las siguientes variables:

Biomasa seca de raíz y tallo: se extrajeron las plantas completas y se separó la parte aérea de la radical, se recolectaron 10 plantas de maíz por cada unidad experimental (considerando el efecto borde), y fueron llevadas a secado en una estufa a 70 °C, hasta obtener una biomasa constante, el cual indicó que la muestra estuvo totalmente seca (Andrade et al., 2023).

Concentración de Cd en raíz, tallo y suelo: una vez que las muestras de la planta fueron secadas, se llevaron a un proceso de digestión, con la finalidad de obtener una solución para luego realizar la lectura de la concentración de cadmio por medio del espectrofotómetro de absorción atómica (Pedraza y Rojas, 2017).

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando ANOVA, en las variables que se encontró diferencias significativas se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia (alfa) de 0,05 y correlaciones. Todos los procesos estadísticos se realizaron utilizando el software informático InfoStat 2018.

Resultados y discusión

En la figura 1 se observan los resultados obtenidos tras la aplicación de MO, mismos que mostraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,0001$) en la biomasa seca foliar y de la raíz del maíz. En el tratamiento sin aplicación de materia orgánica (0% MO), la biomasa seca foliar (BSF) y la biomasa seca de la raíz (BSR) fueron 9,79 y 7,20 g; respectivamente.

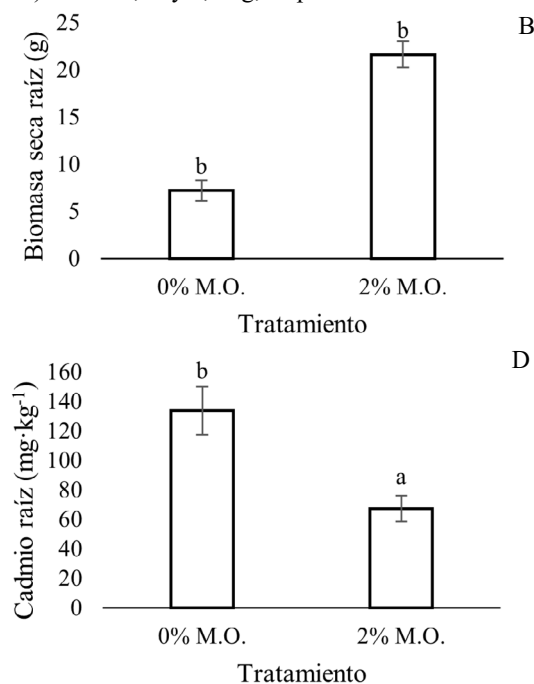


Figura 1. (A y B) Biomasa seca, y (C y D) concentración de Cd en tallo y raíz de maíz bajo condiciones de contaminación por Cd tras aplicación de materia orgánica.

Estos valores fueron significativamente menores en comparación con el tratamiento con 2% de MO, donde la BSF y la BSR alcanzaron 46,21 y 21,6 g; respectivamente. Por otra parte, la concentración de Cd en el follaje (CdF) y en la raíz (CdR) también presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,0001$). En el tratamiento sin MO, las concentraciones de CdF y CdR fueron de 25,8 y 133,7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; respectivamente. Estos valores fueron considerablemente más altos que en el tratamiento con 2% de MO, donde las concentraciones de CdF y CdR fueron de 8,6 y 67,2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; respectivamente.

Estos resultados sugirieron que la aplicación de MO a una concentración del 2% mejoró significativamente el crecimiento del maíz, aumentando la biomasa seca tanto del follaje como de la raíz, y reduce la acumulación de Cd en la planta. La MO ha sido ampliamente reconocida por su capacidad para mejorar la capacidad de retención de nutrientes y metales pesados en el suelo, así como para reducir su biodisponibilidad y movilidad (Li et al., 2019). Esto puede explicar el efecto positivo observado en la producción de biomasa en las plantas de maíz expuestas a Cd. En estudios similares, la aplicación de enmiendas como el biochar ha mostrado una reducción significativa en la movilidad

del Cd y su absorción por las plantas, lo cual es consistente con los hallazgos del presente estudio (Anwar et al., 2024).

En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos con Ca, los cuales presentaron variaciones significativas en la biomasa seca de la planta y en la concentración de Cd en el tallo y la raíz del maíz. En el tratamiento sin adición de Ca, la biomasa seca del follaje (BSF) y la biomasa seca de la raíz (BSR) fueron de 20,1 y 10,8 g; respectivamente. La concentración de Cd en el follaje (CdF) y en la raíz (CdR) fueron de 25,4 y 135,8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; respectivamente. Estos valores sirvieron como referencia para comparar la efectividad de los tratamientos con diferentes formas de Ca.

Por otro lado, el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ puede jugar un papel crucial en la mitigación de los efectos negativos del Cd en las plantas de maíz. Se ha demostrado que el calcio compite con el Cd por los sitios de absorción en las raíces, reduciendo así su entrada en los tejidos vegetales y limitando su toxicidad (Varma et al., 2017). Además, el Ca puede activar mecanismos de tolerancia al estrés en las plantas y la regulación de la homeostasis iónica (Choudhary et al., 2010). Estos estudios ayudaron a proporcionar una explicación para los resultados obtenidos en esta investigación.

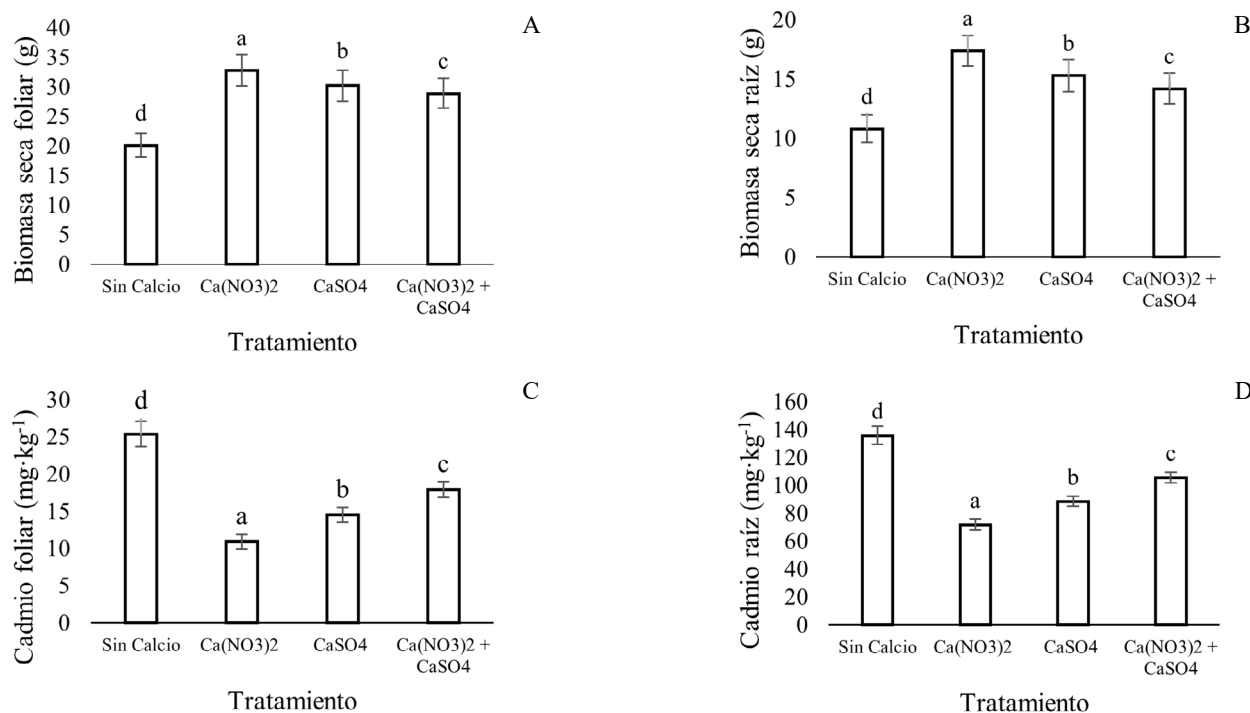


Figura 2. (A y B) Biomasa seca y (C y D) concentración de cadmio en tallo y raíz de maíz bajo condiciones de contaminación por cadmio tras aplicación de diferentes fuentes de calcio.

En la tabla 3, se observa que la biomasa seca foliar (BSF) varió significativamente entre los tratamientos, según lo indicó la probabilidad ANOVA ($P < 0,0001$), lo que sugirió un efecto claro de la aplicación de MO y las diferentes fuentes de Ca.

Tabla 3. Evaluación de la biomasa seca foliar y de la raíz y la concentración de cadmio foliar y de la raíz, en plantas de maíz expuestas a contaminación con cadmio en condiciones de macetas, tras la aplicación de materia orgánica y diferentes fuentes de calcio.

Tratamiento	BSF (g)	BSR (g)	Cd foliar (mg·kg ⁻¹)	Cd raíz (mg·kg ⁻¹)
0% MO + Sin Calcio	5,1 ± 0,21 g	4,3 ± 0,12 h	37,8 ± 0,53 h	184,4 ± 5,04 h
0% MO + Ca(NO ₃) ₂	13,2 ± 0,18 e	10,2 ± 0,08 e	18,0 ± 0,33 e	100,9 ± 1,85 e
0% MO + CaSO ₄	10,7 ± 0,26 f	7,7 ± 0,14 f	21,8 ± 0,35 f	115,4 ± 1,79 f
0% MO + Ca(NO ₃) ₂ + CaSO ₄	10,2 ± 0,31 f	6,9 ± 0,09 g	25,5 ± 0,44 g	133,9 ± 1,39 g
2% MO + Sin Calcio	35,2 ± 0,36 d	17,4 ± 0,34 d	12,9 ± 0,66 d	87,2 ± 1,96 d
2% MO + Ca(NO ₃) ₂	52,4 ± 0,21 a	24,6 ± 0,19 a	3,8 ± 0,27 a	42,8 ± 0,76 a
2% MO + CaSO ₄	49,6 ± 0,54 b	22,9 ± 0,26 b	7,3 ± 0,24 b	61,6 ± 0,92 b
2% MO + Ca(NO ₃) ₂ + CaSO ₄	47,6 ± 0,31 c	21,7 ± 0,09 c	10,5 ± 0,35 c	77,2 ± 0,56 c
CV (%)	2,19	2,23	4,9	3,52
Probabilidad ANOVA	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001

Medias con letras comunes no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos de cada variable ($P > 0,05$). Abreviaturas: BSF= biomasa seca foliar, BSR= biomasa seca de la raíz, CV= coeficiente de variación.

La aplicación de calcio tuvo un impacto positivo en la biomasa seca de la parte foliar (BSF), destacando el uso de Ca(NO₃)₂, que mostró el mayor aumento en comparación con otros tratamientos. Aunque la combinación de Ca(NO₃)₂ y SO₄Ca también incrementó la BSF, no superó la eficacia del nitrato de calcio solo, lo que sugirió que el uso de una única fuente de calcio puede ser más eficiente. Además, la incorporación de materia orgánica demostró una influencia significativa en la mejora de la BSF en todos los tratamientos, especialmente cuando se combinó con Ca(NO₃)₂, alcanzando el valor máximo de BSF.

En el caso de la biomasa seca de la raíz (BSR), se observó una tendencia similar: los tratamientos con Ca(NO₃)₂ lograron el mayor incremento en comparación con los tratamientos sin calcio. La combinación de calcio con materia orgánica también potenció la BSR, corroborando la importancia de la materia orgánica como complemento. Estos resultados indicaron que tanto el tipo de fuente de calcio como la adición de materia orgánica fueron factores determinantes para optimizar la BSF y la BSR en maíz, siendo el Ca(NO₃)₂ la fuente más efectiva en ambas variables.

La concentración de Cd en hojas mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0,0001$).

La aplicación de calcio y materia orgánica mostró efectos significativos en la mitigación de la absorción de cadmio en plantas de maíz, destacando su potencial como estrategias de fitorremediación en suelos contaminados. La ausencia de Ca resultó en la concentración más alta de Cd en hojas, lo que sugirió que, sin un agente estabilizante, el Cd se acumuló libremente en el tejido vegetal. La adición de Ca(NO₃)₂ fue particularmente efectiva, reduciendo a la mitad esta concentración, lo que indicó un efecto protector notable. La aplicación de CaSO₄ y la combinación de Ca(NO₃)₂ + CaSO₄ también redujeron los niveles de Cd, aunque de forma menos eficaz que Ca(NO₃)₂. Estos resultados resaltaron el papel del calcio en reducir la absorción de Cd y sugirieron que la forma en que se aplicó puede influir en la eficiencia de mitigación.

La presencia de MO amplió estos efectos, contribuyendo a una disminución general en la absorción de Cd, probablemente debido a su capacidad para mejorar las propiedades del suelo y promover la inmovilización del metal. El tratamiento con MO y Ca(NO₃)₂ logró la menor concentración de Cd en hojas y raíces, lo que subrayó la sinergia entre MO y calcio en la mitigación de la toxicidad del Cd. Estos resultados fueron consistentes con investigaciones previas, como la de Kaleem et al. (2022), que recalcaron el rol crítico del calcio en la regulación del estrés oxidativo inducido por metales pesados en plantas. Por ejemplo, Zhang et al. (2020) demostraron que la aplicación de calcio redujo la absorción de cadmio al competir con este metal en los sitios de absorción de las raíces, limitando su entrada en la planta. Asimismo, Choong et al. (2014) encontraron que el calcio disminuyó la absorción de cadmio al competir por los canales de transporte celular debido a sus semejanzas físico-químicas, bloqueando así la entrada del cadmio en las células. Además, el calcio puede desplazar el cadmio de sitios de unión críticos en proteínas celulares, reduciendo los efectos tóxicos y la acumulación de cadmio en tejidos vegetales.

Además, los resultados de este estudio demostraron que la aplicación conjunta de calcio (Ca) y materia orgánica (MO) al 2% en suelos contaminados fue una estrategia efectiva para reducir la absorción de cadmio (Cd) en cultivos de maíz. Esta combinación no solo minimizó la acumulación de Cd en los tejidos vegetales, sino que también incrementó la producción de biomasa, un indicador clave para mantener la productividad agrícola en suelos afectados por metales pesados. Estos hallazgos sugirieron que el uso de MO y Ca en suelos contaminados podría ser una práctica sostenible para mitigar la toxicidad del Cd, abordando los riesgos ambientales y alimentarios que este metal pesado representó. El Cd, un contaminante tóxico asociado a actividades industriales y agrícolas, fue capaz de acumularse en los suelos, generando una amenaza significativa para la salud humana y el ambiente (Alloway, 2012).

La notable reducción en la concentración de Cd en las hojas y raíces con la aplicación de Ca, especialmente cuando se combina con MO, subraya la sinergia entre estos tratamientos para limitar la bioacumulación de Cd. Este efecto puede explicarse por la

capacidad del Ca para formar complejos estables con el Cd, lo que disminuyó su movilidad y su absorción por las raíces de las plantas (Mazhar et al., 2023). Adicionalmente, la MO mejora la capacidad de retención de nutrientes del suelo, incrementando la disponibilidad de Ca y otros nutrientes esenciales para las plantas, lo que reforzó la mitigación de la toxicidad por Cd (Fang et al., 2024). Adicionalmente, Cai et al. (2021) y Safari et al. (2024), sugirieron que la combinación de MO y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ parece ser más eficaz en la reducción de la absorción de Cd por el maíz, posiblemente debido a la mejora en la estructura del suelo y la retención de nutrientes promovida por estas enmiendas.

La figura 3 muestra una correlación positiva fuerte ($r = 0,954$) entre la biomasa seca foliar y la biomasa seca de la raíz, esto indicó que, a medida que aumentó la biomasa en las hojas, también se incrementó la biomasa en las raíces. Esta relación es esperada, ya que un mayor crecimiento de la parte aérea generalmente se acompaña de un desarrollo proporcional en el sistema radical, reflejando un estado general de salud y vigor en la planta (Bektas et al., 2023).

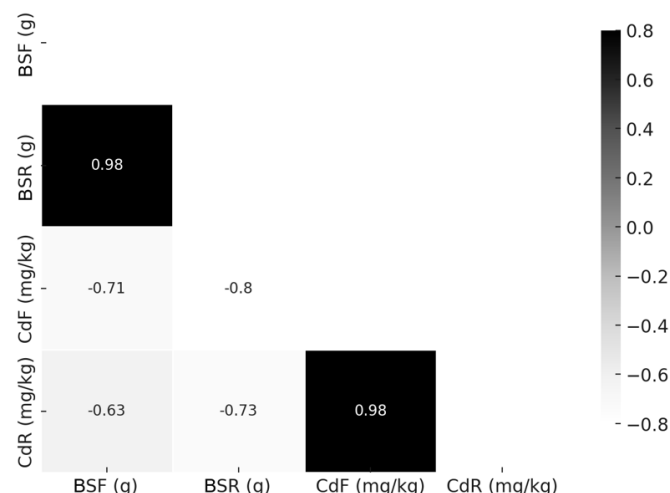


Figura 3. Matriz de correlación entre variables de biomasa seca y concentración de cadmio. BSF: biomasa seca foliar; BSR: biomasa seca de la raíz; CdF: cadmio foliar; CdR: cadmio en la raíz.

Por otra parte, hubo una correlación negativa moderada entre la biomasa seca foliar y la concentración de Cd en las hojas ($r = -0,746$). Esto implicó que a medida que aumentó la concentración de Cd en las hojas, la biomasa seca foliar tendió a disminuir.

Esta relación fue coherente con el efecto tóxico del Cd, que inhibió el crecimiento y desarrollo de las plantas al interferir con la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos

claves. Por lo tanto, una mayor absorción de Cd se asoció con una reducción en el crecimiento foliar (Aslam et al., 2023).

Similar a la relación anterior, la correlación negativa entre la biomasa seca foliar y la concentración de Cd en las raíces ($r = -0,709$) indicó que un mayor contenido de Cd en las raíces también se asoció con una reducción en la biomasa seca foliar.

La correlación negativa entre la biomasa seca de la raíz y la concentración de Cd en las hojas ($r = -0,8$) sugirió que un aumento en la absorción de Cd en las hojas se asoció con una reducción en el desarrollo radical. Dado que el sistema radical es esencial para la absorción de agua y nutrientes, la presencia de Cd puede dañar las raíces, reduciendo así su biomasa y afectando la capacidad de la planta para sostener un crecimiento saludable (Kumar et al., 2024).

Existe una correlación negativa moderada entre la biomasa seca de la raíz y la concentración de Cd en las raíces ($r = -0,73$). Esto indicó que un mayor contenido de Cd en las raíces se asoció con una disminución en la biomasa radical. Este resultado fue consistente con la toxicidad del Cd, que puede dañar las raíces directamente, afectando su desarrollo y función (Mongkhonsin et al., 2018).

La correlación positiva muy fuerte ($r = 0,98$) entre la concentración de Cd en las hojas y en las raíces indicó que, en general, a medida que aumentó la acumulación de Cd en las raíces, también lo hizo en las hojas. Esto sugirió que las plantas con una alta capacidad de absorción de Cd tendieron a translocar este metal desde las raíces hacia las hojas, lo que podría ser un mecanismo para minimizar el daño radical pero que, a su vez, expuso a los tejidos foliares al estrés por Cd (Zhang et al., 2024).

Conclusión

Se evidencia que el calcio y la materia orgánica desempeñan un papel clave en la reducción de la disponibilidad de cadmio en el suelo, puesto que el calcio compite directamente como catión y la materia orgánica favorece la formación de complejos insolubles con los metales; sin embargo, la influencia del pH, inversamente relacionada con la solubilidad de los metales pesados, es un factor crítico que también debe considerarse en la disponibilidad de estos elementos.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Alloway, B. J. (Ed.). (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Vol. 22. Springer Science & Business Media.

- Andrade, K., Rivera-Fernández, R. D., y Cuenca, E. C. (2023). Efecto de distintos niveles de fertilización en el comportamiento agronómico del frejol caupi INIAP-463. *La Técnica*, 13(2), 61-66. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i2.5375>
- Angon, P. B., Islam, M. S., Kc, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., and Suchi, S. A. (2024). Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10(7), e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
- Anwar, T., Qureshi, H., Jabeen, M., Zaman, W., and Ali, H. M. (2024). Mitigation of cadmium-induced stress in maize via synergistic application of biochar and gibberellic acid to enhance morpho-physiological and biochemical traits. *BMC Plant Biology*, 24(1), 192. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04805-2>
- Arispe, J. L., Sánchez, A., y Galindo, M. E. (2019). Presencia de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera:Crambidae) en Tepalcingo, Morelos, México, con evaluación del daño causado en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Chilena de Entomología*, 45(4). <https://www.biotaxa.org/rce/article/view/57568>
- Aslam, M. M., Okal, E. J., and Waseem, M. (2023). Cadmium toxicity impacts plant growth and plant remediation strategies. *Plant Growth Regulation*, 99(3), 397-412. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00917-7>
- Bektas, H., Hohn, C. E., Lukaszewski, A. J., and Waines, J. G. (2023). On the possible trade-off between shoot and root biomass in wheat. *Plants*, 12(13), 2513. <https://doi.org/10.3390/plants12132513>
- Cai, Y., Wang, X., Beesley, L., Zhang, Z., Zhi, S., and Ding, Y. (2021). Cadmium uptake reduction in paddy rice with a combination of water management, soil application of calcium magnesium phosphate and foliar spraying of Si/Se. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50378-50387. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13512-6>
- Chen, Q., Wang, L., Li, B., He, S., Li, Y., He, Y., Liang, X., and Zhan, F. (2024). Remediation of cadmium and lead in mine soil by ameliorants and its impact on maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agronomy*, 14(2), 372. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020372>
- Choong, G., Liu, Y., and Templeton, D. M. (2014). Interplay of calcium and cadmium in mediating cadmium toxicity. *Chemico-Biological Interactions*, 211, 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.01.007>
- Choudhary, S. P., Bhardwaj, R., Gupta, B. D., Dutt, P., Gupta, R. K., Biondi, S., and Kanwar, M. (2010). Epibrassinolide induces changes in indole-3-acetic acid, abscisic acid and polyamine concentrations and enhances antioxidant potential of radish seedlings under copper stress. *Physiologia Plantarum*, 140(3), 280-296. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01403.x>
- Daripa, A., Malav, L. C., Yadav, D. K., and Chattaraj, S. (2023). Metal contamination in water resources due to various anthropogenic activities. (pp. 111-127). In: *Metals in water*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116189>
- Fang, X., Lee, X., Twagirayezu, G., Cheng, H., Lu, H., Huang, S., Deng, L., Ji, B. (2024). A critical review of the effectiveness of biochar coupled with arbuscular mycorrhizal fungi in soil cadmium immobilization. *Journal of Fungi*, 10(3), 182. <https://doi.org/10.3390/jof10030182>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., and Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Hayat, M. T., Nauman, M., Nazir, N., Ali, S., and Bangash, N. (2019). Environmental hazard of cadmium: past, present, and future. (pp. 163-183). In: *Cadmium toxicity and tolerance in plants*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00007-3>
- Hembrom, S., Singh, B., Gupta, S. K., and Nema, A. K. (2020). A comprehensive evaluation of heavy metal contamination in foodstuff and associated human health risk: a global perspective. *Contemporary environmental issues and challenges in era of climate change*. pp. 33-63. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9595-7_2
- Kaleem, M., Shabir, F., Hussain, I., Hameed, M., Ahmad, M. S. A., Mehmood, A., Ashfaq, W., Riaz, S., Afzaal, Z., Faisal Maqsood, M., Iqbal, U., Shah, S., and Irshad, M. (2022). Alleviation of cadmium toxicity in *Zea mays* L. through up-regulation of growth, antioxidant defense system and organic osmolytes under calcium supplementation. *Plos One*, 17(6), e0269162. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269162>
- Kumar, R., Kumar, V., Tandon, V., Kumar, S., and Roohi, T. (2024). Effect and responses of cadmium in plants. (pp. 327-347). In: *Cadmium Toxicity in Water: Challenges and Solutions*. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54005-9_13
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., and Han, W. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>



- Luo, M., Cao, H. M., Fan, Y. Y., Zhou, X. C., Chen, J. X., Chung, H., and Wei, H. Y. (2019). Bioaccumulation of cadmium affects development, mating behavior, and fecundity in the Asian Corn Borer, *Ostrinia furnacalis*. *Insects*, 11(1), 7. <https://doi.org/10.3390/insects11010007>
- Mazhar, M. W., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Ajaib, M., Hussain, I., Hussain, T., Parveen, A., Thind, S., Sardar, T., Akram, R., Azeem, M., and Gul, A. (2023). Synergistic application of calcium oxide nanoparticles and farmyard manure induces cadmium tolerance in mungbean (*Vigna radiata* L.) by influencing physiological and biochemical parameters. *PLoS One*, 18(3), e0282531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282531>
- Mongkhonsin, B., Nakbanpote, W., Meesungnoen, O., and Prasad, M. N. V. (2018). Adaptive and tolerance mechanisms in herbaceous plants exposed to cadmium. In: *Cadmium toxicity and tolerance in plants: From physiology to remediation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00004-8>
- Pedraza, E. T., y Rojas, M. Á. H. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2), 69-78. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.365>
- Peña-Becerril, J. C., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F. J., y Orozco-Almanza, M. S. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2), 91-98. <https://www.redalyc.org/pdf/432/43220804.pdf>
- Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., and Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutant affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
- Rouf Shah, T., Prasad, K., and Kumar, P. (2016). Maize -A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1166995. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Safari Sinegani, M., Manzoor, M., and Mühling, K. H. (2024). Calcium-associated anions play a dual role in modulating cadmium uptake and translocation in wheat. *Pollutants*, 4(3), 340-349. <https://doi.org/10.3390/pollutants4030023>
- Sui, F., Yang, Y., Wu, Y., Yan, J., Fu, H., Li, C., Qin, S., Wang, L., Zhang, W., Gao, W., Liu, H., and Zhao, P. (2024). Cadmium minimization in grain of maize and wheat grown on smelting-impacted land ameliorated by limestone. *Toxics*, 12(8), 532. <https://doi.org/10.3390/toxics12080532>
- Varma, A., Prasad, R., and Tuteja, N. (Eds.). (2017). *Mycorrhiza-eco-physiology, secondary metabolites, nanomaterials*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57849-1>
- Zhang, S., Li, Q., Nazir, M. M., Ali, S., Ouyang, Y., Ye, S., and Zeng, F. (2020). Calcium plays a double-edged role in modulating cadmium uptake and translocation in rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8058. <https://doi.org/10.3390/ijms21218058>
- Zhang, X., Yang, M., Yang, H., Pian, R., Wang, J., and Wu, A. M. (2024). The uptake, transfer, and detoxification of cadmium in plants and its exogenous effects. *Cells*, 13(11), 907. <https://doi.org/10.3390/cells13110907>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Ana Karen Cobeña Loo: conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Jéssica Jessenia Morán Morán:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.



Determinación de la composición química del aceite esencial de residuos de hojas de Arazá (*Eugenia stipitata*) y posibles aplicaciones agroindustriales

Determination of the chemical composition of the essential oil from Arazá (*Eugenia stipitata*) leaf residues and possible agroindustrial applications

Autores

***Angélica María Tasambay Salazar**

✉ atasambay@uea.edu.ec

Byron Giovanni Hidalgo Olmedo

✉ byron_18hidalgo@hotmail.es

Jannys Lizeth Rivera Barreto

✉ jl.riverab@uea.edu.ec

Sting Brayan Luna Fox

✉ stingfox03@gmail.com

Luis Ramón Bravo Sánchez

✉ lbravo@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica. Puyo,
Pastaza, Ecuador.

Citación sugerida: Tasambay Salazar, A. M., Hidalgo Olmedo, B. G., Rivera Barreto, J. L., Luna Fox, S. B. y Rivera Barreto, J. L. (2025). Determinación de la composición química del aceite esencial de residuos de hojas de Arazá (*Eugenia stipitata*) y posibles aplicaciones. *La Técnica*, 15(1), 9-20. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.7000>

Recibido: Septiembre 20, 2024

Aceptado: Noviembre 27, 2024

Publicado: Enero 26, 2025

Resumen

El aprovechamiento de residuos vegetales es un tema de interés actual debido a las afectaciones que provocan en el ambiente. Los residuos de las hojas de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) no son aprovechados en Ecuador y en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica, ubicado en el cantón Santa Clara, provincia de Pastaza se obtiene una cantidad significativa de residuos de este tipo de cultivo, por lo cual el objetivo del estudio fue determinar la composición química de su aceite esencial, utilizando tres métodos de extracción, para evaluar la efectividad de estos métodos en términos de rendimiento y establecer sus posibles aplicaciones en el área agroindustrial. Se utilizó para la extracción del aceite esencial tres métodos: arrastre con vapor, maceración y extracción asistida por ultrasonido; para determinar los componentes químicos se empleó la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Los resultados determinaron que la extracción asistida por ultrasonido resultó ser más eficiente, con un rendimiento del 2,17%, se identificaron como componentes mayoritarios fenoles (47,75%), hidrocarburos (35,51%), ácidos y ésteres (6,10%); en la destilación por arrastre con vapor aunque menos eficiente en términos de rendimiento 0,01%, se identificaron terpenos (57,57%), alcoholes y otros compuestos (36,57%), sesquiterpenos (5,85%); y en el caso de la maceración dio un 1,5% de rendimiento, se identificaron fenoles (75,84%), ésteres y ácidos (12,91%) y amidas (6,17%). Esta composición rica de componentes bioactivos destaca su importancia como residuo por sus aplicaciones a nivel de la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y fitosanitaria.

Palabras clave: procesos de extracción, rendimiento, aceites esenciales, arazá, composición química.

Abstract

The use of plant waste is a topic of current interest due to the environmental effects it causes on the environment. The waste from the leaves of Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) is not used in Ecuador and in the Amazonian Experimental Research and Production Center, located in the canton of Santa Clara, province of Pastaza, a significant amount of waste is obtained from this type of crop, therefore the objective of the study was to determine the chemical composition of its essential oil, using three extraction methods, to evaluate the effectiveness of these methods in terms of performance and establish their possible applications in the agroindustrial area. Three methods were used to extract the essential oil: steam drag, maceration and ultrasound-assisted extraction; to determine the chemical components, gas chromatography coupled to mass spectrometry was used. The results determined that ultrasound-assisted extraction turned out to be more efficient, with a yield of 2.17%, phenols (47.75%), hydrocarbons (35.51%), acids and esters (6.10%) were identified as major components; In steam distillation, although less efficient in terms of 0.01% yield, terpenes (57.57%), alcohols and other compounds (36.57%), sesquiterpenes (5.85%) were identified; and in the case of maceration it gave a 1.5% yield, phenols (75.84%), esters and acids (12.91%) and amides (6.17%) were identified. This rich composition of bioactive components highlights its importance as waste due to its applications in the food, pharmaceutical, cosmetic and phytosanitary industries.

Keywords: extraction processes, yield, essential oils, 'Arazá', chemical composition.



Introducción

El cuidado del ambiente es una prioridad a nivel global, por lo cual resulta indispensable el aprovechamiento de los residuos resultantes de las actividades agroalimentarias de frutos, que no tienen ningún uso (González-Díaz y Véliz-Jaime, 2020). Los residuos producidos luego de la cosecha de diferentes frutos o la poda de árboles pueden ocasionar graves problemas por su disposición en el mismo terreno lo cual, a su vez, dificulta el control de plagas al cultivo. Por otra parte, si se disponen en rellenos sanitarios origina costos elevados adicionales (Orrego et al., 2020). Un ejemplo de ello se presenta en la cadena productiva del fruto de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) en Ecuador, en la cual se producen residuos resultantes de la poda de las hojas, los cuales no son aprovechados y que se podrían considerar en una valiosa materia prima para la obtención de subproductos con valor agregado para la obtención de aceites esenciales, que pueden tener diversas aplicaciones industriales (González-Díaz y Véliz-Jaime, 2020).

El arazá es un arbusto cuyo fruto es conocido por su exquisito aroma y su potencial aplicación en productos medicinales y gastronómicos. Esta planta, cuando se cultiva de forma extensiva para la producción de su fruto, es sometida a podas periódicas y el follaje residual está disponible, lo cual permitirá ser aprovechado para la extracción de aceites esenciales que ofrezcan una amplia gama de beneficios y aplicaciones (Pardo et al., 2023; Rodilla et al., 2024). El arazá (*E. stipitata*) es un fruto nativo de la región amazónica occidental, que pertenece a la familia Myrtaceae, se cultiva en varios países como Ecuador, Brasil, Perú, Bolivia, Costa Rica y Colombia. En Ecuador los cultivos de arazá están en las regiones de la costa-sierra y oriente (Reyes-Álvarez y Lanari, 2020).

Los aceites esenciales obtenidos de los frutos o algunas otras partes de la planta, son compuestos con un aroma agradable, son considerados como subproductos muy importantes que pueden ser empleados para diferentes fines acorde a sus características como en la industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Tekin et al., 2015). Son compuestos bioactivos con efectos antimicrobianos, antioxidantes, antifúngicos, antivirales (Ferrari et al., 2019; Rodilla et al., 2024). Actualmente en la agroindustria, la extracción de aceites esenciales a partir de nuevas fuentes vegetales resulta de gran importancia e interés para la fabricación de productos de alto valor agregado, no solamente por sus características desde el punto de vista organoléptico, sino también por sus propiedades útiles en otras áreas de la industria (Paucarchuco et al., 2023).

Sería interesante entonces extraer aceites esenciales a partir de las hojas del árbol de Arazá (*E. stipitata*), que se producen en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica

(CEIPA) y a través de la determinación de su composición química poder recomendar posibles usos a los residuos de la poda, que hasta el momento solo ocasionan impactos negativos al ambiente.

En caso de que los residuos de las hojas de Arazá fuesen adecuados para la producción de aceites esenciales con alto valor agregado, sería posible ofrecer una solución innovadora que contribuya a satisfacer las necesidades actuales de la población (Chen et al., 2022). En el cultivo de Arazá se pueden realizar tres tipos de poda, como son: la poda de formación y conformación, las podas fitosanitarias y de limpieza, y la poda renovación: que se realiza cuando las condiciones fisiológicas lo requieran (Hernández et al., 2006). La ausencia de investigaciones sobre el aprovechamiento de los residuos de las hojas de Arazá, representa un desafío significativo para definir sus posibles aplicaciones. Teniendo en cuenta estos antecedentes se formularon dos objetivos:

1. Evaluar los métodos de extracción de aceites esenciales a partir de las hojas de arazá utilizando destilación por arrastre de vapor (AV), extracción mediante maceración (MC) y la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), con el propósito de definir el método más eficiente considerando su rendimiento.
2. Determinar la composición de los extractos según el método de extracción utilizado, mediante la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas, con vistas a determinar los posibles usos o aplicaciones agroindustriales de los compuestos mayoritarios.

Materiales y métodos

Ubicación del estudio: la investigación se realizó en la Amazonía ecuatoriana, en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), en el cantón Santa Clara, localizado en la provincia de Pastaza, Ecuador. Se encuentra a una altitud de 940 msnm, con coordenadas geográficas GCS WGS 84; 1°14'19,46" S y 77°53'8,25" W de longitud. Los análisis de los métodos de extracción y de composición química se realizaron en los laboratorios de Química y Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica.

Preparación del material vegetal para la extracción: las muestras de residuos de las hojas de arazá se recolectaron del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA) en los meses de abril y mayo de 2024. Se seleccionaron las hojas libres de impurezas, limpias que no contenían daños de insectos o cualquier otro tipo de material contaminante. Se pesó el material vegetal previo a las extracciones para luego realizar el cálculo del rendimiento del aceite esencial obtenido por cada 100 g de material fresco (Stegmayer et al., 2021).

Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor: se utilizaron 8 kg de residuos de hojas de Arazá con 10 litros de agua, en un extractor de vapor artesanal, a escala industrial de acero de 200 litros de capacidad. La base del extractor tiene una malla que separa el agua de las hojas, generando un flujo de vapor a través de la materia vegetal, suavizando las células y permitiendo que los aceites esenciales escapen en forma de vapor. Los vapores que ascendieron se enfriaron y se condensaron, obteniéndose un destilado líquido formado por una bicapa, la fase acuosa y la fase orgánica. La extracción duró tres horas, obteniéndose un aceite esencial de una elevada pureza según las condiciones recomendadas en Božović et al. (2017) y Wedamulla et al. (2022). Para separar la fase orgánica que correspondió al aceite esencial se utilizó un embudo de decantación de 500 mL. Con el aceite esencial obtenido se determinó su biomasa correspondiente para realizar el cálculo de rendimiento (Cedeño et al., 2023).

Rendimiento del aceite esencial: para el cálculo del rendimiento de la extracción se utilizó la ecuación (1) y se expresó como porcentaje (p/p) de aceite extraído (Nolazco et al., 2020). El aceite esencial se colocó en un recipiente de color ámbar en refrigeración para su conservación protegido de la luz (Melo-Guerrero et al., 2020).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso aceite esencial extraído}}{\text{Peso inicial residuos de hojas}} \times 100 \quad (1)$$

Extracción de aceite esencial por maceración: los residuos de hojas de Arazá se secaron previamente en una estufa (BINDER de serie ED) a 30 °C por 72 horas, se molieron en un molino (Thomas Wiley USA, Modelo 4), se pesaron 25,01 g y luego se colocaron en un balón de vidrio de 600 mL, se adicionaron 500 mL de hexano como solvente y se tapó herméticamente. Se dejó en reposo durante 48 horas, se agitó ocasionalmente para que el disolvente se difundiera en la pared celular y pueda solubilizar los constituyentes presentes en el material vegetal. Posteriormente se filtró el líquido para separar el material vegetal sólido del extracto soluble, se efectuó una compresión sobre el material sólido para recuperar la mayor cantidad de solución ocluida, condiciones recomendadas en (Rasul, 2018; Melo-Guerrero et al., 2020; Wedamulla et al., 2022). El extracto se concentró para obtener el aceite esencial utilizando un evaporador rotatorio (Yamato RE-200) a 60 °C. Finalmente se pesó para determinar su rendimiento. El aceite se colocó en un frasco de color ámbar en refrigeración para su conservación protegido de la luz (Cedeño et al., 2023).

Extracción de aceite esencial asistida por ultrasonido: los residuos de hojas de Arazá se trataron de igual manera que en su fase preliminar de preparación de la muestra para la extracción por maceración, se molieron y pesaron 25,15 g y se colocaron en un balón de vidrio de 600 mL con 500 mL de hexano como disolvente. El balón con esta mezcla se colocó en el equipo de extracción asistida por ultrasonido (Branson 3800, modelo BGK0515659205) a la temperatura de 30 °C, se empleó el ultrasonido con una potencia de 110 W por una hora, condiciones

recomendadas en Paucarchuco et al. (2023) y Tekin et al. (2015). La extracción asistida por ultrasonido utiliza alta frecuencia con ondas sonoras que mejoran la extracción de compuestos. El ultrasonido en un líquido genera efectos sonoquímicos, que surgen de la presencia de la cavitación acústica. De esta manera el proceso de extracción mediante ondas genera la ruptura de la pared celular facilitando la entrada del disolvente al material por un mecanismo de cavitación ultrasónica (Ashaq et al., 2024). Transcurrido el tiempo de una hora se realizó una filtración al vacío para separar la mezcla líquida y material vegetal sólido. Luego de la filtración, el extracto se concentró eliminando el solvente en un evaporador rotatorio (Yamato RE 200) a 60 °C y se obtuvo el aceite esencial. Luego se pesó el aceite para determinar el rendimiento. Se conservó en un frasco ámbar en refrigeración (Melo-Guerrero et al., 2020; Tekin et al., 2015).

Los tres métodos de extracción del aceite esencial de las hojas de arazá fueron comparados y se verificó el mejor rendimiento obtenido en la extracción, se consideraron los factores que influyeron en cada tipo de extracción.

Determinación de la composición química del aceite esencial de los residuos de hojas de Arazá: se realizó de manera independiente con los aceites esenciales extraídos mediante los tres métodos de extracción, utilizando un cromatógrafo de gases, (Shimadzu, modelo GC-MS QP2020NX) equipado con un detector de espectrómetro de masas de simple cuadrupolo. Se utilizó una columna capilar con una fase estacionaria (5% difenil, 95% de dimetilpolisiloxano, de baja polaridad/bajo sangrado, de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno, y 0,25 µm de espesor, RTX5 MS). La temperatura programada que se empleó para la columna fue como sigue: Temperatura inicial, 50 °C durante 2 min, con un incremento de 15 °C·min⁻¹ hasta 140 °C por 2 min, luego se incrementó 5 °C·min⁻¹ hasta 180 °C por 3 min, adicionalmente un incremento de 10 °C·min⁻¹ hasta 270 °C mantenido por 10 min. Se fijaron las condiciones óptimas de trabajo en las determinaciones como: 1 µL de volumen de inyección, temperatura del inyector 250 °C, 1,25 mL·min⁻¹ de flujo del gas de arrastre (He), Inyector "Split/Splitless" (tiempo de "splitless" 1 min).

Los parámetros del espectrómetro de masas fueron: 270 °C de temperatura de interfase; 280 °C de la fuente de iones; barrido de masas en el rango de 15-400 m·z⁻¹; velocidad.; 1428 scan·seg⁻¹ y el tiempo total de corrida 40 minutos. La muestra de análisis de aceite esencial por cada método de extracción se preparó con un volumen de 0,1 mL de aceite esencial, se aforó con hexano en un matraz de 5 mL y se filtró con una membrana de 0,45 µm y finalmente se inyectaron en el equipo. Para la identificación y caracterización cromatográfica de los principales compuestos químicos por cada método de extracción, se compararon los tiempos de retención y los patrones de fragmentación de los espectros de masas de los picos experimentales más abundantes con la base de datos que dispone el equipo Biblioteca de Espectros de Masas del NIST. Posteriormente se realizó una clasificación mediante una reagrupación de los compuestos

volátiles identificados y se compararon los constituyentes obtenidos en cada método de extracción.

Determinación de las posibles aplicaciones del aceite esencial extraído de las hojas de Arazá: una vez clasificados e identificados los componentes mayoritarios por cada método de extracción se realizó una valoración de las posibles aplicaciones en la agroindustria tomando como referencia la revisión bibliográfica de estudios previos de aceites esenciales extraídos de diferentes muestras vegetales con potenciales aplicaciones.

Resultados y discusión

Evaluación de los métodos de extracción de aceites esenciales a partir de las hojas de arazá: en la tabla 1 se muestran los rendimientos en bruto y ajustados del aceite esencial obtenidos a partir de los residuos de hojas de arazá, el rendimiento ajustado correspondió a la exclusión de los componentes químicos que estaban fuera del perfil lipídico para cada método utilizado. Se observó que el método con mejor rendimiento fue la extracción asistida por ultrasonidos con un 2,17%, que ratificó ser uno de los métodos de mejor eficiencia de extracción en comparación con los métodos convencionales, además de ser un proceso verde como se reportó en Ashaq et al. (2024). Mediante la extracción de arrastre con vapor se obtuvo el menor porcentaje de rendimiento y que resultó también ser inferior a los datos reportados en otros residuos vegetales como en cáscara de mandarina (epicarpo; Briones-Sornoza et al., 2019).

Tabla 1. Rendimiento por método de extracción del aceite esencial a partir de los residuos de hojas de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh).

Métodos de extracción	Residuos hojas de Arazá (g)	Rendimiento bruto (%)	Rendimiento ajustado (%)
Arrastre con vapor (AV)	8.000	0,01	0,01
Maceración (MC)	25,01	2,72	1,51
Asistida por ultrasonido (UAE)	25,15	3,34	2,17

Considerando las condiciones de trabajo en cada método de extracción, aquel con más tiempo de operación fue la maceración, que empleó 48 horas debido a la necesidad de mayor tiempo de contacto entre el material vegetal y el disolvente y se obtuvo un rendimiento con un valor intermedio entre los métodos analizados (1,51%). En la maceración un aspecto favorable del método fue la reducción del riesgo de la descomposición de los componentes extraídos por el uso del disolvente frío; sin embargo, se visualizaron algunos aspectos desfavorables en comparación

al uso del método moderno asistido por ultrasonidos, como fue una disminución del rendimiento de extracción, un consumo de cantidades significativas de disolventes que pueden ocasionar riesgos a la salud. El método por arrastre de vapor fue más rápido con 3 horas de operación en comparación a la maceración (tabla 2); sin embargo, el rendimiento fue el más bajo de los tres métodos empleados.

Tabla 2. Tiempos de extracción de aceites esenciales de residuos de hojas de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) por método empleado.

Parámetro	Métodos de extracción		
	Arrastre por vapor	Maceración	Asistida por ultrasonido
Tiempo de extracción (h)	Moderado	Largo	Corto
	3	48	1
Solvente (mL)	Agua	Hexano	Hexano
	10	0,5	0,5

Por otro lado, el método asistido por ultrasonido se realizó en un tiempo menor a los otros métodos, solamente en una hora, y presentó la mejor eficiencia de los tres métodos, el rendimiento fue superior al obtenido en otros estudios realizados en Portugal utilizando hidrodestilación (0,35%) (Medeiros et al., 2003). También fue superior al rendimiento obtenido en las hojas de Arazá según estudio realizado en Brasil, con un 0,2% (Jerônimo et al., 2021). La extracción asistida por ultrasonidos fue un método que permitió observar un mejor proceso de extracción sólido-líquido; con el uso de hexano, se logró una extracción más completa y con el mejor rendimiento de extracción de aceite, comparada con los otros dos métodos convencionales empleados.

Se observó una correlación entre el tiempo de extracción y el rendimiento, para obtener un elevado rendimiento de extracción, se requiere una mejor retención de la biomasa en el hexano que fue lograda por el método asistido por ultrasonido. Los métodos de extracción del aceite esencial pueden ser seleccionados según los objetivos de la producción de aceite esencial de los residuos de hojas de arazá para su uso, independientemente del tiempo de extracción (Cedeño et al., 2023).

Identificación de los componentes químicos: se realizó la identificación de los componentes químicos volátiles del aceite esencial mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de espectrómetro de masas. Se evaluó la variabilidad en la composición química por cada método de extracción, realizando una clasificación de los componentes acorde a sus propiedades

químicas, así como también se visualizaron los componentes de mayor concentración (Cedeño et al., 2023).

Extracción por arrastre con vapor: se identificaron 43 compuestos a diferentes tiempos de retención en un intervalo de 40 minutos de corrida cromatográfica (tabla 3). Los componentes químicos más abundantes fueron los terpenos con 57,57% a continuación, se encontraron los alcoholes y otros compuestos con 36,57% y finalmente los sesquiterpenos con un 5,85%. Esta composición resultó tener variaciones con relación a los componentes químicos encontrados; en otros estudios realizados en Perú, también en hojas de Arazá reportaron un alto porcentaje para fenoles seguido de triterpenos, taninos, flavonoides, saponinas y proteínas (Tenorio y Muñoz, 2021). Estas diferencias de composición con otros estudios pueden ser atribuidas a las condiciones geográficas, estado de madurez de la planta, forma de cultivo e incluso condiciones climáticas como se mencionó en otras investigaciones efectuadas con aceites esenciales (Ruiz et al., 2015). Estudios realizados en Brasil con el fruto de arazá determinaron un patrón complejo de sesquiterpenos, que fueron los compuestos que predominaron preferentemente en frutos amazónicos, siendo el germacrene D el compuesto principal con un 38%, un valor superior al encontrado en las hojas de arazá con un 3,76% (Franco y Shibamoto, 2000).

La composición química obtenida sugiere que el aceite esencial de los residuos de hojas de Arazá posee un perfil aromático rico y complejo, con una elevada concentración de compuestos bioactivos, siendo el compuesto de mayor concentración Propane, 2,2-dimethyl- (19,93%), un hidrocarburo, luego viene germacrene B (8,11%) seguido de caryophyllene (6,75%), δ -Cadinene (5,21%) y guaiol (4,70%), copaene (4,35%), γ -Elemene (2,90%), β -Nerolidol (2,10%), α -Elemene (2,66%). Que si se comparan con los estudios realizados en Portugal en hojas de Arazá se verificó una diferencia en la composición y concentración de los componentes mayoritarios en el cual se detectó E-caryophyllene (22,7%) y caryophyllene oxide (15,4%) y otros componentes diferentes germacrene D (11,8%) and Z- α -bisabolene (8,38%) en elevada concentración, y además algunos componentes comunes como δ -Cadinene (5,7%) Caryophyllene oxide (2,6%), δ -Elemene (1,9%), α -Copaene (1,7%), β -Elemene (0,6%), γ -Elemene (0,2%), Germacrene B (0,3%), E-Nerolidol (0,8%) en Jerônimo et al. (2021) cuyas concentraciones fueron menores a las determinadas en los residuos de hojas de Arazá del CEIPA en Ecuador.

Esta composición de componentes químicos es muy valiosa puede tener aplicaciones en diversas industrias para muchos propósitos importantes como se determina estudios realizados en productos naturales (Eddin et al., 2021; Rodilla et al., 2024). Siendo los terpenos el grupo de compuestos mayoritarios, éstos compuestos son los responsables de aromas y sabores característicos de las plantas que pueden ser empleados por sus diferentes propiedades como colorantes, saborizantes, aromáticas, antioxidantes, antibióticos, antitumorales, e incluso insecticidas (Schrader y Bohlmann, 2015).

Tabla3. Componentes químicos identificados en el aceite esencial de residuos de hojas de Arazá obtenidos por el método AV por CG-EM.

No. pico	Componentes	TR (min)	% A
1	Propane, 2,2-dimethyl-	2,145	19,93
2	Cyclopentane, methyl	2,710	0,63
3	Limonene	6,699	1,89
4	γ -Elemene	11,071	2,90
5	Cubebene <alpha-> (11.321 min)	11,321	2,47
6	Copaene	11,872	4,35
7	β -Elemene	12,059	2,66
8	Gurjunene <alpha->	12,510	1,47
9	Caryophyllene	12,723	6,75
10	Elemene <gamma->	12,833	1,84
11	cis-alpha.-Bergamotene	12,927	0,86
12	α -Guaiene	12,991	1,20
13	Aromadendrene	13,063	2,40
14	Cadina-3,5-diene	13,205	0,45
15	1,4,7,-Cycloundecatriene, 1,5,9,9-tetramethyl-, Z,Z,Z-	13,316	2,45
16	Caryophyllene <9-epi-(E)->	13,451	0,94
17	Ishwarane	13,560	0,47
18	Cadinene <gamma->	13,695	1,96
19	(-)-Germacrene D	13,839	3,76
20	(+)- β -Selinene	13,955	1,53
21	Isoledene	14,050	1,32
22	Germacrene B	14,216	8,11
23	Cyperene	14,390	0,61
24	Cadinene <gamma->	14,445	0,61
25	Cadinene <delta->	14,654	5,21
26	Aristolene	14,753	0,63
27	Cadina-1,4-diene <trans->	14,827	0,87
28	Maaliene <beta->	14,917	0,92
29	β - Nerolidol	15,299	2,10
30	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethylidene)- (E,E)	15,367	0,67
31	β -Maaliene	15,444	1,23
32	Sphatulenol	15,632	1,42
33	Caryophyllene oxide	15,764	0,75
34	(-)-Globulol	15,863	1,83
35	Guaiol	16,114	4,57
36	Rosifoliol	16,208	0,52
37	Viridiflorol	16,280	0,47
38	Selina-4,7 diol	16,616	0,62
39	Murolol <alpha-, epi->	16,947	1,07
40	Cadin-4-en-10-ol	17,208	1,10
41	trans-sesquisabinene hydrate	17,547	2,73
42	Henicos-1-ene	18,041	0,79
43	trans-Farnesyl acetato	21,694	0,93

TR: tiempo de retención; A: % área



Extracción por maceración: se identificaron nueve componentes químicos en una corrida cromatográfica de 40 minutos, con un porcentaje de área significativo correspondiente al compuesto 7, Bisalkofen BP con 75,84%, seguido del compuesto 8 que es el 2-Palmitoylglycerol con 9,06% y el compuesto 6 que correspondió a N,N-Dimethylpalmitamide con 6,16%, como se muestra en la tabla 4. Se determinó que los componentes mayoritarios estuvieron clasificados en tres grupos que fueron los compuestos fenólicos (75,84%), ésteres y ácidos (12,91%), amidas (6,17%), en menor proporción se encontraron compuestos nitrogenados (3,48%) e hidrocarburos (1,62%). Se destacó de esta manera la importancia de la presencia de compuestos fenólicos en las hojas de arazá, estudios realizados en el fruto y semillas de *E. stipitata* evidenciaron también un elevado contenido de compuestos fenólicos especialmente en la semilla y por consiguiente una gran capacidad antioxidante, aspecto que también es de interés debido a que esta fracción es generalmente desechada en el consumo y también en el procesamiento de esta fruta como tal.

Los compuestos fenólicos son sustancias sintetizadas en el metabolismo secundario de las plantas, están catalogados como compuestos no nutritivos, se encuentran en pequeñas cantidades en vegetales y frutos, juegan un papel prometedor en la prevención de enfermedades (de Araújo et al., 2021). Existen estudios que evidencian la relación de la dieta diaria con enfermedades crónicas, de esta manera resulta esencial la búsqueda de fuentes de compuestos fenólicos vegetales, y que actualmente está en incremento, debido a que muchos de ellos tienen aplicaciones bioactivas importantes, como antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, anti-obesidad, antitumorales, entre otras (de Araújo et al., 2019).

Tabla 4. Componentes químicos identificados en el aceite esencial de residuos de hojas de Arazá obtenidos por el método MC por CG-EM

No. Pico	Componentes	TR (min)	%A
1	Diethyl hexylmalonate	5,841	0,29
2	Oxalic acid, di(cyclohexylmethyl) ester	7,351	0,92
3	cis-3-hexyl tiglate	9,379	0,58
4	3',7'-Dimethyloct-6'-enyl-13-methyl-2-oxopentadecanoate	22,671	2,06
5	Phytane	22,964	1,62
6	N,N-Dimethylpalmitamide	28,288	6,17
7	Bisalkofen BP; Antioxidant 2246	29,855	75,84
8	2-Palmitoylglycerol	30,850	9,06
9	5-Amino-1-methyl-1H-pyrazole-4-carboxamide, 3TMS	30,974	3,48

TR: tiempo de retención; A: % de área

Extracción asistida por ultrasonido: se identificaron 48 componentes químicos en una corrida cromatográfica de 40 minutos como se indica en la (tabla 5), el componente que predomina significativamente corresponde al Bisalkofen BP (47,75%), seguidos de otros componentes mayoritarios importantes, que corresponden a 2-Palmitoylglycerol (4,54%), Dodecane (4,52%), n-Heptatriacontane (4,02%), Tetracosyl acetato 1,88%, Tridecane 1,85%, Cyclopentasiloxane decamethyl- (1.78).

Tabla 5. Componentes químicos identificados en el aceite esencial de residuos de hojas de Arazá obtenidos por el método UAE por CG-EM.

No. Pico	Componentes	TR (min)	%A
1	Cyclohexane, (2-methylpropyl)-	5,489	0,32
2	Cyclohexane, 1-ethyl-2-propyl-	5,796	0,42
3	Cyclohexane, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	5,923	0,35
4	(2E)-5-Methyl-2-undecene	6,060	0,53
5	Decano	6,421	1,68
6	Oxalic acid, 2-ethylhexyl pentyl ester	6,724	0,63
7	Cyclohexane, undecyl-	6,800	0,52
8	1-Stearoyl-1H-imidazole	6,867	1,12
9	Naphthalene, decahydro-, trans-	7,076	0,73
10	Heptane, 2,5,5-trimethyl-	7,176	0,38
11	2-Methyltetracosane	7,219	0,80
12	5-Isobutylnonano	7,296	0,47
13	Cyclohexane, 1-ethyl-1-methyl-(2,4-Dimethylcyclohexyl)methanol (isomer 3)	7,458	0,40
14	(isomer 3)	7,521	0,61
15	Dodecane	7,635	4,32
16	Trans-Decalin, 2-methyl-	7,766	0,89
17	Dodecano	7,860	0,56
18	9-Eicosyne	7,963	1,10
19	Undecane, 2-cyclohexyl-	8,039	0,91
20	1-Hexadecanol, 3,7,11,15-tetramethyl-	8,162	0,45
21	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	8,216	0,58
22	Tridecano, 6 methyl-	8,284	1,07
23	Sulfurous acid, octadecyl pentyl ester	8,341	0,93
24	Undecane, 2-methyl-	8,394	1,11
25	Undecane, 3-methyl-	8,477	1,03

Tabla 5. Componentes químicos identificados en el aceite esencial de residuos de hojas de Arazá obtenidos por el método UAE por CG-EM. Continuación ...

26	Naphthalene, decahydro-1,6-dimethyl-	8,631	0,52
27	1,3-Dimethylcyclohexane	8,692	0,62
28	Cyclohexano, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethanediyl)bis-, (R*,R*)-(./-./-)-	8,739	0,40
29	Dodecane	8,841	4,52
30	Undecane,2,5-dimethyl-	9,056	1,16
31	Dodecane, 4-methyl-	9,165	0,34
32	Tridecane, 6 methyl-	9,595	0,40
33	Dodecane, 2-methyl-	9,770	0,58
34	Dodecane, 4,6-dimethyl-	10,113	0,62
35	Tridecane	10,356	1,85
36	1-Tetradecene	11,973	0,65
37	1-Decanol, 2-hexyl-	12,199	1,25
38	Hentriacontane <n->	14,282	0,80
39	11-Methyltricosane	24,234	0,43
40	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	27,551	1,37
41	Tetracosyl acetato	27,966	1,88
42	N,N-Dimethylpalmitamide	28,294	0,95
43	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	29,265	1,78
44	Bisalkofen BP; Antioxidant 2246	29,858	47,75
45	1-Docosanol, acetate	30,097	0,97
46	N,N-Dimethylpalmitamide	30,457	0,70
47	2-Palmitoylglycerol	30,852	4,54
48	Heptatriacontane <n->	37,336	4,02

TR: tiempo de retención; A: % de área

Los componentes químicos identificados se clasificaron en siete grupos de compuestos, que correspondieron a los fenoles 47,75%, hidrocarburos 35,51%, ácidos y ésteres 6,1%, alcoholes y otros compuestos 3,66%, siloxanos 3,15%, amidas 2,79% e imidazoles 1,07%, de los cuales los compuestos de mayor concentración fueron los fenoles, seguidos de hidrocarburos, los ácidos y ésteres. Esta composición se destacó por el contenido de fenoles, al igual que en la maceración; sin embargo, fue diferente a la encontrada en otros estudios realizados también en el aceite esencial de las hojas de Arazá obtenida por hidrodestilación, donde se detectaron sesquiterpenos y monoterpenos con E-caryophyllene (22,7%), caryophyllene oxide (15,4%), α -pinene (14,1%), 4,8 α -epoxy caryophyllene (10,9%) y germacrene D (5,64%) como compuestos más importantes.

Estas características de composición presentaron propiedades antibacteriales contra *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Pseudomonas aeruginosa* (Medeiros et al., 2003). De la misma manera la composición química del aceite de

las semillas del fruto de arazá efectuado en Colombia, también presentó diferencias significativas donde el limonene fue el componente principal, la mayoría de los compuestos volátiles fueron terpenos hidrocarbonados (90,4%), aldehídos alifático (7,1%). Esta diferencia en su composición puede ser atribuida, por la fracción del vegetal utilizada, el tipo de extracción utilizada y las condiciones ambientales (da Costa et al., 2020). Los terpenos presentes como el limonene le atribuyeron el olor ácido, mientras que los aldehídos como 9,17 octadecadienal, octanal, β -sinensal, α -sinensal, nonanal, decanal, undecanal, dodecanal, fueron responsables del olor acre a madera durante la destilación de vapor (Fajardo et al., 2022).

Comparación de la composición de aceites esenciales: los resultados obtenidos del análisis del aceite esencial de los residuos de las hojas de Arazá mediante los tres métodos de extracción arrastre con vapor, maceración y asistida por ultrasonidos, permitieron establecer claramente las diferencias en la composición química como se ha verificado en cada uno de los análisis (figura 1). Cada método de extracción influyó de manera característica en la composición de los compuestos volátiles del aceite esencial de los residuos de hojas de Arazá, ofreciendo un perfil químico que los direccionaron a diferentes aplicaciones (Rasul, 2018). La presencia de componentes bioactivos estuvo relacionada con factores como el tipo de especie, condiciones edafoclimáticas, parte componente de la planta, solventes utilizados, etc. (Acosta-Vega et al., 2024).

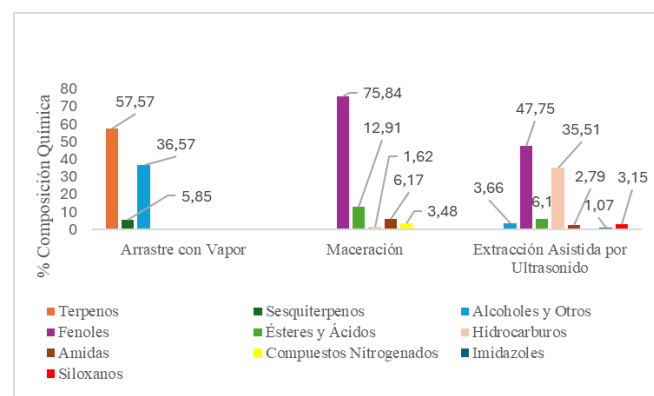


Figura 1. Comparación de compuestos químicos identificados en el aceite esencial.

El método de arrastre con vapor, un método convencional proporcionó altos niveles de terpenos 57,57%, la maceración y la extracción asistida por ultrasonido presentaron un alto contenido de fenoles (figura 1), que también destacó su importancia para su uso a nivel de agroalimentario, farmacéutica, cosmética, química entre otras. Los terpenos se pueden utilizar como elementos fundamentales de productos nutracéuticos y alimentos funcionales (González-López et al., 2016). En la composición del aceite esencial por arrastre con vapor se observó la presencia de Germanene B (8,11%), no detectado por los estudios en

Medeiros et al. (2003); pero con un valor menor en los residuos de hojas de Arazá comparados con 38,3% reportado en estudios con frutos de Arazá (Franco y Shibamoto, 2000). En el método de extracción de aceite esencial por maceración, que es otro método convencional, se evidenció una menor calidad de extracción debido al uso de hexano en la extracción del aceite esencial de las hojas de arazá, no se evidenciaron muchos de los compuestos importantes extraídos por arrastre con vapor como limonene, caryophyllene, entre otros.

Al comparar con el método de arrastre con vapor estas variaciones observadas pueden relacionarse con las limitaciones que tienen los métodos debido a la pérdida de componentes volátiles, la presencia de sustancias termosensibles, además que puede existir un arrastre de residuos del disolvente en el aceite esencial que pueden influir significativamente en su calidad y pureza final. En este aspecto, el método de arrastre a vapor se aproximó de mejor manera a la composición reportada en el aceite de las hojas de arazá realizado en Portugal y Brasil que fueron de los pocos estudios realizados en hojas de Arazá hasta el momento (Medeiros et al., 2003; Putnik et al., 2018).

Aun ante estos escasos estudios realizados en otros países, se informan algunas coincidencias, la composición química del arazá cultivado en la región amazónica ecuatoriana tuvo particularidades, las cuales deben tenerse en cuenta para su utilización en el país, de tal manera que el trabajo resulta novedoso.

En el método de extracción de aceite esencial asistida por ultrasonido, se obtuvo un mayor número de componentes químicos en comparación al método de arrastre con vapor y maceración, siendo los más abundantes los fenoles (47,75%) pero con un porcentaje menor comparado con el obtenido por maceración, le siguieron los hidrocarburos (35,51%) superior a los obtenidos por maceración, ésteres y ácidos (6,1%) valor superior también al obtenido por maceración, seguidos de alcoholes y otros compuestos (3,66%), valor inferior al obtenido en maceración, siloxanos (3,15%) no identificados en arrastre con vapor ni en maceración, amidas (2,79%) con un valor menor al identificado en arrastre de vapor, y los imidazoles (1,07%) que no fueron identificados ni en arrastre de vapor ni maceración.

Además, la extracción asistida por ultrasonido es un proceso limpio, se obtuvo como resultado el mejor rendimiento del aceite esencial, en menor tiempo de extracción, previniendo la degradación de los aceites y utilizando el menor volumen de disolvente, por lo cual es una buena elección de extracción a un bajo costo (Tekin et al., 2015; Dzah et al., 2020). Es una técnica no convencional, moderna con beneficios adicionales a

lo convencional porque toma en cuenta el cuidado del ambiente (Sabat et al., 2024).

Los tres métodos de extracción de aceite esencial: AV, MC y UAE mostraron perfiles químicos distintivos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones. La elección del método de extracción dependerá del perfil químico deseado en el aceite esencial de Arazá.

Tabla 6. Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial de residuos de Arazá obtenidos mediante el método (AV) y sus usos en la agroindustria.

Componentes químicos	TR (min) A (%)	Aplicaciones en la agroindustria	Referencias
Limoneno	6 1,89	Por sus características aromatizantes se utiliza en industria alimenticia, elaboración de cosméticos y productos de limpieza	(Sánchez et al., 2021).
γ -Elemene	12 1,84	Por su agradable aroma amaderado se lo utiliza en cosmética para cremas hidratantes y productos de perfumería	(Gonzales et al., 2016).
Caryophyllene	12 6,75	Por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes se utiliza en acondicionadores capilares, en cosmética para cremas para la piel	(Ruiz Quiroz et al., 2021)
Germacrene D	13 3,76	Las propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antimicrobianas permiten su uso en la industria farmacéutica; industria cosmética para elaboración de productos del cuidado de la piel, como cremas y lociones.	(Xu y Dickschat, 2023)
δ -Cadinene	14 5,21	Las propiedades antiinflamatorias y los efectos calmantes y sedantes que presenta son útiles en para la industria farmacéutica	(Qin et al., 2024).
Guaiol	16 4,57	Por la actividad antimicrobiana y propiedades repelentes e insecticidas se utiliza para productos agroquímicos, fitosanitarios	(Liu et al., 2013)
Trans-sesquisabinene hydrate	17 2,73	Las propiedades antimicrobianas son útiles para su uso en la fabricación de productos de higiene íntima	(Noriega et al., 2020)

TR: tiempo de retención; A: % de área

El arrastre con vapor es preferible para obtener un aceite rico en terpenos y sesquiterpenos con alta pureza. La maceración es ideal para maximizar la extracción de fenoles, éteres y ácidos, aunque con el riesgo de contaminación por solventes, así como la extracción asistida por ultrasonido; sin embargo, este método proporciona un perfil más diverso de compuestos volátiles, siendo una opción versátil para diferentes aplicaciones del aceite esencial de Arazá, es la metodología de extracción más eficiente, confiable y rentable, que resulta de beneficio para la industria (Shen et al., 2023). La identificación de los constituyentes químicos predominantes en el aceite esencial de residuos de las hojas de Arazá permitió valorizar sus características y perfilar su uso para diferentes aplicaciones en la industria.

Determinación de posibles aplicaciones del aceite esencial: mediante arrastre con vapor la dominancia de terpenos indica un potencial uso en la perfumería y en productos de cuidado personal, mientras que los alcoholes y otros metabolitos secundarios pueden contribuir a la estabilidad y versatilidad del aceite esencial en aplicaciones medicinales y alimentarias tal como se reporta en estudios realizados en diversas plantas aromáticas peruanas (Pardo et al., 2023). La identificación de los compuestos químicos permitió evaluar sus posibles aplicaciones mediante estudios realizados en diversos tipos de aceites esenciales con componentes químicos comunes. Se destacan por sus usos en la industria alimenticia, cosmética, productos de limpieza, en la industria farmacéutica y agroquímica como se indica en la tabla 5.

Por maceración y extracción asistida por ultrasonidos los componentes químicos más importantes y mayoritarios identificados en el aceite esencial de los residuos de Arazá fueron el bisalkofen y 2-Palmitoylglycerol que tienen aplicaciones en la industria química, farmacéutica, del caucho, cosmética e industria alimentaria. En la extracción asistida por ultrasonidos el dodecane fue otro componente mayoritario con posibilidades de aplicación en la industria cosmética, alimentaria, productos de limpieza (Tabla 6). El N,N dimethylpalmitamide presente los dos métodos en alto porcentaje no reporta ninguna aplicación relevante hasta el momento.

Los residuos de hojas de Arazá (*E. stipitata*) representan una fuente valiosa para la obtención de metabolitos secundarios prometedores por sus aplicaciones en diferentes áreas de la agroindustria, (Pardo et al., 2023). La búsqueda de nuevos olores, sabores y características no comunes representa un elemento motivador para el desarrollo de productos alimenticios nuevos con el uso de fuentes no aprovechadas de la biodiversidad amazónica que puedan emplearse como para la creación de alimentos funcionales innovadores de características únicas exóticas mediante un enriquecimiento con sustancias bioactivas en beneficio de la salud humana (González-López et al., 2016).

Tabla 7. Aplicaciones de los compuestos químicos mayoritarios del aceite esencial de residuos de Arazá obtenidos mediante el método MC y UEA.

Componentes químicos	TR (min) A (%)	Aplicaciones en la agroindustria	Referencias
Dodecane	7 4,32	Como tensoactivo para fabricación de productos de limpieza. En la industria cosmética como emolientes para fabricar cremas y lociones; en industria alimentaria para mejorar texturas. Como materia prima para síntesis de otros compuestos químicos industriales	(Gonzales, 2024)
Bisalkofen BP o Antioxidante 2246	29 47,75	Para fabricación de adhesivos, aglutinante de polímeros, antioxidante del caucho, antioxidante de lubricantes, combustibles, fluidos hidráulicos. En la industria cosmética como antioxidante de fragancias y cosméticos.	(NICNAS, 2016; Chai et al., 2023).
2-Palmitoylglycerol	30 9,06	Como antibacteriano, antimicobacteriano; se lo utiliza como emulsionante en la industria alimentaria; en la industria cosmética para la elaboración de productos de belleza como cremas, bálsamos labiales, lociones.	(Njeru et al., 2020) (Huang et al., 2011).

TR: tiempo de retención; A: % de área

Conclusión

La extracción de aceites esenciales de los residuos de las hojas de Arazá se realizó utilizando tres métodos, dos métodos convencionales arrastre con vapor y maceración, y uno no convencional asistido por ultrasonidos, destacándose este último por la obtención del mejor rendimiento y en la mejor eficiencia en la identificación de componentes químicos activos con perfiles muy útiles en la agroindustria. Se debe considerar que el método de extracción influye significativamente en el rendimiento, la naturaleza y estabilidad de los compuestos bioactivos obtenidos. Los resultados demuestran una composición con alto predominio de fenoles, terpenos, sesquiterpenos, ésteres y ácidos, hidrocarburos y otros metabolitos secundarios, lo que sugiere que los residuos de hojas de Arazá pudieran representar una materia prima importante para la obtención de compuestos de

gran interés en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y fitosanitaria.

Agradecimientos

A la Universidad Estatal Amazónica (UEA) por el apoyo financiero otorgado para la ejecución de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Acosta-Vega, L., Moreno, D. A. y Cuéllar Álvarez, L. N. (2024). Arazá: *Eugenia stipitata* Mc Vaught as a Potential Functional Food. *Foods*, 13(15), 2310. <https://doi.org/10.3390/foods13152310>
- Ashaq, B., Rasool, K., Habib, S., Bashir, I., Nisar, N., Mustafa, S., Ayaz, Q., Nayik, G. A., Uddin, J., Ramniwas, S., Mugabi, R. and Wani, S. M. (2024). Insights into chemistry, extraction and industrial application of lemon grass essential oil -A review of recent advances. *Food Chemistry*, X, 22, 101521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101521>
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F. and Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: a 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387-2396. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>
- Briones-Sornoza, H. R. y Guerrero-Intriago, D. A. (2019). Extracción de aceites esenciales de mandarina (*Citrus reticulata*) y palo santo (*Bursera graveolens*) por el método de arrastre de vapor. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 2(3), 14-23. <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.46296/ig.v2i3.0007>
- Cedeño Cevallos, J. L., Navarrete Alcívar, M. A., Sánchez Mendoz, V. y Moreira Mendoza, C. A. (2023). Eficacia en la extracción de aceite a partir de especies vegetales. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 10(2), 1-16. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v10n2.a4137>
- Chen, Y., Xu, F., Pang, M., Jin, X., Lv, H., Li, Z. and Lee, M. (2022). Microwave-assisted hydrodistillation extraction based on microwave-assisted preparation of deep eutectic solvents coupled with GC-MS for analysis of essential oils from clove buds. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100695. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100695>
- da Costa, J. S., da Cruz, E. de N. S., Setzer, W. N., da Silva, J. K. do R., Maia, J. G. S. y Figueiredo, P. L. B. (2020). Essential oils from Brazilian *Eugenia* and *Syzygium* species and their biological activities. *Biomolecules*, 10(8), 1155. <https://doi.org/10.3390/biom10081155>
- de Araújo, F. F., de Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A. and Pastore, G. M. (2021). Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. *Food Chemistry*, 338, 127535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>
- de Araújo, F. F., Neri-Numa, I. A., de Paulo Farias, D., da Cunha, G. R. M. C. and Pastore, G. M. (2019). Wild Brazilian species of *Eugenia* genera (Myrtaceae) as an innovation hotspot for food and pharmacological purposes. *Food Research International*, 121, 57-72. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.018>
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G. and Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
- Eddin, L. B., Jha, N. K., Meeran, M. F. N., Kesari, K. K., Beiram, R. and Ojha, S. (2021). Neuroprotective potential of limonene and limonene containing natural products. *Molecules*, 26(15), 4535. <https://doi.org/10.3390/molecules26154535>
- Fajardo Contreras, J. D., Sánchez Plaza, F. A., Dueñas Rivadeneira, J. P. and Dueñas Rivadeneira, A. A. (2022). Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales. *Centro Azúcar*, 49, 125-143.
- Ferrari, V., Ibañez, F., Cabrera, D. y Pintado, B. (2019). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos nativos del Uruguay. *INNOTEC*, 19. <https://doi.org/10.26461/19.02>
- Franco, M. R. B. and Shibamoto, T. (2000). Volatile composition of some Brazilian fruits: Umbu-caja (*Spondias citræa*), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Araça-boi (*Eugenia stipitata*), and Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(4), 1263-1265. <https://doi.org/10.1021/jf9900074>

- González-Díaz, Y. y Véliz-Jaime, M. Y. (2020). Extracción y caracterización del aceite esencial de mango obtenido de residuos agroindustriales. *Tecnología Química*, 40, 488-501. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300488&lng=es&tlng=es.
- González-López, A. M., Quiñones Aguilar, E. E. y Rincón-Enríquez, G. (2016). Los compuestos bioactivos y tecnologías de extracción. *Nanobio*, 33-49. https://www.researchgate.net/publication/328262044_2016_Gonzalez_et_al_terpenos
- Hernández, M. S., Barrera, J. A. y Carrillo, Marcela. (2006). *Arazá* (V. y D. T. Ministerio de Ambiente & D. de B. Universidad Nacional de Colombia, Eds.; Primera). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-Sinchi. https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/araza_2web.pdf
- Jerônimo, L. B., da Costa, J. S., Pinto, L. C., Montenegro, R. C., Setzer, W. N., Mourão, R. H. V., da Silva, J. K. R., Maia, J. G. S. and Figueiredo, P. L. B. (2021). Antioxidant and cytotoxic activities of Myrtaceae essential oils rich in terpenoids from Brazil. *Natural Product Communications*, 16(2), 1934578X2199615. <https://doi.org/10.1177/1934578X21996156>
- Medeiros, J. R., Medeiros, N., Medeiros, H., Davin, L. B. and Lewis, N. G. (2003). Composition of the bioactive essential oils from the leaves of *Eugenia stipitata* McVaugh ssp. *sororia* from the azores. *Journal of Essential Oil Research*, 15(4), 293-295. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9712145>
- Melo-Guerrero, M. C., Ortiz-Jurado, D. E. and Hurtado-Benavides, A. M. (2020). Comparación de la composición y de la actividad antioxidante del aceite esencial de manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) obtenido mediante extracción con fluidos supercríticos y otras técnicas verdes. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44, 845-856.
- Nolazco Cama, D., Villanueva-Quejia, E., Hatta Sakoda, B. and Tellez Monzon, L. (2020). Extracción y caracterización química del aceite esencial de Eucalipto obtenido por microondas y ultrasonido. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22, 274-284.
- Orrego, C., Salgado, N. and Diaz, M. (2020). Productividad y competitividad frutícola andina. https://www.Fontagro.Org/New/Uploads/Productos/16111_-_Producto_9.Pdf.
- Pardo, F. T., Aparco, R. H., Quispe, I. M., Pacheco, N. F. F., Cerna, H. W. A., y Chipana, S. Q. (2023). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de aceites esenciales en hojas de plantas medicinales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7, 547-559.
- Paucarchuco Soto, J., Torres Gutiérrez, E. R., Javier Ninahuaman, H. J. y Flores Poma, I. G. (2023). Optimización de ultrasonido para extracción de aceites esenciales de manzanilla "*Chamaemelum nobile*" utilizando metodología superficie respuesta. *KANYÚ*, 1(1), 45-55. <https://doi.org/10.61210/rck.v1i1.28>
- Putnik, P., Lorenzo, J., Barba, F., Roohinejad, S., Režek Jambrak, A., Granato, D., Montesano, D. and Bursać Kovačević, D. (2018). Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. *Foods*, 7(7), 106. <https://doi.org/10.3390/foods7070106>
- Rasul, M. G. (2018). Conventional extraction methods use in medicinal plants, their advantages and disadvantages. *International Journal of Basic Sciences and Applied Computing (IJBSAC)*, 2(6), 1-5. <https://ijbsac.org/wp-content/uploads/papers/v2i6/F0082122618.pdf>
- Reyes-Álvarez, C. A. and Lanari, M. C. (2020). Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. *LWT*, 118, 108842. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108842>
- Rodilla, J. M., Rosado, T. and Gallardo, E. (2024). Essential oils: Chemistry and food applications. *Foods*, 13(7), 1074. <https://doi.org/10.3390/foods13071074>
- Ruiz, C., Díaz, C. y Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81, 81-94. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000200002&lng=es&nrm=iso.
- Sabat, M., Chavan, P., Sahni, O., Sudhakar, A. and Shelake, P. (2024). Chapter 8 - Aroma compounds from fruits waste. In S. P. Bangar & P. S. Panesar (Eds.), *Adding Value to Fruit Wastes* (pp. 215–231). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13842-3.00008-3>
- Schrader, J. and Bohlmann, J. (2015). *Biotechnology of isoprenoids*. Vol. 148. Springer.
- Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H. and Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106646. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>
- Stegmayer, M. I., Fernández, L. N., Álvarez, N. H., Olivella, L., Gutiérrez, H. F., Favaro, M. A. y Derita, M. G. (2021). Aceites esenciales provenientes de plantas nativas para el control de hongos fitopatógenos que



afectan a frutales. *Fave. Sección Ciencias Agrarias*, 20(1), 317-329. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192021000100317&lng=es&tlng=es.

Tekin, K., Akalin, M. K. and Şeker, M. G. (2015). Ultrasound bath-assisted extraction of essential oils from clove using central composite design. *Industrial Crops and Products*, 77, 954-960. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.071>

Tenorio Huamani, S. G. y Muñoz Cordero, C. V. (2021). *Actividad antibacteriana in vitro del aceite esencial de las hojas de Eugenia stipitata McVaugh (arazá) frente a Staphylococcus aureus, Escherichia coli y Salmonella enterica sv Enteritidis*. <https://hdl.handle.net/20.500.12970/334>

Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y.-J. and Kim, E.-K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Functional Foods*, 95, 105163. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105163>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Angélica María Tasambay Salazar: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Byron Giovanny Hidalgo Olmedo:** metodología, investigación, redacción-borrador original. **Jannys Lizeth Rivera Barreto:** metodología, investigación. **Sting Brayan Luna Fox** metodología, investigación. **Luis Ramón Bravo Sanchez** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.



Uso de aceites esenciales como conservantes naturales en la industria cárnica

Use of essential oils as natural preservatives in the meat industry

Autores

*Miguel Ángel Enríquez Estrella 

✉ menriquez@uea.edu.ec

Luis Andrés Torres Caicedo 

✉ la.torresc@uea.edu.ec

Armando Vinicio Paredes Peralta 

✉ av.paredesc@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica. Puyo,
Pastaza, Ecuador.

Citación sugerida: Enríquez Estrella, M. Á., Torres Caicedo, L. A. y Paredes Peralta, A. V. (2025). Uso de aceites esenciales como conservantes naturales en la industria cárnica. *La Técnica*, 15(1), 21-28. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.6240>

Recibido: Septiembre 20, 2024

Aceptado: Noviembre 27, 2024

Publicado: Febreo 26, 2025

Resumen

Los aceites esenciales, debido a sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y organolépticas, se presentan como una alternativa natural a los conservantes sintéticos en la industria alimentaria. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión documental sobre el uso de aceites esenciales como conservantes naturales en la industria cárnica. Para ello, se empleó el Método SALSA modificado por Gunnarsdottir, el cual incluyó una búsqueda exhaustiva, evaluación crítica, síntesis y análisis de la literatura, complementado con la técnica de bola de nieve. Los resultados obtenidos revelaron 21 aceites esenciales derivados de diversas plantas, los cuales exhibieron propiedades antioxidantes, antimicrobianas y conservantes. Estas características los posicionan como recursos clave en la conservación de productos cárnicos, con dosis que varían entre 0,5 y 2 mL·kg⁻¹ de aceite, dependiendo de la especie utilizada. En conclusión, se determinó que los aceites esenciales son eficaces en la optimización de la calidad, seguridad y vida útil de los productos cárnicos y sus derivados, consolidándose como una herramienta valiosa en la industria.

Palabras clave: descomposición, documental, producto, efecto, revision, poder.

Abstract

Essential oils, due to their antimicrobial, antioxidant, and organoleptic properties, are presented as a natural alternative to synthetic preservatives in the food industry. The objective of this study was to conduct a documentary review on the use of essential oils as natural preservatives in the meat industry. To achieve this, the SALSA method modified by Gunnarsdottir was employed, which includes an exhaustive search, critical evaluation, synthesis, and analysis of the literature, complemented by the snowball technique. The results revealed 21 essential oils derived from various plants, which exhibit antioxidant, antimicrobial, and preservative properties. These characteristics position them as key resources in the preservation of meat products, with doses ranging from 0.5 to 2 mL·kg⁻¹ of oil, depending on the species used. In conclusion, it was determined that essential oils are effective in optimizing the quality, safety, and shelf life of meat products and their derivatives, establishing them as a valuable tool in the industry.

Keywords: decomposition, documentary film, product, effect, review, can.



Introducción

En las últimas décadas, las innovaciones en las técnicas de producción de alimentos y el creciente interés por la seguridad alimentaria han llevado a los consumidores a demandar productos con menos aditivos sintéticos y una menor carga para el ambiente. Aunque los conservantes químicos se han utilizado durante muchos años para controlar el crecimiento microbiano, son muy controvertidos debido a sus efectos secundarios en la salud humana (Reische et al., 1998). Los aceites esenciales de plantas aromáticas poseen un fuerte potencial antimicrobiano y antioxidante, lo que justifica su uso como conservantes naturales para satisfacer la creciente demanda de alimentos seguros, saludables y nutritivos.

Debido a su gran potencial, estos aceites pueden combatir microorganismos patógenos que causan enfermedades en los consumidores, prolongando así la vida útil de los alimentos y manteniendo su calidad (Enríquez et al., 2023). Algunos de estos aceites esenciales y otros extractos de plantas exhiben propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales, lo que los convierte en fuentes potenciales de nuevos compuestos antimicrobianos. Estos compuestos se exploran como alternativas para la preservación de alimentos y el tratamiento de enfermedades infecciosas (Rodríguez, 2019).

La preservación de alimentos se define como el conjunto de tratamientos que prolongan la vida útil de los alimentos, manteniendo en la medida de lo posible sus atributos de calidad, como color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo (Salgueiro et al., 2000). Esta definición abarca una amplia gama de métodos de conservación, desde períodos cortos, como los métodos domésticos de cocción y almacenamiento en frío, hasta períodos muy prolongados, como la congelación y la deshidratación en procesos industriales estrictamente controlados (Leistner, 2006).

La tendencia actual de los consumidores indica una preferencia por alimentos de preparación rápida que cumplan con las exigencias de calidad, sean naturales, seguros, poco procesados y con una mayor vida útil (Sauceda, 2014). Las tecnologías de conservación de alimentos enfrentan el desafío de obtener productos perecederos sin sacrificar al mínimo sus características nutricionales y sensoriales iniciales (Gómez, 2024).

Las condiciones de uso de los conservantes están estrictamente reguladas en todos los países del mundo, con límites establecidos para la cantidad de un conservante específico y la cantidad total de conservantes permitidos (Zelada, 2019). A las concentraciones autorizadas, los conservantes alimentarios generalmente no eliminan los microorganismos, sino que simplemente evitan su

proliferación. Por lo tanto, son útiles solo con materias primas de buena calidad (Ibañez, 2013).

Los aceites esenciales constituyen una compleja mezcla de compuestos orgánicos que incluyen terpenos, fenoles, ésteres y aldehídos, los cuales son responsables de los aromas característicos de las plantas de las que se extraen. Su volatilidad y capacidad de liberar moléculas aromáticas en el aire hacen que sean fácilmente percibidos por los receptores olfativos, lo que les otorga un papel fundamental en diversas aplicaciones (Enríquez, 2023).

En la industria cosmética, estos aceites son esenciales para la formulación de perfumes y productos aromatizantes debido a su alta concentración de compuestos aromáticos naturales, lo que permite crear fragancias complejas y duraderas (Dufort, 2017). En la industria alimentaria, sus propiedades organolépticas los hacen ideales como saborizantes y condimentos, ya que potencian el aroma y el sabor de los alimentos, mejorando la experiencia sensorial (Ayala, 2024).

Según Montoya (2010) se identifican por su apariencia física y consistencia similar a las grasas, y están ampliamente distribuidos en el reino vegetal, especialmente en las fanerógamas. Los aceites esenciales se pueden encontrar en diferentes partes de la planta, como hojas, raíces, corteza y frutos, y su cantidad y composición varían entre especies y dentro de los mismos géneros. Se les conoce como biopreservantes o sustancias químicas verdes, considerándose ahora como alternativas potenciales a los conservantes químicos (Díaz y Martínez, 2013).

Los aceites esenciales son una alternativa natural a los conservantes sintéticos en la industria cárnica, gracias a sus propiedades antimicrobianas que controlan patógenos como *Salmonella* spp., *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* además de inhibir hongos responsables del deterioro (Bautista y Barrado, 2023). Actúan conservando la frescura, retardando la oxidación lipídica y mejorando la calidad sensorial con aromas y sabores únicos. Su uso permite reducir aditivos sintéticos, atendiendo a la demanda de alimentos más naturales.

Recientes innovaciones incluyen nanoemulsiones y recubrimientos para liberar compuestos de forma controlada. Su implementación debe cumplir normativas alimentarias, destacando su potencial para mejorar la seguridad y sostenibilidad del sector. El objetivo del estudio fue la revisión documental sobre el uso de aceites esenciales como conservantes naturales en la industria cárnica.

Materiales y métodos

La investigación realizada fue específicamente de revisión bibliográfica y para el desarrollo se utilizó la metodología

(Salsa) por las siglas en inglés: search, appraisal, synthesis, analysis, modificada. El método Salsa tradicional para revisiones sistemáticas involucra cuatro pasos que son: búsqueda, evaluación, síntesis y análisis; sin embargo, Gunnarsdottir et al. (2020) añadieron un paso adicional conocido como la técnica de la bola de nieve como se observa en la figura 1.



Figura 1. Diagrama general del método Salsa modificado por Gunnarsdottir et al., 2020.

1. Search (búsqueda)

Se realizó una búsqueda exhaustiva de información sobre el uso de aceites esenciales en la conservación de productos cárnicos, enfocándose en su actividad antimicrobiana, antioxidante y su impacto en la vida útil y calidad sensorial. Las fuentes incluyeron artículos científicos, tesis, libros y documentos técnicos, utilizando bases de datos académicas como Web of Science, Scopus, PubMed, Science Direct y SciELO, además de buscadores como Google Académico. Se definieron palabras clave como “aceites esenciales”, “industria cárnica”, “conservantes naturales”, “propiedades antimicrobianas” y “calidad sensorial”. Se establecieron criterios de inclusión para priorizar investigaciones recientes y estudios con diseño robusto.

2. Appraisal (evaluación)

Se revisaron críticamente los estudios recopilados para evaluar su relevancia, calidad metodológica y validez científica. Este proceso incluyó un análisis del diseño experimental, tamaño de muestra, métodos de extracción y aplicación de aceites esenciales, y su impacto en la microbiota y propiedades organolépticas de los productos cárnicos. También se aplicaron criterios de exclusión para descartar estudios con información incompleta o metodologías poco detalladas.

3. Synthesis (síntesis)

Los hallazgos se organizaron para identificar patrones y tendencias relacionadas con los efectos de los aceites esenciales en la conservación de cárnicos. Se clasificaron los resultados por tipo de aceite esencial, mecanismo de acción (antimicrobiano o antioxidante), y métodos de aplicación (marinados, recubrimientos o incorporación directa). Asimismo, se compararon los resultados en función del tipo de carne analizada y las condiciones de almacenamiento.

4. Analysis (análisis)

Se interpretaron los datos sintetizados para responder a las preguntas clave de investigación, destacando los beneficios de los aceites esenciales como alternativa a los conservantes sintéticos. Se evaluaron las implicaciones prácticas para la industria cárnica, incluyendo la percepción del consumidor,

el cumplimiento normativo y la sostenibilidad. Además, se analizaron las limitaciones, como la variabilidad en la efectividad dependiendo del tipo de aceite y carne, y se propusieron futuras líneas de investigación para optimizar su uso.

Resultados y discusión

Los aceites esenciales son ampliamente utilizados en la industria cárnica debido a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que los convierte en herramientas clave para la preservación de alimentos (Martínez, 2022). Estos aceites actúan como conservantes sintéticos, previniendo la descomposición y el deterioro de los productos. Están compuestos por más de 70 componentes, como terpenos, hidrocarburos, alcoholes y cetonas (Nadinic et al., 2016). Según su origen, se clasifican en naturales, artificiales y sintéticos, siendo los primeros los más costosos debido a su bajo rendimiento.

Los sintéticos, más económicos, son frecuentemente usados como aromatizantes y saborizantes (Lascano, 2020). Además, desde el punto de vista químico, los aceites esenciales pueden clasificarse según los componentes mayoritarios: monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos. Esta clasificación será útil para analizar los aspectos fitoquímicos de estos aceites en el contexto de su aplicación en embutidos (Zambrano, 2024).

Los aceites esenciales también han demostrado actividad antimicrobiana contra diversas cepas, como *L. innocua*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella enteritidis*, *S. typhimurium*, *Proteus mirabilis*, *E. coli* y *Klebsiella oxytoca* (Maldonado y Rico, 2013).

Uso de aceites esenciales en productos cárnicos

La tabla 1 corresponde a un resumen de diversas especies vegetales utilizadas en la conservación de productos cárnicos, destacando sus propiedades bioactivas y los efectos beneficiosos que aportan en la preservación de estos alimentos. Cada especie se analizó en función de su efecto principal (antimicrobiano, antioxidante, preservante, entre otros), la parte de la planta utilizada, la dosis recomendada, los compuestos bioquímicos responsables de sus propiedades conservantes y los productos alimenticios en los que se aplican.

La tabla 1 expone una amplia gama de aceites esenciales derivados de plantas empleadas en la industria alimentaria, caracterizados por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y conservantes. Estas cualidades los posicionan como insumos estratégicos para la conservación y optimización de productos cárnicos y sus derivados, consolidando su importancia dentro del sector alimentario. El análisis revela una diversidad significativa de especies vegetales, entre las que se incluyen *Allium sativum*, *Ocimum basilicum* y *Origanum vulgare*. Estas plantas presentan propiedades específicas, predominando las actividades antioxidantes y antimicrobianas, fundamentales para la preservación de alimentos, especialmente aquellos de origen cárnico.

Tabla 1. Aceites esenciales y su efecto en la conservación de productos cárnicos.

Especie	Efecto	Parte de la planta donde se obtiene	Dosis	Composición bioquímica y su rol en la conservación	Productos en que se utiliza	Referencias
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Antibacteriano, antioxidante, preservante	Fruto	1-2 mL·kg ⁻¹	Contiene alicina, un compuesto con propiedades antimicrobianas y antioxidantes que ayuda a conservar productos cárnicos	Embutidos, carnes curadas	Hidalgo (2018)
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)	Antioxidante, antimicrobiano, mejora el sabor y aroma	Hojas	0,5-1 mL·kg ⁻¹	Contiene eugenol, que actúa como antimicrobiano, inhibiendo el crecimiento de hongos y bacterias en productos cárnicos	Embutidos, carnes frescas	Hilvay (2015)
Alcaravea (<i>Carum carvi</i>)	Expectorante	Fruto	1-2 mL·kg ⁻¹	El carvona, principal compuesto en el aceite de alcaravea, tiene propiedades antimicrobianas y antioxidantes	Carnes curadas, embutidos	Stashenko et al. (2014)
Anís (<i>Pimpinella anisum</i>)	Aroma, propiedad antiséptica	Semilla	0,5-1 mL·kg ⁻¹	Contiene anetol, que tiene propiedades antimicrobianas y antioxidantes, contribuyendo a la seguridad alimentaria	Mortadela	Piñon et al. (2015)
Bergamota (<i>Citrus bergamia</i>)	Antimicrobiano, ayuda a preservar el aroma	Corteza de la fruta	0,5-1 mL·kg ⁻¹	Contiene limoneno y linalol, proporcionando propiedades antimicrobianas y ayudando a mantener la frescura de los productos	Carnes curadas, mariscos	Dosoky y Setzer (2018)
Cajeput (<i>Melaleuca cajuputi</i>)	Antiséptico, antiinflamatorio	Hojas	1-2 mL·kg ⁻¹	Contiene cineol y alfa-terpineol, que inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos en productos cárnicos	Chorizo fresco	Medina (2022)
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	Antioxidante y antimicrobiano	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	Contiene coriandrol y linalol, que son antioxidantes y antimicrobianos, ayudando a mantener la frescura de los productos	Embutidos	Valles et al. (2014)
Comino (<i>Cuminum cyminum</i>)	Antioxidante	Semilla	1 mL·kg ⁻¹	Contiene cuminaldehído y terpenos con efectos antioxidantes, evitando la oxidación de las grasas en productos cárnicos	Peces envasados al vacío	Rea (2012)
Eneldo (<i>Anethum graveolens</i>)	Tonificador, aromatizante, antiespasmódico y diurético	Fruto y hoja	1 mL·kg ⁻¹	El anetol y el limoneno tienen propiedades antimicrobianas, contribuyendo a la conservación de los alimentos	Embutidos	Castro et al. (2017)
Eucalipto (<i>Eucalyptus citriodora</i>)	Antibacteriano, antimicrobiano, refrescante	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	Contiene eucaliptol, que tiene propiedades antimicrobianas y refrescantes, mejorando la conservación	Carnes frescas	Guapulema, (2015)
Guaviduca (<i>Piper carpubya</i>)	Antioxidante, antimicrobiano	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	Contiene compuestos bioactivos que inhiben el crecimiento microbiano y reducen la oxidación	Chorizo paisa	Enríquez, (2022)

Tabla 1. Aceites esenciales y su efecto en la conservación de productos cárnicos. Continuación ...

Hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>)	Actividad antimicrobiana y antioxidante	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	El mentol y el carbón son responsables de sus propiedades antimicrobianas, previniendo la proliferación de patógenos	Carnes frescas y embutidos	Idrovo (2018)
Huacatay (<i>Tagetes minuta</i>)	Antimicrobiano y analgésico	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	Contiene compuestos activos que poseen propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias	Carnes curadas, embutidos	Chappa et al. (2023)
Lavanda (<i>Lavandula angustifolia</i>)	Estimulante, antimicrobiana y conservante	Hojas y flores	0,5-1 mL·kg ⁻¹	Contiene linalol, que tiene propiedades antimicrobianas y antioxidantes, contribuyendo a la preservación de la calidad	Carnes procesadas, embutidos	Ruiz (2014)
Laurel (<i>Laurus nobilis</i>)	Antioxidante, antimicrobiano y conservante	Hojas	1ml/kg	Contiene eugenol, que posee propiedades antimicrobianas y antioxidantes, protegiendo los productos de la oxidación	Carnes curadas	Correa (2010)
Menta (<i>Mentha piperita</i>)	Estimulante, antimicrobiana	Hojas	0,5-1 mL·kg ⁻¹	El mentol y el mentona tienen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que ayudan a mantener la frescura de los alimentos	Carnes curadas	Guerrero et al. (2015)
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Antioxidante, antimicrobiano, refrescante y aromático	Corteza	1 mL·kg ⁻¹	Contiene limoneno, que proporciona propiedades antimicrobianas, mejorando el sabor y aroma	Embutidos	Guerrero (2015)
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Capacidad antioxidante y antimicrobiana contra <i>Salmonella</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus</i> .	Hojas	0,5-1 mL·kg ⁻¹	El carvacrol y el timol son conocidos por sus potentes efectos antimicrobianos y antioxidantes, protegiendo los alimentos	Productos curados	Armenteros (2012)
Romero (<i>Salvia rosmarinus</i>)	Antioxidante, antimicrobiano, potenciador de sabor	Hojas	1 mL·kg ⁻¹	Contiene ácido rosmarínico y carnosol, que poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas	Carnes curadas	Guerrero (2015)
Salvia (<i>Salvia officinalis</i>)	Antioxidante, antimicrobiano	hojas	0,5-1 mL·kg ⁻¹	Contiene ácido rosmarínico y sclareol, que proporcionan efectos antioxidantes y antimicrobianos	Chorizo fresco	García (2006)
Sacha ajo (<i>Allium sativum</i>)	Propiedades antimicrobianas y antioxidantes	hoja	1 mL·kg ⁻¹	Contiene compuestos similares a los del ajo, que ayudan	Productos curados	Amaguay (2020)

Respecto a las partes de las plantas utilizadas, se identifican principalmente hojas y frutos, como en el caso del romero, orégano, alcaravea y eneldo. En casos excepcionales, se emplea la corteza, como ocurre con los aceites esenciales de naranja y bergamota. Esto sugiere que dichas partes contienen concentraciones significativas de compuestos bioactivos responsables de sus efectos funcionales.

Desde un enfoque bioquímico, destacan varios compuestos responsables de las propiedades de estos aceites. El eugenol, presente en albahaca y laurel, es reconocido por sus propiedades antimicrobianas, mientras que el ácido rosmarínico, presente en romero y salvia, actúa como un potente antioxidante. Asimismo, el limoneno (presente en naranja y bergamota) y la combinación de carvacrol y timol (orégano) muestran una eficacia destacada frente a microorganismos como *Salmonella* y *E. coli*.

En términos de aplicación, estos aceites son empleados principalmente en la producción de embutidos, carnes curadas y carnes frescas, lo que subraya su papel en la preservación de productos de origen animal. Adicionalmente, algunos aceites, como el de comino, tienen aplicaciones específicas, por ejemplo, en peces envasados al vacío, lo que evidencia su versatilidad en diferentes categorías de alimentos. Finalmente, las dosis de aceites esenciales aplicadas, generalmente entre 0,5-2 mL·kg⁻¹, están diseñadas para ser eficaces en la conservación de alimentos sin comprometer sus características sensoriales. Estos compuestos no solo prolongan la vida útil de los productos alimenticios, sino que también contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria mediante la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos.

El empleo de aceites esenciales en la industria alimentaria ha ganado notable atención debido a sus propiedades funcionales

y su potencial como alternativa natural a los conservantes sintéticos. Estudios previos han demostrado su efectividad antimicrobiana y antioxidante, respaldando las observaciones descritas en la tabla 1. Por ejemplo, Burt (2004) reportó que aceites esenciales ricos en compuestos como carvacrol, timol y eugenol han demostrado alta eficacia contra microorganismos patógenos comunes en alimentos, como *L. monocytogenes* y *E. coli*. Esto coincidió con los efectos atribuidos a plantas como el orégano, la albahaca y el laurel.

Con relación a la optimización de dosis, Farbood et al. (2016) enfatizaron que las concentraciones de aceites esenciales deben ajustarse cuidadosamente para maximizar su actividad antimicrobiana sin comprometer las propiedades organolépticas del producto. Este hallazgo sustenta las concentraciones indicadas en la tabla 1, que variaron entre 0,5 y 2 mL·kg⁻¹. Como una solución sostenible y alternativa natural; Dorman y Deans (2000) destacaron que los aceites esenciales pueden aprovechar subproductos agrícolas, como la corteza de naranja o bergamota, contribuyendo así a la economía circular. Este enfoque no solo refuerza su utilidad en la conservación de alimentos, sino que también aprovecha residuos agroindustriales.

La especificidad de los aceites esenciales en matrices alimentarias es otro aspecto relevante. Hyldgaard et al. (2012) señalaron que compuestos como el mentol del aceite de menta fueron particularmente efectivos en productos frescos, mientras que los compuestos del ajo resultaron ideales para carnes curadas. Por último, Zhang et al. (2020) investigaron la sinergia entre aceites esenciales y otros conservantes naturales. Las combinaciones, como la de romero y orégano, mostraron efectos potenciados en la inhibición de microorganismos y la prevención de la oxidación lipídica, lo que resalta su versatilidad y efectividad.

Conclusiones

Estos compuestos representan una alternativa viable y efectiva para la preservación de alimentos de origen animal. Su eficacia radica en sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, que los posicionan como herramientas estratégicas para optimizar la calidad, seguridad y vida útil de productos cárnicos y sus derivados. El eugenol, ácido rosmarínico, carvacrol, limoneno presentes en algunos aceites esenciales de plantas generaron una acción antimicrobiana contra la presencia de microorganismos patógenos, incluyendo *Salmonella* y *E. coli*. Estos componentes son versátiles ya que son utilizados en diferentes productos cárnicos crudos, cocidos y curados. Las dosis que generalmente son utilizadas están comprendidas en un rango de (0,5-2 mL·kg⁻¹) los mismos que permiten equilibrar la eficacia conservante con el mantenimiento de las características sensoriales del alimento asegurando su aceptación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Amaguay Terán, D. I. (2020). *Evaluación de 3 niveles de aceite de sacha culantro (Eryngium foetidum), como agente antioxidante en la elaboración de salchicha Frankfurt* (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica).
- Armenteros, M., Ventanas, S., Morcuende, D., Estévez, M. y Ventanas, J. (2012). Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos. *Eurocarne*, 207, 63-73.
- Ayala Sheron, D. (2024). *Caracterización química de las hojas comestibles de la ruda de río (Porophyllum ruderale) y evaluación de los parámetros de extracción de aceite esencial para su aplicación en los alimentos*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Perú. 244 p.
- Bautista, G. y Barrado, A. (2023). Aplicaciones de aceites esenciales en la industria cárnica. *Journal of Food Preservation*, 37(4), 110-119.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Castro, D. V., Pantoja, A. y Gomajoa, H. A. (2017). Evaluación *in vitro* de la capacidad antimicrobiana del aceite esencial de eneldo-*Anethum graveolens*-como inhibidor del crecimiento de *Staphylococcus aureus*, coliformes y hongos presentes en la carne de trucha. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 64(2), 44-51.
- Chappa, M. Y., Quintana, S. C., Angeles, W. G., Gomez, H. S., Servan, D. M., Alcantara, R. B. y Mas, M. L. (2023). Efecto de aceites esenciales de huacatay (*Tagetes minuta* L.) y mariasacha (*Tagetes elliptica* Sm.) como conservante en la carne de cerdo. *Revista Científica Dékamu Agropec.*, 4(2), 17-28.
- Correa Padrón, F. E. (2010). *Extractos vegetales y aceites esenciales como inhibidores de Listeria Monocytogenes en productos cárnicos* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Díaz, M. y Martínez, V. (2013). Aceites esenciales como biopreservantes en la industria alimentaria. *Revista Latinoamericana de Tecnología Alimentaria*, 29(3), 80-88.

- Dorman, H. J. D. y Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308-316.
- Dosoky, N. S. y Setzer, W. N. (2018). Actividades biológicas y seguridad de *Citrus* spp. Aceites esenciales. *Int. J. Mol. Sci.*, 19(7), 1966.
- Dufort, J. (2017). *El uso de aceites esenciales en la formulación de productos cosméticos y perfumes*. Editorial Aromática.
- Enríquez-Estrella, M. Á., Poveda-Díaz, S. E., y Alvarado-Huatatoca, G. I. (2023). Bioactivos de la Hierba Luisa utilizados en la industria. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(1), 1-11.
- Enriquez, M. Á., Villafuerte-Mera, F., Figueroa, A., y Mariño, J. (2023). Efectos de los componentes bioactivos de frutas, vegetales, lácteos y plantas medicinales en la nutrición humana. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 6(11), 2-24.
- Enríquez Estrella, M. Á. (2022). *Efecto del extracto de guaviduca (Piper carpunya Ruiz & Pav), sobre la estabilidad y propiedades funcionales del chorizo parrillero* (Master's thesis, Universidad Estatal Amazónica).
- Farbood, A., Heidari, H., Nayebzadeh, K. y Rezaei, H. (2016). Antimicrobial and antioxidant activity of essential oils in food preservation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6), 1234-1242.
- García, M. E. (2006). *Desarrollo de nuevos transformados cárnicos cocidos a partir de carne, hígado y grasa de cerdo Ibérico con antioxidantes naturales* (Doctoral dissertation, Universidad de Extremadura).
- Gómez, M. (2024). *Desafíos actuales en la conservación de alimentos y el uso de aceites esenciales como alternativa natural*. Editorial Nutrición y Salud.
- Guerrero, A., Carvalho, A., Madrona, C. B., Cestari, G. S., Scapin, L. A. y Prado, I. N. (2015). Envases alternativos biodegradables y activos con aceites esenciales para productos cárnicos. *Eurocarne*, 238.
- Guapulema Solórzano, M. A. (2015). *Utilización del aceite de coco aromatizado a base de eucalipto aromático, cedrón, cilantro, hierbaluisa, y romero para usos culinarios* (Tesis doctoral, UNIBE).
- Gunnarsdottir, I., Davidsdottir, B., Worrell, E. and Sigurgeirsdottir, S. (2020). Review of indicators for sustainable energy development. En renewable and sustainable energy reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110294>
- Hidalgo Núñez, D. R. (2018). *Evaluación de la actividad antioxidante y antimicrobiana del ajo sachá Mansoa ALLICEA (IAM) AH GENTRY y su uso potencial en la conservación de la carne de pollo* (Master's thesis, Universidad Estatal Amazónica).
- Hyldgaard, M., Mygind, T. and Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12.
- Hilvay Gómez, L. R. (2015). *Efecto de los aceites esenciales de limón (Citrus limon), albahaca (Ocimum basilicum L.) y orégano (Origanum vulgare), en la conservación de la carne de cuy (Cavia porcellus)* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Ibañez, L. (2013). El papel de los conservantes en la industria alimentaria. *Revista de Innovación Alimentaria*, 15(3), 71-80.
- Idrovo Encalada, A. M. (2018). *Extracción de aceites esenciales y aplicación como inhibidores del crecimiento microbiano en productos cárnicos* (Bachelor's thesis, Univesidad del Azuay).
- Lascano, M. (2020). Clasificación y aplicaciones de aceites esenciales sintéticos en la industria alimentaria. *Revista de Química y Alimentación*, 21(4), 101-110.
- Leistner, L., (2000). Aspectos básicos de la conservación de alimentos mediante tecnología de barrera. *Int. J. Food Microbiol.* 55, 181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
- Maldonado, J. y Rico, J. (2013). Actividad antimicrobiana de aceites esenciales contra cepas patógenas comunes en alimentos. *Journal of Microbiological Research*, 27(5), 88-96.
- Martínez, J. (2022). El uso de aceites esenciales en la conservación de productos cárnicos. *Revista Internacional de Ciencia Alimentaria*, 50(4), 112-118.
- Medina Tierres, C. A. (2022). *Actividad repelente e insecticida de aceites esenciales de plantas medicinales* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería Bioquímica).
- Montoya, C. (2010). *Los aceites esenciales: Propiedades y aplicaciones en la industria*. Editorial Aromaterapia. Universidad Nacional de Colombia. 174 p.
- Nadinic, R., Puchalski, A. y Vidrih, R. (2016). Composición y propiedades de los aceites esenciales utilizados en la conservación de alimentos. *International Food Research Journal*, 23(6), 1982-1992.
- Piñón, J. R. G., Monterrubio, A. L. R., Meléndez, L. A. D., Martínez, A. C., Rojo, A. D. A., Palma, N. G. A. y Vázquez, R. S. (2015). Efecto del aceite esencial de orégano en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas y



- microbiológicas de la carne de pollo. *Investigación y Ciencia*, 23(66), 5-11.
- Rodríguez, A. (2019). Los aceites esenciales como alternativas naturales en la conservación de alimentos. *Revista de Biotecnología Alimentaria*, 12(3), 43-52.
- Rea Varela, V. G. (2012). *Evaluación de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de comino (Cuminum cyminum) como potencial bioconservador en la carne de trucha* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Reische, D., Lanza, M. y Silvagni, D. (1998). Efectos secundarios de conservantes químicos en la salud humana. *Food Safety Journal*, 6(2), 44-49.
- Ruiz Navajas, Y. (2014). *Caracterización de aceites esenciales de plantas aromáticas mediterráneas y su aplicación a films de quitosano para la conservación de productos cárnicos*. Universidad Miguel Hernández. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Alicante, España. 166 p.
- Salgueiro, L., y Silva, J. (2000). *Conservación de alimentos y su impacto en la calidad nutricional y sensorial*. Editorial Alimentaria.
- Sauceda, M. (2014). Preferencias actuales de los consumidores sobre alimentos naturales y seguros. *Revista de Comportamiento del Consumidor*, 32(1), 26-35.
- Valles, M. V., Salinas, P. A., Haro, I. R., Sevilla, W. S., Lázaro, W. R. y Huamán, A. V. (2014). Efecto del aceite esencial de *Origanum vulgare* en la supervivencia de *Staphylococcus aureus*, *Salmonella thypi*, *Salmonella parathypi* y *Salmonella enteritidis* en carne de cerdo pasteurizada y refrigerada. *REBIOL*, 34(1), 57-68.
- Zelada, L. (2019). Regulaciones sobre el uso de conservantes en la industria alimentaria. *Food Regulatory Journal*, 21(2), 67-75.
- Zambrano Santillán, Á. R. (2024). *Evaluación del efecto antimicrobiano de la adición de aceite esencial de albahaca morada Ocimum sanctum en embutido de cerdo* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB).
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, J. and Zhu, L. (2020). Synergistic effects of essential oils and natural compounds on food preservation and quality improvement. *Food Chemistry*, 327, 126945.

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Miguel Ángel Enríquez Estrella: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Luis Andrés Torres Caicedo:** redacción-revisión y edición. **Armando Vinicio Paredes Peralta:** conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.



Métodos de desinfección de cormos en cultivares de plátano (*Musa* AAB) sobre sus características morfológicas y productivas

Methods of corm disinfection in banana cultivars (*Musa* AAB) on their morphological and productive characteristics

Autores

^{*1}Leonardo Avellán-Vásquez

✉ leonardo.avellan@uleam.edu.ec

¹Diana Alava-Cruz

✉ diana.alava@uleam.edu.ec

²Gema Moreira-Basurto

✉ gemamaribelbasurto@hotmail.com

²Manuel Meza-Loor

✉ manuelmeza@tsachila.edu.ec

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, El Carmen, Manabí, Ecuador.

²Investigador independiente. El Carmen, Manabí, Ecuador.

Citación sugerida: Avellán-Vásquez, L., Alava-Cruz, D., Moreira-Basurto, G. y Meza-Loor, M. (2025). Métodos de desinfección de cormos en cultivares de plátano (*Musa* AAB) sobre sus características morfológicas y productivas. *La Técnica*, 15(1), 29-34. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.6583>

Recibido: Septiembre 20, 2024
Aceptado: Noviembre 27, 2024
Publicado: Enero 26, 2025

Resumen

La investigación se realizó en la Granja Experimental Río Suma, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión en El Carmen, con el objetivo de evaluar el nivel de daño ocasionado por *Cosmopolites sordidus* Germar en dos cultivares de *Musa* spp. con diferentes métodos de desinfección; para ello se establecieron seis tratamientos que resultaron de la combinación factorial de dos variedades de plátano: V1 (Curare enano), V2 (Dominico Hartón) para el factor A y en el factor B los métodos de desinfección (MD): MD1 (químico, Cadusafos 5 g·cormo⁻¹), MD2 (físico, inmersión en agua caliente a 50 °C por 15 min) y MD3 (físico, inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas), dispuesto en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de A (variedades de plátanos) por B (métodos de desinfección de cormos), la comparación de las medias se realizó con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Las variables evaluadas fueron: daño del cormo (escala), altura de planta (m), perímetro del pseudotallo (cm), número de hojas y biomasa del racimo (kg). Los resultados evidenciaron diferencias estadísticas significativas solo a nivel de variedades (P<0,05), siendo superior en el cultivar Dominico Hartón para las variables: daño del cormo con 1,04 y 1,05 en la fase IV y V, respectivamente según la escala de Viladerbo; en la variable altura de la planta (m) en todas las fases evaluadas con 2,98 m (fase III) y 3,48 m (fase IV) y 3,96 m (fase V) y en el perímetro del pseudotallo únicamente en la fase V con 63,67 cm. Al no haber diferencias estadísticas entre tratamientos (métodos físicos y químicos), se sugiere utilizar el primero por ser más amigable con el ambiente, además se recomienda realizar futuras investigaciones con estos tratamientos en varios ciclos de producción para minimizar el uso de agroquímicos.

Palabras clave: métodos de desinfección, cormo, Dominico Hartón, Barraganete.

Abstract

The present research was carried out at the Experimental Farm Río Suma of the “Eloy Alfaro” Laica University of Manabí, Extension in El Carmen, with the aim of evaluating the level of damage caused by *Cosmopolites sordidus* Germar on two cultivars of *Musa* ssp. with different disinfection methods. For this purpose, six treatments were established resulting from the factorial combination of two banana varieties: V1 (Curare enano), V2 (Dominico Hartón) for factor A, and for factor B, the disinfection methods (MD): MD1 (chemical Cadusafos g·cormo⁻¹), MD2 (physical immersion in hot water at 50°C for 15 min), and MD3 (physical immersion in ambient water for 24 hours), arranged in a randomized complete block design with factorial arrangement of A (banana varieties) by B (disinfection methods of corms). Mean comparisons were performed using Tukey’s test at a 5% probability level. The evaluated variables were: corm damage (scale), plant height (m), pseudostem perimeter (cm), number of leaves, and bunch biomass (kg). The results showed statistically significant differences only at the variety level (P<0.05), with the Dominico Hartón cultivar being superior for the variables: corm damage, with 1.04 and 1.05 in phases IV and V, respectively, according to the Viladerbo scale; in the variable plant height (m) in all evaluated phases with: 2.98m (phase III); 3.48m (phase IV); and 3.96 m (phase V) and in the pseudostem perimeter only in phase V with 63.67 cm. Since there are no statistical differences between treatments (physical and chemical methods), it is suggested to use the former because it is more environmentally friendly, and it is also recommended to carry out future research with these treatments in several production cycles to minimize the use of agrochemicals.

Keywords: disinfection methods, corm, ‘Dominico Hartón’, ‘Barraganete’.



Introducción

El plátano representa uno de los productos más dinámicos en la economía global, la producción mundial en el año 2017 disminuyó en un 2% respecto al 2015 y por ende las exportaciones también descendieron en un 29%; sin embargo, el precio se incrementó de manera considerable en un 15% en comparación al 2016, según el boletín situacional del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (MAG, 2017), la producción nacional en el 2017 aumentó en 25% con relación al 2016, tanto es así, que para el 2023 según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) publica que llegó a 152.654 hectáreas (monocultivo y asociado) lo que equivale al 1,25% de la superficie cultivada total del país.

Es importante indicar que en Ecuador constituye la actividad agrícola de mayor importancia para la economía de muchas familias; por otro lado, las exportaciones mundiales de plátanos alcanzaron un récord de 44.150.813,38 millones de toneladas en 2022, a lo cual le corresponde el 1,94% (857.561,89 t) a Ecuador, ubicándolo en el puesto 12 a nivel mundial y en el tercero a nivel de Latinoamérica con la mayor producción de plátano, superado solo por Colombia y República Dominicana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022).

Gold y Tinzaara (2008) describieron el daño que ocasionaron las larvas del picudo del plátano al perforar el corno, destruyendo la raíz y el sistema vascular, lo que limitó la absorción de nutrientes y agua, en plantaciones establecidas, estos autores sugirieron que el daño puede ocasionar la muerte de la planta, disminución de la biomasa del racimo, la no emisión de hijuelos, reducción de la vida del cultivar y pérdidas de rendimiento superiores al 50% en los cultivos; por otro lado, las galerías formadas por las larvas de esta plaga son la entrada a patógenos como *Fusarium* y *Ralstonia* (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia (DANE), 2016).

Bonilla et al. (2020) mencionaron que con un adecuado manejo fitosanitario del cultivo de plátano variedad Hartón, en las Fincas Integrales en la provincia de Pastaza (Ecuador) se logró la disminución de los daños ocasionados por plagas al cultivo y el rescate del mismo.

Tenkouano et al. (2006) expusieron que las plántulas procedentes de técnicas de propagación en el campo, pueden estar infectadas con plagas transmitidas desde el suelo, como los nematodos y picudos, para reducir el riesgo de transmisión de contaminantes del suelo, se recomendó el saneamiento de los chupones obtenidos mediante métodos de decapitación en el campo; por lo tanto, recomendaron incluirla en el manejo integrado de plagas

(picudo negro) y nematodos fitoparásitos, estos últimos por tener relaciones positivas (directamente proporcionales) entre la rizosfera y la población nematológica de raíces y suelo (Riascos-Ortiz, 2021), sobre todo en plantaciones comerciales o campos donde se practica el monocultivo (Prado et al., 2018).

Se ha comprobado que el procedimiento de pelado y el tratamiento con agua caliente, fueron eficaces y sencillos para eliminar los picudos de las plantas, esta técnica ha sido difícil de manejar por los pequeños agricultores (Tresson et al., 2021); por lo expuesto anteriormente, se hizo necesario realizar el presente estudio con el objetivo de evaluar el nivel de daño ocasionado por *Cosmopolites sordidus* Germar en dos cultivares de *Musa* spp. con diferentes métodos de desinfección, puesto que según Carballo (2001), este insecto plaga es el que más limita la producción de esta musácea a nivel mundial.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Granja Experimental Río Suma, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión en El Carmen, provincia de Manabí, ubicada en el km 25 de la Vía Santo Domingo-Chone. Con las siguientes coordenadas geográficas: -0.25928 S, -79.42602 O.

Los tratamientos evaluados fueron seis que resultaron de la combinación factorial de dos variedades de plátano: Factor A: V1 (Curare enano) y V2 (Dominico Hartón), y el Factor B (métodos de desinfección): MD1 (químico, Cadusafos 5 g·cormo⁻¹), MD2 (físico, inmersión en agua caliente 50 °C por 15 min) y MD3 (físico, inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas), como se observa en la tabla 1; mismos que fueron establecidos en función de reducir el daño ambiental causado por el uso de agroquímicos.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamientos	Variedades	Métodos de desinfección
T1	Curare Enano	Químico, Cadusafos 5 g·cormo ⁻¹
T2	Curare Enano	Físico, inmersión en agua caliente 50 °C por 15 min
T3	Curare Enano	Físico, inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas
T4	Dominico Hartón	Químico, Cadusafos 5 g·cormo ⁻¹
T5	Dominico Hartón	Físico, inmersión agua caliente 50 °C por 15 min
T6	Dominico Hartón	Físico, inmersión agua ambiente por 24 horas

Para el establecimiento de los cultivares se emplearon un total de 1.278 m² de superficie, en distanciamientos entre plantas de 1,50 m e hileras de 3,0 m; se utilizaron 1.080 plantas en total,

distribuidas entre seis tratamientos y tres repeticiones por cada uno, en total se obtuvieron 18 unidades experimentales con 60 plantas en cada una.

Se planteó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial A (variedades de plátanos) y B (métodos de desinfección de cormos), la comparación de las medias se realizó con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 2. Esquema de análisis de varianza empleado.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	17
Variedades	1
Método de desinfección	2
Repeticiones	2
Variedades*Método de desinfección	2
Error experimental	10

a) Nivel de daños en cormo: con el objetivo de obtener la severidad del daño se utilizó la escala de Vilardebo (Ruiz, 2007), el cual consistió en hacer un corte transversal al cormo y contar el número de galerías ocasionadas por las larvas en segmentos o cuadrantes asignando valores que fueron de 0 a 100. Esta escala permitió estimar el daño producido en cada una de las fases (hoja 10, 20, 30, belloteo y cosecha) evaluadas determinando la susceptibilidad. Para asignar valores la evaluación visual se agrupó el daño en siete niveles: 0 (cormo sano o sin galería), 5 (presencia trazas de galerías), 10 (infestación intermedia entre 5 y 20 galerías), 20 (presencia de galerías en aproximadamente un cuarto de la cepa), 40 (presencia de galerías en la mitad de la cepa), 60 (presencia de galerías sobre tres cuartos de la cepa), 100 (presencia de galerías sobre la totalidad de la cepa). Los datos registrados fueron divididos para 100 y transformados por $\sqrt{x+1}$.

b) Altura de la planta (m): se determinó la altura de la planta, a partir del séptimo mes posterior al trasplante hasta el momento de la cosecha de los cultivares, las plantas fueron medidas con un flexómetro, desde la base del suelo hasta el punto de inserción de la última hoja. Para el análisis estadístico de esta variable se tomó el valor medido en las plantas en tres fases: hoja 30, belloteo y cosecha.

c) Diámetro del pseudotallo (cm): el diámetro del pseudotallo se registró a partir del séptimo mes posterior al trasplante, hasta alcanzar la cosecha, a una altura de 60 cm desde la base del suelo y se utilizó una cinta métrica. Para el análisis estadístico de esta variable se tomó el valor medido en las plantas en tres fases: hoja 30, belloteo y cosecha.

d) Número de hojas a la cosecha: se contabilizó el número de hojas de las plantas en el momento de la cosecha. Para el análisis estadístico de esta variable se registró el valor medido en la fase de hoja 30, belloteo y cosecha.

e) Biomasa de racimo: con la balanza (libras) se determinó la biomasa del racimo al momento de la cosecha, se incluyó en el pesaje el raquis.

Resultados y discusión

Para la variable daño del cormo (escala) se pudo corroborar que solo existió efecto a nivel de variedades evaluadas ($P < 0,05$), siendo la de menor daño la variedad Dominico Hartón con 1,04 y 1,05 en la fase IV (belloteo) y V (a la cosecha), respectivamente (tabla 3; figura 1).

Tabla 3. Respuesta de las variedades en el daño de cormo (escala).

Variedades	Promedios				
	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV	FASE V
Curare Enano	1,04 a	1,14 a	1,14 a	1,15 b	1,14 b
Dominico Hartón	1,05 a	1,10 a	1,06 a	1,04 a	1,05 a

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

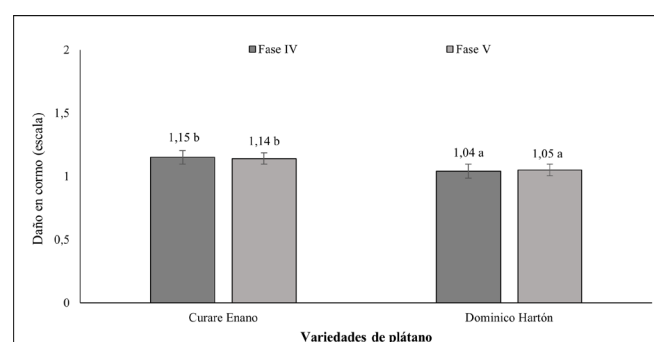


Figura 1. Daño de cormo en escala por efecto de variedades de plátano evaluadas.

Al observar la figura 1, se denota que existió menor daño a nivel de la variedad “Dominico Hartón”, con lo cual se deduce que hubo resistencia varietal del mismo sobre el ataque de picudos y no por métodos de control, lo que corroboró lo expuesto por Armendáriz et al. (2016) quienes, al estimar la presencia y actividad de larvas en el cormo tras la cosecha, no encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, reportando que un 38,67% de los cormos presentaron galerías de larvas, aduciendo que esto pudo deberse a la presencia del inóculo inicial en la plantación, asociado a una deficiente desinfección del material de siembra, aun ante el uso de un tratamiento químico, o un suelo con bajo contenido de materia orgánica (Álvarez, 2011).

En cuanto a la resistencia varietal se confirmó lo emitido por Armendáriz et al. (2014) cuando mencionaron que no todas las especies de musáceas (plátano, banano y ensete) ni todas las variedades presentaron la misma susceptibilidad al picudo; finalmente, se contrapone a lo obtenido por Vélez (2011) quien mencionó que el “Dominico”, “Dominico Hartón” y

“Barraganete” fueron más susceptibles al picudo negro, ya que en la presente investigación se estableció que en la etapa de floración (fase IV) y cosecha (fase V), el “Dominico Hartón” fue menos susceptible al ataque de esta plaga.

En cuanto a las variables morfológicas, estas se evaluaron a partir de la tercera fase (emisión de la hoja 30, belloteo y cosecha) como se aprecia en la tabla 4. En cuanto al resultado estadístico de la variable altura de planta (m) se pudo establecer que hubo efecto solo a nivel de variedades ($P < 0,05$) en todas las fases evaluadas (figura 2); en este contexto, se observó que el cultivar “Dominico Hartón” fue el de mayor altura con 2,98; 3,48 y 3,96 m, para las fases III, IV y V, respectivamente.

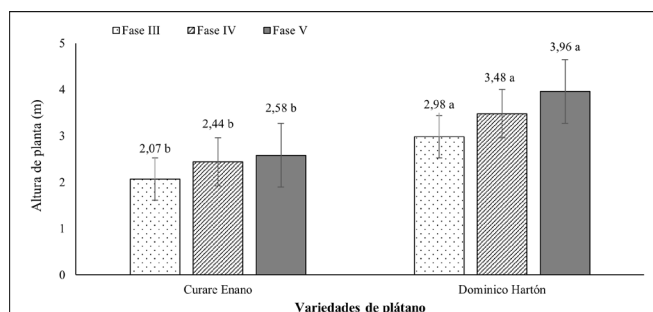


Figura 2. Altura de la planta de plátano (m) por efecto de variedades de plátano evaluadas.

Como se puede apreciar el cultivar “Dominico Hartón” superó considerablemente en altura al “Curare Enano” (figura 2) y no por los métodos de desinfección de cormos como medida de control de picudo, lo opuesto a lo logrado por Armendáriz et al. (2016) quienes reportaron que la altura de la planta de plátano estuvo condicionada por la limpieza de las parcelas, como técnica de control de picudo de plátano.

Se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) solo a nivel de las variedades evaluadas para la variable perímetro del pseudotallo (cm), únicamente en la fase V (a la cosecha), siendo el cultivar de plátano “Dominico Hartón” el mejor con 63,67 cm (figura 3), pese a que el diámetro estuvo muy relacionado con la biomasa del racimo (Angulo, et al., 2020), en este estudio no se encontró tal relación; puesto que, no hubo diferencias estadísticas en la biomasa del racimo como se menciona más adelante.

Con relación al número de hojas en la cosecha, no se detectó diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en ninguna de sus fuentes de variación, con un promedio general de 7,78 hojas para el “Curare Enano” y 8,08 hojas para el “Dominico Hartón” (tabla 4). Un

resultado opuesto fue el obtenido por Guzmán et al. (2012a), quienes manifiestan que los cormos con limpieza sanitaria ‘pelado’, presentaron una excelente brotación y, además, las plántulas tuvieron un apropiado desarrollo del sistema radical y aéreo.

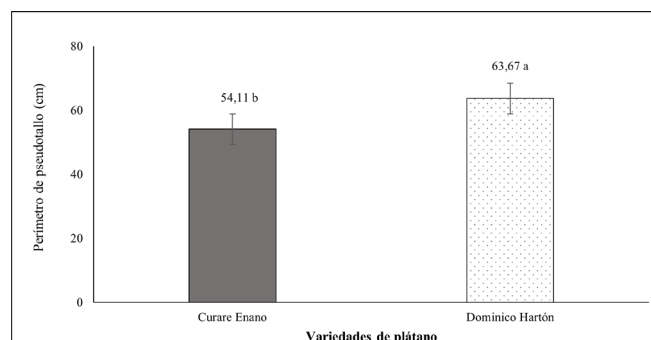


Figura 3. Perímetro del pseudotallo (cm) por efecto de variedades de plátano evaluadas.

En el presente estudio no se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en biomasa de racimo (kg) con un comportamiento similar a la variable anteriormente evaluada, donde se observó un promedio general de 11,21 kg para el “Curare Enano” y 12,07 kg para el “Dominico Hartón” (tabla 4), este último es visiblemente inferior a los valores reportados por Guzmán et al. (2012b), quienes al evaluar la efectividad de varias prácticas sanitarias aplicadas a cormos de plátano “Dominico Hartón”, sobre nematodos fitoparásitos y picudos, establecieron que con cormos con limpieza sanitaria “pelado” + carbofuran + gallinaza + *Paecilomyces lilacinus*; tuvieron mayor biomasa del racimo con 18,6 kg, lo cual redujo el volcamiento (3% de plantas caídas) y aumentó significativamente el rendimiento del cultivo.

Tabla 4. Respuesta de las variedades en la altura de planta (m), perímetro del pseudotallo, número de hojas y biomasa de racimos (kg).

Variedades	Altura de la planta (m)			Perímetro del pseudotallo (cm)			Número de hojas			Biomasa de racimos (kg)
	III	IV	V	III	IV	V	III	IV	V	
Curare Enano	2,07 b	2,44 b	2,58 b	21,11 a	63,67 a	54,11 b	7,89 a	8,89 a	6,56 a	11,21 a
Dominico Hartón	2,98 a	3,48 a	3,96 a	20,56 a	63,00 a	63,67 a	7,79 a	9,33 a	7,11 a	12,07 a

Medios con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Conclusión

El nivel de daño varió con respecto a la variedad de plátano evaluada y el cultivar que mayores daños presentó fue “Domingo Hartón”; con relación a las variables morfológicas, se apreció que solo hubo efecto individual de variedades para la altura de planta, siendo el “Domingo Hartón” superior en todas las fases evaluadas y en el perímetro de pseudotallo solo se detectó inferencia estadística en la fase V (cosecha) para el mismo cultivar.

Al no haber diferencias estadísticas entre tratamientos (métodos físicos y químicos), se sugiere utilizar el primero por ser más amigable con el ambiente, además se recomienda realizar futuras investigaciones con estos tratamientos en varios ciclos de producción para minimizar el uso de agroquímicos.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, H. (2011). *Control de nemátodos en platano*. <https://cultivodeplatano.com/2011/06/17/control-de-nematodos-en-platano/>
- Angulo, W., Osorio, J., Muñoz, J. y Riascos, D. (2020). *Evaluación de plagas y su impacto sobre la producción de plátano y banano*. 1ª. edición. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79503/Evaluaci%C3%B3n%20de%20plagas%20y%20su%20impacto%20sobre%20la%20producci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano%20y%20banano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Armendáriz, I., Landázuri, P. y Ulloa, S. (2014). Buenas prácticas para el control del picudo del Plátano *Cosmopolites sordidus*, en Ecuador. 1era Edición: https://www.researchgate.net/publication/262675397_Picudo_del_platano2014
- Armendáriz, I., Landázuri, P., Taco, J. y Ulloa, S. (2016). Efectos del control del picudo negro, *Cosmopolites sordidus*, en el plátano. *Revista Agron. Mesoam.* 27(2), 319-327. https://www.researchgate.net/publication/304154725_Efectos_del_Control_del_picudo_negro_Cosmopolites_sordidus_en_el_Platano
- Bonilla, A., Chipantiza, J. y Játiva, M. (2020). Manejo fitosanitario de las principales plagas del plátano del clon Domingo-Hartón. *Revista Interdisciplinaria Koinonía*, 5(9), 204-223: <https://www.redalyc.org/journal/5768/576869060012/html/>
- Carballo, M. (2001). *Manejo integrado de plagas (Costa Rica)*. Unidad de Fitoprotección. Hoja técnica N° 36. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6619/A1750e.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20control%20de%20esta%20plaga%20mediante%20pr%C3%A1cticas%20culturales%20incluye%20el,20%20minutos%20da%20buenos%20resultados.>
- Delgado, A., Navia, D., Triviño, C., Peñaherrera, L. y Zambrano, J. (2021). Efectos del daño mecánico inducido por nemátodos al sistema radical del plátano en condiciones controladas. *La Técnica*, 25(1), 23-32. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8232804.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia DANE. (2016). *Enfermedades y plagas del plátano (Musa paradisiaca) y el banano (Musa acuminata; M. sapientum) en Colombia*. Boletín mensual de septiembre: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_sep_2016.pdf
- Gold, C. and Tinzaara, W. (2008). *Banana Weevil, Cosmopolites sordidus (Germar) (Coleoptera: Curculionidae)*. Enciclopedia de Entomología. Springer, Dordrecht. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4020-6359-6_224
- Guzmán, O. (2011). El nematodo barrenador (*Radopholus similis* [COBB] Thorne) del banano y plátano. *Revista Luna Azul*, 33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742011000200012
- Guzmán, O., Castaño, J. y Villegas, B. (2012a). Efectividad de la sanidad de cormos de plátano Domingo Hartón (*Musa AAB* Simmonds), sobre nemátodos fitoparásitos y rendimiento del cultivo. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 36(138), 45-55. https://www.accefyn.com/revista/Vol_36/138/p45_55.pdf
- Guzmán, Ó., Castaño, J. y Villegas, B. (2012b). Efecto de la limpieza sanitaria de cormos de plátano (*Musa AAB* Simmonds) sobre nemátodos fitoparásitos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 87-95. https://www.researchgate.net/publication/304213748_Efecto_de_la_limpieza_sanitaria_de_cormos_de_platano_Musa_AAB_Simmonds_sobre_nematodos_fitoparasitos
- Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC). (Abril de 2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador MAG. (2017). *Plátano*. Boletín Situacional: <http://fliphtml5.com/ijia/echm/basic>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2022). *Banana Market Review*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>



- Prado, I., Franco, F. y Godinez, D. (2018). *Plant Parasitic Nematodes in Sustainable Agriculture of North America*. pp. 31-68. https://www.researchgate.net/publication/329713670_Plant_Parasitic_Nematodes_and_Management_Strategies_of_Major_Crops_in_Mexico_Vol1_-_Canada_Mexico_and_Western_USA
- Riascos, D., Mosquera, A., Varón, F. y Muñoz, J. (2021). Importancia relativa de nematodos fitoparásitos asociados a *Musa* spp. y las interrelaciones entre los géneros de mayor valor de prominencia. *Revista de Fitopatología Colombiana*, 45(1), 1-9. https://www.researchgate.net/publication/355038127_Importancia_relativa_de_nematodos_fitoparasitos_asociados_a_Musa_spp_y_las_interrelaciones_entre_los_generos_de_mayor_valor_de_prominencia
- Ruiz, C. M. (2007). Fluctuación poblacional del picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar) del plátano (*Musa* AAB) en San Carlos, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835537.pdf>
- Tenkouano, A., Hauser, S. and Coulibaly, O. (2006). Clean planting materials and management practices for sustained production of banana and plantain in Africa. *Chronica Horticulturae*, 46(2). https://www.researchgate.net/publication/284108336_Clean_planting_materials_and_management_practices_for_sustained_production_of_banana_and_plantain_in_Africa
- Tresson, P., Philippe, W. and Carval, D. (2021). The challenge of biological control of *Cosmopolites sordidus* Germar (Col. Curculionidae): A review. *Journal of Applied Entomology*, 00, 1-11. DOI: 10.1111/jen.12868
- Vélez, M. (2011). Reacción de diez cultivares de *Musa* spp. al ataque de picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar) durante el primer año de establecimiento. Informe Técnico de Proyecto de Investigación. 68 p. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/3860>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Leonardo Avellán-Vásquez: conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Diana Alava-Cruz:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Gema Moreira-Basurto:** curación de datos. **Manuel Meza-Loor:** redacción-revisión y edición.



Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el cantón Tosagua

Multi-temporal analysis of change in land use through remote perception in the Tosagua canton

Autores

***Alfredo Nicolas Solórzano Faubla**

✉ alfredo.solorzano@espam.edu.ec

Orly Disney Loor Fernández

✉ orly.loor@espam.edu.ec

Ángel Frowen Cedeño Sacón

✉ acedeno@espam.edu.ec

Geoconda Aracely López Álava

✉ geoconda.lopez@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica
Agropecuaria de Manabí Manuel Félix
López. Calceta, Manabí, Ecuador.

Citación sugerida: Solórzano Faubla, A. N., Loor Fernández, O. D., Cedeño Sacón, Á. F. y López Álava, G. A. (2025). Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el cantón Tosagua. *La Técnica*, 15(1), 35-41. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.6886>

Recibido: septiembre 8, 2024

Aceptado: febrero 26, 2025

Publicado: abril 14, 2025

Resumen

El análisis multitemporal permite descubrir cambios entre diferentes fechas de referencia, siguiendo la evolución del medio natural y la consecuencia de la acción humana sobre el mismo. El propósito del estudio fue realizar un análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en el Cantón Tosagua en el periodo 2017-2023, a través de imágenes satelitales, con el fin de conocer el estado de fragmentación de la cobertura vegetal. Se obtuvo los cambios de usos del suelo del cantón teniendo como resultado una tasa de cambio total de 9% en 6 años. Utilizando la clasificación supervisada fue posible generar mapas temáticos con cuatro clases de uso del suelo en donde se efectuó la verificación en campo para la identificación de cobertura de suelo y se estableció que para el periodo 2017-2019, la cobertura vegetal y de tierras agropecuarias fue de 13.956,60 ha con 19.430,86 ha de cobertura vegetal. Para el 2019-2021, se registró una cobertura vegetal de 10.280,03 ha y 23.980,97 ha de tierras agropecuarias y para el 2021-2023 la superficie de cobertura vegetal fue de 10.120,01 ha con 24.113,407 ha de tierras agropecuarias. La tasa de cambio en el uso de cobertura se observó con una disminución del 14% durante los años 2017 y 2019, mientras que para los años 2021 y 2023 se observó una notable recuperación de la cobertura vegetal con un 6%. Además, se logró obtener una fiabilidad global de la cobertura real y reducida de 83,8% lo que indica que la clasificación de usos de suelo en el cantón Tosagua es admisible.

Palabras clave: imágenes satelitales, teledetección, clasificación supervisada, validación.

Abstract

Multitemporal analysis allows to discover changes between different reference dates, following the evolution of the natural environment and the consequences of human action on it. The purpose of the study was to carry out a multitemporal analysis of land use change in the Tosagua Canton in the period 2017-2023, through satellite images, in order to know the state of fragmentation of the vegetation cover. The changes in land use of the canton were obtained, resulting in a total change rate of 9% in 6 years. Using the supervised classification, it was possible to generate thematic maps with four classes of land use where field verification was carried out to identify land cover and it was established that for the period 2017-2019, the vegetation and agricultural land cover was 13,956.60 ha with 19,430.86 ha of vegetation cover. For 2019-2021, a vegetation cover of 10,280.03 ha and 23,980.97 ha of agricultural land was recorded and for 2021-2023 the vegetation cover area was 10,120.01 ha with 24,113.407 ha of agricultural land. The rate of change in the use of cover was observed with a decrease of 14% during the years 2017 and 2019, while for the years 2021 and 2023 a notable recovery of the vegetation cover is observed with 6%. In addition, an overall reliability of the actual and inferred coverage of 83.8% was achieved, which indicates that the classification of land uses in the Tosagua canton is admissible.

Keywords: satellite images, remote sensing, supervised classification, validation.



Introducción

El cambio de uso del suelo y la pérdida de la cobertura vegetal es uno de los principales problemas que aquejan a la humanidad, ya que estos son unas de las causas del cambio climático global y se relaciona directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la biodiversidad, la calidad del agua y del suelo (López, 2006).

En Ecuador, desde la reforma agraria y colonización de los años setenta, se aceleró el cambio de uso de suelo. El 99,4% del área deforestada entre 1990 y 2000 fue transformada a áreas agropecuarias, el 0,14% a infraestructura, principalmente áreas urbanas y asentamientos rurales densos y 0,46% a otros tipos de cobertura. La expansión del área agropecuaria total también dependió de la deforestación: aproximadamente el 97,5% del incremento de estas áreas se generaron mediante la transformación de áreas de bosque a cultivos y pastos. El factor directo más importante que condicionó el cambio de cobertura del suelo en Ecuador fue una serie de bonanzas agroexportadoras, principalmente en la costa: cacao (1860 a 1940) y banano (1950 a 1973). Otros subciclos de productos menores, como la tagua y el caucho, requerían de menos transformación de áreas forestales y, hasta cierto punto, dependían de su mantenimiento (Sierra, 2013).

El uso de suelo de la provincia de Manabí es de 1.572.962 ha, el 44% está destinado para un uso pecuario, de hecho la provincia es líder en ganadería; a este uso le sigue el de conservación y protección con una superficie total de 31% que en contexto abarca toda la vegetación natural como bosques y matorrales; el 21% lo constituye el sector agrícola, actualmente se encuentran cultivadas, englobando todos los cultivos de ciclo corto, semipermanentes, permanentes y 5% dedicados a otros usos (Instituto Espacial Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022).

En la actualidad se aplican con éxito tecnologías eficaces como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) para identificar la huella espacial de estos impactos y apoyar las decisiones que ayuden a los directivos a tomar medidas correctivas y prospectivas (Ponvert y Lau, 2013). El objetivo principal de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas, con distintos estados fenológicos en la vegetación, de cara a la obtención de un incremento en la precisión de las clasificaciones (Romero, 2006).

Para Gónima et al. (2010) la utilización de imágenes de satélites es una herramienta poderosa para el estudio y el monitoreo de los fenómenos naturales y antrópicos ocurridos en el sistema

superficie terrestre-atmósfera. las imágenes obtenidas por los satélites ofrecen una perspectiva única y particular de la tierra, sus recursos y el impacto humano sobre ella. Los sensores remotos han demostrado ser una importante fuente de información para un gran número de aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del ambiente, gestión y manejo de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, usos del suelo, localización de bienes raíces, entre otras (Cardozo y Da Silva, 2013).

El objetivo de esta investigación fue determinar el cambio de uso de suelo, mediante sistema de información geográfica para el periodo 2017-2023 con el fin de calcular el porcentaje de variación en el uso del suelo en la zona de estudio y además la validación de los resultados mediante una matriz de confusión.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el cantón Tosagua con coordenadas 0°47'20,49" S y 80°14'4,94" O con la finalidad de obtener la clasificación de uso de suelo y los cambios ocurridos a través del periodo 2017-2023.

Reconocimiento y delimitación del área de estudio

Se realizaron recorridos por el Cantón Tosagua, que tiene una superficie total de 37.323,44 ha, en donde se definió la zona de estudio mediante 68 puntos de control, para el trabajo de campo se empleó un navegador GPS y una libreta de campo para registrar los datos de ubicación de los diferentes tipos de cobertura y uso del suelo dentro del Cantón.

Adquisición de imágenes satelitales del área de estudio

Se obtuvieron las imágenes mediante la plataforma Planet Explorer, la que dispone de una gran cantidad de información espacial, destacándose el repositorio de imágenes Sentinel-2 de diferentes periodos, fueron seleccionadas cuatro imágenes resolución espacial de 10 x 10 m para la identificación de coberturas.

Selección de imagen

Las imágenes satelitales se obtuvieron a través del satélite Sentinel-2 para los años 2017, 2019, 2021 y 2023 entre los meses de junio-julio. Se procuro que las imágenes a utilizar en el análisis presentaran el menor porcentaje de cobertura de nubes dentro del área de estudio, es decir con un porcentaje de nubes correspondiente menor a 10%, ya que es un problema recurrente en el campo de estudio.

Georreferenciación de datos espaciales

Las imágenes fueron georreferenciadas dentro del software ArcGIS utilizando las coordenadas en la proyección cartográfica

Universal Transversal de Mercator (UTM), Datum: WGS 84, Zona 17 Sur.

Clasificación supervisada

Esta clasificación se basó en la disponibilidad de áreas de estudio a las que se conoce la clase a la que pertenecen mediante algoritmos de selección de puntos que sirvieron para generar una asignatura espectral de cada una de las clases, además de tener un conocimiento previo del campo de estudio (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de clases y categorías de cobertura y uso de suelo

Clases informales	Categorías
Cobertura vegetal	Bosque nativos
	Plantación forestal
	Vegetación herbácea
	Cultivos ciclo corto
Tierras agropecuarias	Cultivos semipermanentes
	Cultivos permanentes
Cuerpos de agua	Ciénaga, Ríos, entre otros
Zona antrópica	Población, vías
Sin información	Problema de nubosidad

Matriz de confusión

Se utilizó una matriz de confusión para determinar la compatibilidad de la clasificación con la realidad observada en el campo, siendo este método uno de los más utilizado, ya que dicha matriz contiene información sobre los valores totales o porcentajes de datos observados y estimados para cada característica o propiedad que se clasifique, y a partir de ésta se pueden calcular varios parámetros que indican la precisión de la clasificación.

Chuvieco (1995) señaló que la estimación de la exactitud alcanzada por el mapa puede realizarse por tres criterios básicos: comparando el inventario de la clasificación, estudiando la fiabilidad obtenida al clasificar las áreas de entrenamiento, para comprobar si se ajustan correctamente a las categorías que se pretenden definir y seleccionando ciertas áreas de verificación.

Tasa de cambios de uso de suelo

Para calcular la tasa de cambio anual del uso de suelo se utilizó la ecuación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1996).

$$TDA: Tasa = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1$$

Dónde: TDA: tasa de cambio anual= superficie fecha 2, = superficie en la fecha 1, n = es el número de años entre las dos fechas (Ruiz et al., 2013).

Resultados y discusión

Una vez realizados los análisis con los diferentes años de las imágenes Sentinel-2 utilizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Base de datos del cambio de uso del suelo en el cantón Tosagua

Al realizar la clasificación supervisada de las imágenes Sentinel-2 de los años 2017, 2019, 2021 y 2023, respectivamente, se obtuvieron los siguientes datos respecto a los cambios ocurridos en los diferentes años (tabla 2).

Tabla 2. Base de datos para el cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, periodo 2017-2023.

Años	Cobertura vegetal	Tierras agropecuarias	Cuerpos de agua	Zonas antrópicas	Nubosidad
2017	Área ha	13.956,59	19.430,85	2.284,3	640,11
	%	37,6	52,3	6,2	1,7
2019	Área ha	10.280,02	23.980,97	2.400,52	661,92
	%	27,5	64,3	6,4	1,8
2021	Área ha	10.120,01	24.613,4	2.577,27	640,7
	%	26,7	64,9	6,8	1,6
2023	Área ha	11.437,58	22.029,97	2.509,64	735,16
	%	30,4	58,6	6,7	2,3

El análisis multitemporal de cambio de uso de suelo en el cantón Tosagua para el año 2017 presentó una cobertura vegetal representada en un 37,6% (13.956,59 ha) y las tierras agropecuarias un 52,3% (19.430,85 ha) de la superficie total del territorio (figura 1).

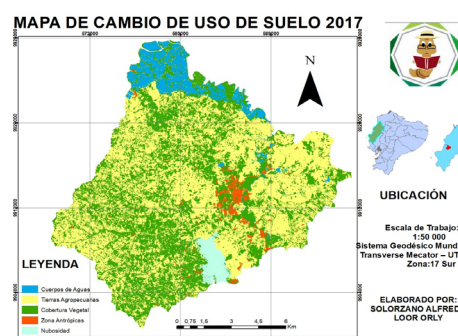


Figura 1. Cambio de uso de suelo del cantón Tosagua- Ecuador 2017.

En este sentido, Bianco et al. (2021), argumentaron que el aumento de tierras agropecuarias respondió a la expansión agrícola para satisfacer la demanda de productos agrícolas, lo cual coincidió con el predominio de este uso del suelo en Tosagua (figura 2). Además, Carranza et al. (2024) destacaron que la deforestación y la conversión de bosques en tierras agrícolas fueron prácticas comunes que afectaron significativamente la cobertura vegetal,

reflejando una reducción en las áreas naturales en favor de usos agrícolas intensivos.

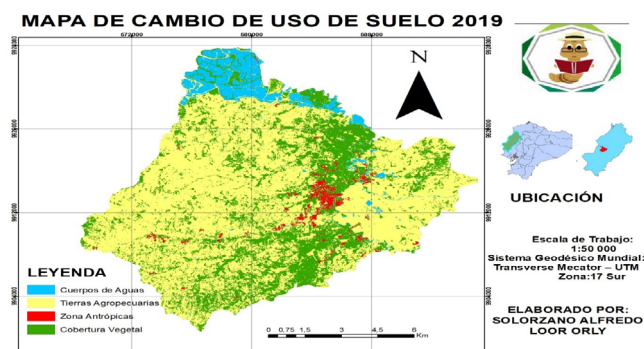


Figura 2. Cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, Ecuador, 2019.

En cuanto a la cobertura vegetal, Benítez (2022) argumentó que es importante mantener estas áreas para la conservación de la biodiversidad y la regulación del clima local. La presencia de cuerpos de agua (6,2%; 2.284,30 ha), zonas antrópicas (1,7%; 640,11 ha) y nubosidad (2,2%; 818,18 ha) fue menor pero relevante. Hoyos et al. (2022) señalaron que los cuerpos de agua, aunque menos extensos, fueron imprescindibles para la sostenibilidad hídrica de las regiones agrícolas, mientras que las zonas antrópicas reflejaron el crecimiento urbano y sus impactos en el uso del suelo.

Este fenómeno fue consistente con las observaciones de Bianco et al. (2021) quienes destacaron la tendencia creciente de la agricultura intensiva en regiones rurales de Ecuador, la cual fue efectuada para satisfacer la demanda alimentaria. Lozano et al. (2021) también señalaron que la conversión de bosques en tierras agrícolas fue una práctica común, lo que explicó la significativa reducción de la cobertura vegetal en favor de usos agrícolas. Además, Alemán et al. (2021) advirtieron sobre las implicaciones ambientales de esta transformación, destacando la pérdida de biodiversidad y los efectos negativos en la regulación climática local. Por otro lado, los cuerpos de agua mantuvieron una proporción similar, aumentando ligeramente de 6,2% (2.284,30 ha) a 6,4% (2.400,52 ha), lo cual fue crucial para la sostenibilidad hídrica, como mencionaron Hoyos et al. (2022). Las zonas antrópicas también presentaron un leve incremento, de 1,7% (640,11 ha) a 1,8% (661,92 ha), denotando un crecimiento urbano moderado que puede tener impactos en la estructura territorial y el uso del suelo (figura 3).

Este patrón de cambio fue consistente con los estudios de Bianco et al. (2021) quienes señalaron que la expansión agrícola en Ecuador ha sido una respuesta a la creciente demanda de productos agrícolas.

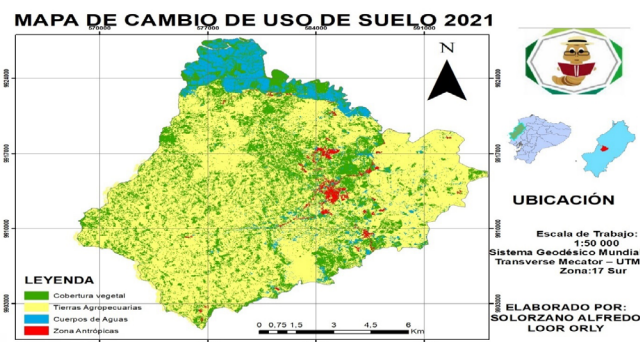


Figura 3. Cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, Ecuador, 2021.

Lozano et al. (2021) explicaron que la conversión de áreas naturales en tierras agrícolas es una práctica común que ha llevado a una significativa pérdida de cobertura vegetal, tal como se observa en Tosagua. Carranza et al. (2024) enfatizaron la importancia de la cobertura vegetal para la biodiversidad y la regulación climática, y su disminución tuvo implicaciones negativas en estos aspectos. Vásquez-Ramírez (2024) destacó que, aunque los cuerpos de agua mostraron un ligero aumento del 6,2% (2.284,30 ha) en 2017 al 6,8% (2.577,27 ha) en 2021, su conservación es crucial para la sostenibilidad hídrica de la región.

Las zonas antrópicas han mantenido un crecimiento moderado, pasando del 1,7% en 2017 y 2019 al 1,8% en 2019 y de nuevo al 1,7% en 2021, lo que reflejó un crecimiento urbano controlado. Jemio (2024) destacó que la precisión en la identificación de cambios en el uso del suelo puede haber mejorado con el tiempo debido a avances en la tecnología de percepción remota (figura 4).

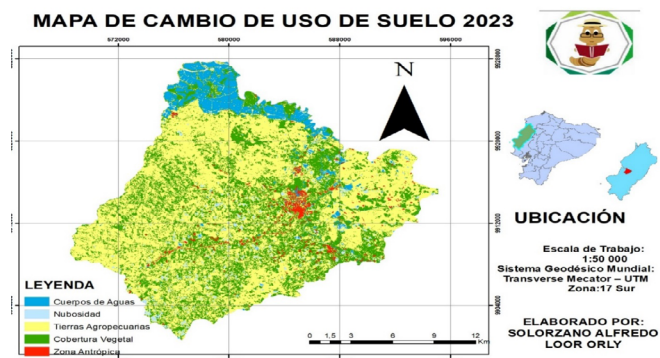


Figura 4. Cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, Ecuador, 2023.

La evolución del uso de suelo en Tosagua presenta diversas connotaciones. Según Herrera (2024) las políticas de reforestación y conservación en Ecuador han comenzado a mostrar resultados positivos, lo que podría explicar el reciente aumento en la cobertura vegetal. Gutiérrez y Galvis (2024) argumentaron que la adopción de tecnologías agrícolas más eficientes ha permitido una disminución de la expansión agrícola, reflejada en la reducción de tierras agropecuarias en 2023.

Carranza et al. (2024) afirmaron que los cambios económicos y sociales, como la migración rural-urbana, han llevado a un uso más eficiente del suelo agrícola, mientras que el desarrollo urbano controlado ha contribuido a un crecimiento moderado de las zonas antrópicas. Vásquez-Ramírez (2024) indicó que la variación en la presencia de cuerpos de agua puede estar relacionada con esfuerzos de conservación hídrica y cambios en las prácticas de manejo de recursos hídricos.

Tasa de cambio de uso de suelo del cantón Tosagua con base al análisis multitemporal de las imágenes satelitales de los años, 2017-2023

Cambio de uso de suelo del cantón Tosagua en el periodo, 2017-2023

Tras la elaboración de los mapas de cambios se realizó la tabla 3 de cambio de uso de suelo ocurrido en el periodo 2017 y 2021, para su análisis se procedió unir las clases informales que se detallan en la clasificación (2017-2019), (2019-2021), (2021-2023) para observar la cantidad de hectáreas por año que están en proceso de cambio.

Tabla 3: Cambio de uso del suelo del cantón Tosagua, Ecuador, 2017-2023.

Descripción						
Clases informales	Cobertura vegetal	Tierras agropecuarias	Cuerpos de agua	Zonas antrópicas	Nubosidad	total
2017	13.956,60	19.430,86	2.284,31	640,12	818,18	37.130,06
2019	10.280,03	23.980,97	2.400,52	661,92		37.223,44
Cambio/ha	-3.676,57	4.550,11	116,22	21,80	818,18	
Cambio/año/ha	-1.838,28	2.275,06	58,11	10,90		
2019	10.280,03	23.980,97	2.577,27	661,92		37.200,20
2021	10.120,01	24.113,41	2.509,64	640,7	871,63	37.245,07
Cambio·ha ⁻¹	-160,02	132,43	-67,63	21,22	-871,63	
Cambio·año ⁻¹ ·ha ⁻¹	-80,01	66,22	-33,82	10,61	-435,82	
2021	10.120,01	24.113,407	2.284,31	640,7	818,18	37.176,02
2023	11.437,58	22.029,98	2.509,64	735,17	881,63	37.294,01
Cambio/ha	1.317,57	-2.083,43	-225,34	94,35	63,45	
Cambio/año/ha	658,78	-1041,71	-112,67	47,17	31,72	

-: Decrecimiento de cobertura.

+: Incremento de cobertura.

Analizando los cambios entre los intervalos de tiempos (2017-2019; 2019-2021 y 2021-2023) se puede observar el incremento y el decrecimiento de las diferentes categorías del cambio de uso de suelo del cantón Tosagua y el mayor cambio incidió para el periodo 2017-2019 con un decrecimiento de cobertura vegetal de 3.676,57 ha lo que representa una pérdida anual de 1.838,28 ha·año⁻¹, y para los años 2019-2021 la pérdida de cobertura vegetal fue menor con un decrecimiento de 160,02 ha, lo que corresponde a un cambio de 80,01 ha·año⁻¹. Lo que se diferencia para el periodo 2021-2023 que obtuvo un incremento de cobertura vegetal de 1.317,57 ha.

Identificación de la tasa de cambio de uso del suelo del cantón Tosagua, 2017-2023

La tasa de cambio anual se determinó, utilizando la fórmula propuesta por la FAO 1996, se detalla en la tabla 4. En donde se incluyó la suma de cobertura vegetal de los diferentes periodos.

Tabla 4. Tasa de cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, Ecuador, 2017-2023.

Descripción	2017 ha	2019 ha	Cambio/ha	Tasa cambio	% Cambio
	13.956,60	10.280,03	-3.676,57	-0,14	-14
	2019 ha	2021 ha	Cambio·ha⁻¹	Tasa cambio	% Cambio
Cobertura vegetal	10.280,03	10.120,01	-160,02	-0,01	-1
	2021 ha	2023 ha	Cambio·ha⁻¹	Tasa cambio	% Cambio
	10.120,01	11.437,58	1.317,57	0,06	6

El análisis de la tasa de cambio anual (TDA) permitió visualizar el cambio de cobertura vegetal de la área de estudio en un intervalo de 2 años, donde se expresó la mayor o menor intensidad de las dinámicas de cambios en el Cantón entre el periodo 2017 y 2019, se observó un valor alto pero negativo de 14% ya que para el 2017 tenía un total 13.956,60 ha, para el año 2019 disminuyó a 10.280,03 ha, lo mismo sucedió para los años 2019 y 2021 que se obtuvo -1%, en cambio para el periodos 2021 y 2023 se mostró una tendencia de recuperación considerable de la cobertura vegetal con el 6%.

Con el fin de cuantificar la fiabilidad del método de clasificación supervisada de mínima distancia se elaboró la matriz de confusión (tabla 5) con los puntos verificados en campo, la cual la conformó una muestra representativa donde la diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produjo el acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad), y las columnas se ocuparon por las clases de referencia (terreno) y las filas por las categorías deducidas en la clasificación.

La fiabilidad global estuvo sobre el 83,8%, lo que se consideró aceptable para este tipo de imágenes y de acuerdo con la metodología de Chuvieco (1995) y a los resultados obtenidos por López (2018) en donde obtuvieron una fiabilidad global de 96,7% lo que fue aceptables para problemas de deforestación.

Tabla 5. Matriz de confusión de cambio de uso de suelo del cantón Tosagua, Ecuador.

Descripción	Cobertura vegetal	Tierras agropecuarias	Cuerpo de agua	Zona poblada	Nubosidad	Total	Exactitud del usuario	Error comisión
Cobertura vegetal	20	3				23	87	13
Tierras agropecuarias	7	35	1			43	81	19
Cuerpo de agua			2			2	100	0,00
Zona poblada				0		0	0	0
Nubosidad					0	0	0	0
Total	27	38	3	0	0	68		
Exactitud del productor	74	92	67					
Error omisión	0,26	0,8	0,33	0,00	0,00			
Exactitud global	$(20+35+2)/68*100 = 83,8\%$							

Conclusión

A lo largo de los seis años que comprendió el estudio, las tierras agropecuarias continúan predominando sobre la cobertura vegetal del cantón Tosagua; no obstante, esta actividad se ve comprometida por la dificultad de no contar con el sistema de riego, ya que dicha actividad se desarrolla en época lluviosa o cerca de ríos, laguna. Mediante la clasificación supervisada se permite determinar el decrecimiento y el incremento de las distintas categorías de usos de suelo, donde la cobertura vegetal obtuvo un decrecimiento de cobertura de cambio de 3.676,57 ha para el periodo 2017-2019 con una tasa de deforestación de -14%; sin embargo, para el periodo 2019-2021 la tasa de deforestación fue de -1% de pérdida de cobertura vegetal; en cambio para el periodo 2021-2023 se obtuvo un crecimiento con una tasa de deforestación de 6% de cobertura vegetal con un cambio de 1.317,57 ha.

La matriz de confusión permitió verificar un listado de puntos de la cobertura real y de la deducida por la clasificación, de esta matriz se obtuvo el 83,8% de fiabilidad global lo que indica que la clasificación que se hizo es aceptable.

Referencias bibliográficas

- Barrantes Mann, G. A. L., Flores-Olivos, A. J., Liza-Zatti, S. A. y Santa-Cruz Arévalo, J. E. (2021). Políticas públicas para el sector agrario en el Perú. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, <http://journalbusinesses.com/index.php/revista>
- Benítez, A. (2022). Análisis espaciotemporal del proceso de pérdida forestal en los municipios de Charo, Hidalgo, Indaparapeo, Queréndaro y Zinapécuaro. Michoacán, México. *Revista Cartográfica*, 106, 99-123.
- Bianco, M., Díaz, I., Chiappe, M., Figueredo, S., Narbono, I. y Russi, E. (2021). Dinámicas de la expansión agrícola en territorios uruguayos. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 6(12), 1-35.
- Carranza, M., Aragundi, L., Macías, K., Paredes, E. y Villegas, A. (2024). Conservación y manejo sostenible del suelo en la agricultura: Una revisión sistemática de prácticas tradicionales y modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 1-28. doi:<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303>.
- Cardozo, O., y Da Silva, C. (2013). Aplicaciones urbanas de los sensores remotos. *Revista Geográfica Digital*, 20, 1-6.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, España, Editorial Rialp, S.A, 430 p.
- Gónima, L., González, M., y Ruiz, L. (2010). Desarrollo de una metodología sencilla para la georreferenciación y medición de distancias a partir de imágenes de satélite sistemáticamente georreferenciadas. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 39(1), 7-23.
- Gutiérrez Cervera, A. A. y Galvis Ramírez, A. J. (2024). Asimilación de tecnologías en el sector agrícola del Cesar - Colombia, herramienta de desarrollo económico. *Revista AGLALA*, 15(1), 22-39.
- Herrera, R. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33-56.
- Hoyos Gonzales, A. I., Quinteros Camacho, N. L. y Crisólogo Rodríguez, M. E. (2022). Evaluación multitemporal de la superficie del humedal HuachoHualmay-Carquín entre

- los años 1986 y 2019. *South Sustainability*, 3(1), e053. <https://doi.org/10.21142/SS-0301-2022-e053>
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE); Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP); Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP). (2022). *Sistema productivo de la provincia de Manabí*. 120 p.
- Jemio, L. C. (2024). Seguros agrícolas paramétricos: Una revisión de la literatura. *Development Research Working Paper Series*, No. 05/2024, Institute for Advanced Development Studies (INESAD), La Paz.
- López, E. (2006). *Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de México. México.
- Lopez, A. (2018). *Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el cantón Bolívar-Ecuador*. Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.
- Lozano, A., Alvarez, C. y Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: Una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101-108. DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical Forest cover and study of change processes*. FAO. Roma.
- Ponvert Delisles, D. y Lau Quan, A. (2013). Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4), 75-80.
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Revista Científica Ecosistemas*, 22(3), 117-123.
- Romero, F. S. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, 24, 13-41.
- Sierra, R. (2013). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. *Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends*. Quito, Ecuador. pp. 1-47.
- Vásquez-Ramírez, G. L. (2024). El desarrollo potencial de proyectos en infraestructura natural para la seguridad hídrica. *South Sustainability*, 5(1), e097. DOI: 10.21142/SS-0501-2024-e097

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Alfredo Nicolas Solórzano Faubla: conceptualización, investigación, análisis formal, redacción borrador original, redacción-revisión y edición. **Orly Disney Looor Fernández:** análisis formal, redacción-revisión y edición. **Ángel Frowen Cedeño Sacón:** análisis formal, redacción-revisión y edición. **Geoconda Aracely López Álava:** conceptualización, investigación, redacción-revisión y edición.



Morfometría aérea en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de siembra, en sabanas de Monagas, Venezuela

Aerial morphometry in *Moringa oleifera* Lam. at different planting densities, in savannahs of Monagas, Venezuela

Autores

*Raul E. Granado Gimón

✉ raulgranadogimon@gmail.com

Guillermo S. Romero Marcano

✉ guillermo.ro80@gmail.com

Ramón Silva Acuña

✉ drramonsilvaa@gmail.com

Rodolfo J. González Betancourt

✉ gonzalezbetancourtrodolfo@gmail.com

Universidad de Oriente. Maturín,
Monagas, Venezuela.

Resumen

Con el objetivo de evaluar las variables morfométricas primarias, de ramas y de hojas por planta, en moringa, se instaló un experimento en el fundo “Guachimari”, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela. Se realizó un vivero para producir plántulas, que fueron posteriormente trasplantadas a campo. Se empleó el diseño de bloques al azar, con cinco tratamientos o densidades de siembra (16.000, 20.000, 26.666, 40.000 y 80.000 plantas·ha⁻¹), cuatro repeticiones y unidades experimentales de 9 m². La cosecha fue realizada 215 días después del trasplante, previo a la misma se determinó la morfometría aérea primaria: altura de planta (AP), diámetro basal del tallo, número de ramas y el índice de robustez (IR); posterior a esta, se cuantificaron las variables morfométricas de rama: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama (APR); y en la hoja: longitud y ancho. Los valores fueron estudiados mediante procedimiento ANAVA, estadística descriptiva, análisis de regresión y correlaciones. La densidad de siembra no afectó ($P>0,05$) la mayoría de las variables morfométricas del follaje, a excepción del IR y la APR, con máximos coincidentes, cercanos a la densidad crítica de 50.000 plantas·ha⁻¹, e influenciados por limitaciones físicas del suelo. En correlaciones morfométricas, la variable AP se asoció positivamente con variables medidas en rama y en hoja ($r=0,71^{**}$); en contraste hubo asociación negativa entre el número de ramas·planta⁻¹ y el número de hojas·rama⁻¹ ($r=-0,74^{**}$). Aspectos genéticos y fisiológicos del cultivo están involucrados, sobretodo el hábito de crecimiento vertical a tasas elevadas.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, densidad de siembra, índice de robustez, correlación morfométrica.

Abstract

In order to evaluate the primary morphometric variables, of branches and leaves per plant, in moringa, an experiment was set up at the “Guachimari” farm, Maturín municipality, Monagas state, Venezuela. A nursery was created to produce seedlings, which were later transplanted to the field. A randomized block design was used, with five treatments or planting densities (16,000; 20,000; 26,666; 40,000 and 80,000 plants·ha⁻¹), four repetitions and experimental units of 9 m². The harvest was carried out 215 days after transplantation. Prior to this, the primary aerial morphometry was determined: plant height (PH), basal stem diameter, number of branches and the robustness index RI; after this, the branch morphometric variables were quantified: length, diameter, number of leaves and height to the first branch (HFB); and in the leaf: length and width. The values were studied using the ANOVA procedure, descriptive statistics, regression analysis and correlations. Planting density did not affect ($P>0.05$) most of the foliage morphometric variables, except for RI and HFB, with coinciding maxima, close to the critical density of 50,000 plants·ha⁻¹, and influenced by physical limitations of the soil. In morphometric correlations, the variable PH was positively associated with variables measured in branch and leaf ($r=0.71^{**}$); in contrast, there was a negative association between the number of branches·plant⁻¹ and the number of leaves·branch⁻¹ ($r=-0.74^{**}$). Genetic and physiological aspects of the crop are involved, especially the habit of vertical growth at high rates.

Keywords: *Moringa oleifera*, planting density, robustness index, morphometric correlation.

Citación sugerida: Granado Gimón, R. E., Romero Marcano, G. S., Silva Acuña, R. y González Betancourt, R. J. (2025). Morfometría aérea en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de siembra, en sabanas de Monagas, Venezuela. *La Técnica*, 15(1), 42-51. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.7155>

Recibido: Diciembre 05, 2024

Aceptado: Febrero 26, 2025

Publicado: Abril 16, 2025



Introducción

Moringa oleifera Lam. es una planta multipropósito, de origen asiático, que tolera largos periodos de sequía y se adapta a una amplia gama de condiciones edafoclimáticas (Carrión et al., 2022); su follaje es reconocido como excelente suplemento nutricional para humanos y animales, al poseer propiedades antioxidantes, insulino-sensibilizantes e inmuno-moduladoras. Así como también, se le atribuyen efectos anti-cancerígenos, anti-inflamatorios y actividad anti-microbiana, anti-fúngica, anti-viral y anti-helmíntica (Hernández e Iglesias, 2022).

Asimismo, puede ser propagada con factibilidad mediante el método sexual, sus semillas carecen de periodo de latencia y su viabilidad puede extenderse por un año. El cultivo de *Moringa* está mundialmente referenciado para la alimentación de especies rumiantes con mejora significativa de las variables productivas (Sánchez-Santillan et al., 2022). Kursor et al. (2019) señalaron que la especie presentó rendimientos en biomasa seca superiores a $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (aproximadamente $1,87 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), influenciados entre otras razones por la densidad de siembra. Motis y Reader (2019) lograron observar en plantaciones con programas de fertilización mixta, rendimientos de biomasa seca entre $0,12$ y $0,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, en densidades bajas de $2.285,71 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($1,25 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$).

Lago-Abascal et al. (2024) consideraron la densidad de $41.666,66 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($0,80 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$), como óptima para producir forraje de calidad, en condiciones óptimas de suelo y lluvias; densidades mayores, provocaron interacción entre las plantas por luz (fototropismo); de manera similar, Sosa-Rodríguez et al. (2017) establecieron el cultivo en distintas densidades de siembra y reportaron que a menor distancia de siembra ocurrió aumento de la altura total y el rendimiento en biomasa fue mayor; aunque, el número de brotes fue significativamente menor; además, Navas-Panadero (2019) señaló que las condiciones climáticas influyeron en el rendimiento y la relación tallo-hoja de la planta.

En la actualidad, productores y técnicos reconocen las bondades nutritivas de la *Moringa*, pero desconocen el manejo del cultivo para obtener resultados satisfactorios en producción de follaje; donde la mayor debilidad está en el establecimiento de bancos forrajeros. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar las variables morfológicas primarias incluyendo: altura de planta, diámetro basal del tallo, número de ramas y el índice de robustez por planta; y en ramas se analizaron: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama, así como la longitud y ancho de la hoja, a fin de determinar la densidad de siembra pertinente.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el fundo “Guachimari”, localidad Primero de Mayo, parroquia San Vicente, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela, localizado geográficamente en coordenadas $9^{\circ}43'00,3'' \text{ N}$ y $63^{\circ}17'55,1'' \text{ O}$ a 116 m de altitud. El área experimental se localiza en la zona agroecológica de bosque seco tropical; suelos de orden ultisol y vegetación de sabana. La pluviometría anual es de 1.069 mm y temperatura promedio de $25,8^{\circ} \text{ C}$ (Climate.data.org, 2023).

Establecimiento del vivero

Se realizó un vivero para producir las plántulas de *Moringa*. Para ello se cosecharon frutos maduros de la especie *M. oleifera* var. *supergenius*, provenientes del banco de semillas ubicado en la Agrobases “Indio Maturín”, sector Las Cayenas, parroquia Santa Cruz, municipio Maturín, estado Monagas. Previo a la siembra, las semillas fueron seleccionadas en función a tamaño (diámetro ecuatorial aproximado entre 10 y 13 mm) y coloración (testa marrón oscuro con alas blanquecinas) (Romero-Marcano et al., 2022); se desinfectaron con solución $10\% \text{ v/v}$ de hipoclorito de sodio y posteriormente se realizó un triple enjuague en agua corriente. Seguidamente, se sometieron a tratamiento pregerminativo de inmersión en agua corriente, durante las 12 horas previas a la siembra. La siembra se realizó en bolsas de polietileno negro de 2 kg , colmadas con el respectivo sustrato, constituido por 80% de suelo franco arenoso y 20% de estiércol bovino. La caracterización física y química del sustrato se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente, Campus Juanico y presentó pH de $5,81$; conductividad eléctrica de $18,16 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$; capacidad de intercambio catiónico de $3 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$; contenido de materia orgánica de $3,87\%$ y contenido de fósforo de 14 ppm .

Por bolsa, se colocaron tres semillas, a 2 cm de profundidad; inmediatamente, se saturó el sustrato con agua y de allí en adelante, las aplicaciones del riego fue interdiaria. Ocurrida la emergencia de las plántulas se realizó el raleo con tijeras, conservando la plántula más vigorosa por bolsa. La fase de vivero se condujo por 42 días. Previo al establecimiento en campo, se aplicó un muestreo aleatorio simple con “n” de 85 plántulas (N en vivero = 1000 plántulas), midiéndoles las variables: altura de plántula, diámetro de tallo y número de hojas, obteniéndose valores promedios de $49,69 \pm 0,99 \text{ cm}$; $8,71 \pm 0,12 \text{ mm}$ y $13,13 \pm 0,13$, respectivamente, con el objetivo de caracterizar el material llevado a campo.

Establecimiento del experimento en campo

El área efectiva del ensayo, ocupó 506 m^2 , incluyendo los bordes del área experimental, donde las dimensiones alcanzaron 23 m

de largo por 22 m de ancho. El experimento estuvo constituido de 20 parcelas, organizadas en cuatro franjas, separadas de 2 m; cada franja con cinco parcelas y cada parcela de 9 m², siendo sus dimensiones de 3 x 3 m. Las densidades de siembra evaluadas correspondieron a: 16.000, 20.000, 26.666, 40.000 y 80.000 plantas·ha⁻¹, donde, varió la distancia entre hileras (125, 100, 75, 50 y 25 cm, respectivamente), manteniéndose constante la distancia de 50 cm, entre las plantas. Cada densidad de siembra representada en cuatro parcelas, independientes por franja de siembra.

Previo a la siembra, se realizó la preparación manual del terreno, que comprendió el desmalezado y la demarcación de las parcelas, orientándolas en franjas de forma perpendicular a la pendiente del terreno. Delimitadas las parcelas, los puntos de siembra de 20 cm de profundidad se aperturaron con una ahoyadora a motor marca EFCO® modelo TR 1551, Italia. Realizada la siembra en campo, se efectuó el manejo agronómico correspondiente, que incluyó: desmalezado de las parcelas, a intervalos de 30 días; control de: bachacos *Atta* sp., realizado con Attilan®, colocando 5 g en la entrada de la colonia, y el control de otros insectos-plagas observados en el follaje, con aspersiones de CYPER® aplicado en concentración de 1 mL·L⁻¹. El área del ensayo estuvo comprendida dentro de un sistema de riego por aspersión. Desde el establecimiento en campo hasta el corte de uniformización transcurrieron 4 meses y medio.

Análisis físico-químico del suelo en el área experimental. Pruebas pre y post siembra

Previo a la siembra, el suelo del área experimental, se caracterizó física y químicamente. Por muestreo a 20 cm de profundidad, se determinó ser de textura franco arenoso; pH de 5,16; conductividad eléctrica de 1,65 ds·m⁻¹; materia orgánica de 2,33%; capacidad de intercambio catiónico de 1,8 meq·100 g⁻¹ y contenido de fósforo de 2,54 ppm.

Posterior a la siembra del cultivo en campo, se realizó una calicata contigua al área de la parcela experimental a la profundidad de 120 cm, caracterizándose los distintos horizontes del suelo. La densidad aparente utilizando el método Uhland, correspondió a: 1,6036 entre 0-10 cm; 1,7267 entre 10-20 cm; 1,6171 entre 20-30 cm y 1,6863 g·cm⁻³ entre 30-40 cm, respectivamente. El porcentaje de humedad en las muestras fue: 5,25% entre 0-10 cm, y de 5,46% entre 20-30 cm, siendo la velocidad de infiltración de: 0,034 entre 0-10 cm; 0,144 entre 10-20 cm; 0,408 entre 20-30 cm y 0,756 L·h⁻¹ entre 30-40 cm, respectivamente. Silva-Araujo y Mirás-Avalos (2024) señalaron que de acuerdo con las características antes mencionadas, el suelo del área experimental presentó horizontes superficiales compactados o medianamente compactados.

Corte de uniformización y cosecha

El corte de uniformización se realizó a 40 cm de altura con respecto a la base de la planta, empleándose serruchos y tijeras de podar. Posterior al corte de uniformización, se realizó una fertilización nitrogenada, con la aplicación de 10 g de

urea·planta⁻¹. La cosecha se realizó a los 90 días posteriores al corte de uniformización.

Determinación de la morfometría aérea

Pasados 90 días del corte de uniformización y previo a la realización de la cosecha se determinó la morfometría aérea primaria: altura de planta, diámetro basal del tallo, el número de ramas y el índice de robustez por planta. Realizada la cosecha, se cuantificaron las variables morfométricas de rama: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama; y en la hoja: la longitud y ancho de la misma.

Procedimiento para medir la morfometría aérea primaria

Por planta, se determinó la altura con cinta métrica flexible, tomándola desde la base de la planta hasta la yema apical; el diámetro basal del tallo a la altura de 5 cm del suelo, utilizando vernier digital MITUTOYO® modelo CD-6"CS. El número de ramas por planta se contabilizó mediante conteo visual y el índice de robustez se obtuvo de la relación entre la altura de planta (cm) y el diámetro basal del tallo (mm) (Rodríguez-Ortiz et al., 2021).

Procedimiento para medir la morfometría de rama

Por planta, se cuantificó la longitud de la rama, medida desde la base del rebrote hasta la yema apical. El diámetro de rama se midió a nivel de la base del rebrote, utilizando vernier digital MITUTOYO® modelo CD-6"CS. El número de hojas por rama se cuantificó mediante conteo visual y la altura a la primera rama se obtuvo midiendo desde la base de la planta hasta el primer rebrote, con cinta métrica flexible.

Procedimiento para medir la morfometría de la hoja

Al par de hojas basales de cada rama, se les determinó la longitud, considerada desde la base del peciolo hasta el ápice; mientras que, el ancho mayor se midió perpendicular al raquis de la hoja.

Diseño del experimento y análisis estadístico

Se implementó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos diferenciados por las cinco densidades de siembra (plantas·ha⁻¹) siendo los tratamientos, las densidades de: 16.000 (D1); 20.000 (D2); 26.666 (D3); 40.000 (D4) y 80.000 (D5), con cuatro repeticiones o bloques correspondientes a las cuatro franjas de cultivo, para un total de 20 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo representada por parcelas de 9 m².

Los datos obtenidos en las variables morfométricas y el índice de robustez fueron procesados inicialmente por las pruebas de Shapiro Wilk y de Bartlett para corroborar cumplimiento de los supuestos de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas, respectivamente.

La comparación entre tratamientos se realizó mediante procedimiento ANAVA; las variables no significativas se analizaron mediante estadística descriptiva basada en cálculos de media y error estándar, generales y por categoría de respuesta. Las variables con diferencias significativas, fueron interpretadas



mediante ajustes de regresión simple, considerando como variable independiente (X), la densidad de siembra.

Se aplicó análisis de correlación de Pearson entre las diferentes variables morfométricas aéreas, aquellas con coeficientes de correlación significativo, fueron representadas mediante diagramas de dispersión. Todos los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando el programa InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Resultados y discusión

Morfometría aérea primaria

En la tabla 1, se aprecian los valores promedios de morfometría aérea primaria en moringa, de acuerdo con la densidad de siembra; el análisis estadístico no detectó diferencia significativa en la mayoría de las variables morfométricas aéreas primarias: altura de planta, diámetro basal de tallo y número de ramas; sin embargo, para la variable índice de robustez si hubo diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Tabla 1. Morfometría aérea primaria de *Moringa*, sembradas a diferentes densidades.

Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Morfometría aérea primaria ($\bar{X} \pm EE$)			
	Altura de planta (cm)	Diámetro basal de tallo (mm)	Número de ramas	Índice de robustez
16.000	39,16±6,99	14,77±1,44	2,50±0,20	2,64±0,36
20.000	45,70±3,93	14,43±0,67	2,53±0,38	3,17±0,24
26.666	44,68±1,80	14,92±0,59	3,81±0,83	2,99±0,04
40.000	53,46±1,93	14,71±0,58	2,93±0,54	3,64±0,13
80.000	51,02±2,40	14,72±0,14	3,17±0,33	3,47±0,18
P valor	0,9835	0,9835	0,3424	0,0437
Promedio	46,80±3,41	14,71±0,68	2,98±0,45	

Para la variable altura de planta se registraron valores que oscilaron entre 39,16±6,99 y 53,46±1,93 cm; mientras que, para la variable diámetro basal de tallo se reportaron valores entre 14,43±0,67 y 14,92±0,59 mm; el número de ramas por planta presentó valores que fluctuaron entre 2,50±0,20 y 3,17±0,33.

Los valores de altura de planta obtenidos en esta investigación, fueron inferiores a los reportados por Barrios-Gómez et al. (2022) presentando altura de 86,1 cm, con densidades de siembra superiores a las manejadas en el presente experimento. Tales autores también reportaron valores de diámetro y número de ramas, superiores a los obtenidos en este ensayo, siendo de 17,55 mm y 4,7 ramas·planta⁻¹, respectivamente. Ruiz-Hernández et al. (2021) con relación al número de ramas, obtuvieron valores cercanos a los referidos en este experimento, con promedio de 2,64 ramas·planta⁻¹, en plantaciones de menor densidad de siembra (1111,11 plantas·ha⁻¹).

Los valores obtenidos pueden estar influenciados por efectos de compactación del suelo, debido a que el crecimiento del sistema radical está directamente relacionado con el crecimiento aéreo de la planta, al tener raíces de escaso tamaño, no capaces de extraer agua y nutrientes, en consecuencia, se formaron plantas de menor tamaño (Cabeza y Claassen, 2017).

En la figura 1, se observa la tendencia obtenida en la regresión con ajuste cuadrático ($R^2 = 0,81$), mostrando una curva convexa creciente, con incremento del índice de robustez desde la densidad 16.000 plantas·ha⁻¹ hasta la densidad de 56.833 plantas·ha⁻¹ (punto máximo $Y = 3,72$) y posterior descenso del índice.

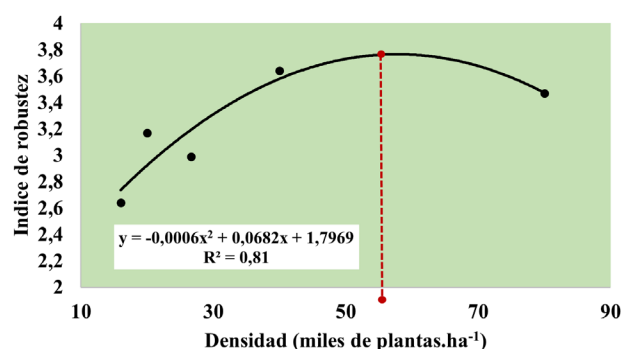


Figura 1. Índice de robustez de acuerdo con la densidad del cultivo de *Moringa*. La línea punteada en rojo, representa el punto de máxima para el índice de robustez.

Tal incremento inicial del índice de robustez entre las densidades más bajas, se interpretó como mayor crecimiento en altura con respecto al diámetro basal del tallo en la planta de *Moringa*; por su parte, el descenso del índice en las densidades más altas se entiende como mayor crecimiento en diámetro basal del tallo con respecto a la altura de la planta. Este comportamiento se puede relacionar con las condiciones físicas limitantes del suelo, debido a que en las densidades de siembra más bajas el laboreo del suelo fue menor (hoyos más distanciados) lo que indirectamente implicó mayor compactación en la parcela.

Por el contrario, en las densidades de siembra más altas, con hoyos más cercanos, hubo mayor movimiento del suelo y por ende menor compactación por el efecto del laboreo. Esta condición provocó menor estrés en las plantas, en consecuencia, Romero-Marcano et al. (2021) señalaron mayor crecimiento en diámetro del tallo de la *Moringa*, con respecto al crecimiento en altura, cuando mejoraron las condiciones de porosidad y/o fertilidad del sustrato, asociadas a mayor confort en el cultivo. Alvarado-Ramírez et al. (2020) también obtuvieron ajustes de

regresión descendentes, para el crecimiento aéreo del cultivo (en altura), coincidiendo el punto máximo cercano a 50.000 plantas·ha⁻¹.

A partir de la morfometría primaria cuantificada no logró evidenciarse un efecto directo de competencia por luminosidad, entre densidades, donde destacó más el factor suelo como limitante del crecimiento aéreo proporcional (altura:diámetro); esto aunado a que el cultivo de moringa tendió a mantener un crecimiento ortotrópico indeterminado, indistintamente fuera su situación ambiental (Alonso et al., 2021).

Morfometría de rama

En la tabla 2, se muestran los valores promedio de morfometría de rama: longitud de rama, diámetro basal de rama, número de hojas y altura a la primera rama, de acuerdo a la densidad de siembra empleada. El análisis estadístico no detectó diferencias para las variables longitud de rama, diámetro basal de rama y número de hojas por rama; no obstante, la variable altura a la primera rama presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Se obtuvo valores de longitud de rama que variaron entre $6,65 \pm 1,80$ y $10,30 \pm 2,06$ cm; para la variable diámetro basal de rama los valores oscilaron entre $3,45 \pm 0,43$ y $4,14 \pm 0,41$ mm; para el número de hojas por rama se reportaron valores entre $5,03 \pm 0,94$ y $6,05 \pm 0,63$. Estos resultados fueron inferiores a los registrados por Ledea-Rodríguez et al. (2018) que en densidad de siembra de 80.000 plantas·ha⁻¹ y frecuencia de corte de 60 días, presentaron valores en diámetro basal de rama y número de hojas por rama de 11 mm y 11 hojas·rama⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. Morfometría de ramas de *Moringa* sembrada a diferentes densidades.

Morfometría de rama ($\bar{X} \pm EE$)				
Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Longitud de rama (cm)	Diámetro basal de la rama (mm)	Número de hojas por rama	Altura a la primera rama (cm)
16.000	$6,65 \pm 1,80$	$4,08 \pm 0,76$	$5,67 \pm 0,48$	$19,56 \pm 5,43$
20.000	$7,72 \pm 0,89$	$3,45 \pm 0,43$	$5,48 \pm 0,49$	$27,09 \pm 3,21$
26.666	$6,72 \pm 1,33$	$3,92 \pm 0,97$	$5,03 \pm 0,94$	$25,14 \pm 2,25$
40.000	$10,30 \pm 2,06$	$4,14 \pm 0,41$	$6,05 \pm 0,63$	$33,05 \pm 1,25$
80.000	$9,94 \pm 1,66$	$4,03 \pm 0,41$	$5,44 \pm 0,30$	$29,53 \pm 2,41$
P valor	0,4490	0,9413	0,8203	0,0120
Promedio	$8,26 \pm 1,54$	$3,92 \pm 0,59$	$5,53 \pm 0,56$	

En la figura 2 se observa la tendencia obtenida en la regresión con ajuste cuadrático ($R^2 = 0,81$), exhibiendo una curva convexa creciente, con incremento de altura a la primera rama desde la densidad 16.000 plantas·ha⁻¹ hasta la densidad 55.610 plantas·ha⁻¹ (punto máximo $Y = 34,62$ cm) y posterior descenso.

El aumento en altura de la primera rama con el incremento de la densidad de siembra pudiese interpretarse como una respuesta fisiológica de la planta ante las condiciones de competencia por luz y espacio en la parcela, donde a medida que aumentó la población del cultivo hubo menos disponibilidad lumínica y espacial por planta, por lo cual el rebrote se espera tienda a

aparecer en zonas superiores del tallo (Lago-Abascal et al., 2024); sin embargo, si este fuese el caso, el modelo de regresión esperado sería lineal, y las densidades más altas reportarían elevación continua de la variable, lo cual no sucedió. En cambio, este ascenso inicial en la curva, pareciera estar asociado a las tendencias de altura y diámetro obtenidas en el índice de robustez, donde la planta al presentar mayor crecimiento proporcional en altura, tendió a elevar la ubicación de los rebrotes.

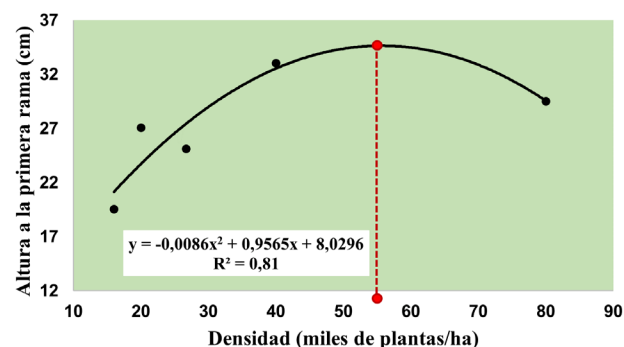


Figura 2. Altura a la primera rama (cm) de acuerdo con la densidad del cultivo de *Moringa*. La línea punteada en rojo, representa el punto de máxima para la altura del rebrote basal (cm).

El descenso en altura de la primera rama en las parcelas de mayor densidad pudo atribuirse a un efecto compensatorio debido al mejor desarrollo radical de estas plantas en un sustrato menos compactado, lo que permitió a la planta la formación de mayor follaje haciéndola menos sensible a la competencia lumínica y espacial asumida (Alonso et al., 2021; Romero-Marcano et al., 2021).

Morfometría de la hoja

En la tabla 3, se presentan los valores de morfometría de la hoja: longitud de hoja y ancho mayor de hoja, de acuerdo a las densidades de siembra estudiadas. El análisis estadístico no detectó diferencias en ninguna de las variables morfométricas de la hoja. La longitud de hoja reportó valores entre $9,25 \pm 2,61$ y $11,65 \pm 0,88$ cm; por su parte, el ancho mayor de hoja registró valores entre $5,23 \pm 1,46$ y $8,25 \pm 0,53$ cm.

Alvarado-Ramírez et al. (2020) registraron longitudes de hoja de 4,44; 20,43 y 19,49 cm en plantación experimental de *Moringa* con tres densidades de siembra 50.000, 100.000 y 200.000 plantas·ha⁻¹, respectivamente, con intervalos de corte de 28 días. La comparación directa indicó que todas las longitudes de hoja encontradas en esta investigación, lograron superar ampliamente el valor citado en la densidad de 50.000 plantas·ha⁻¹, esto debido al manejo de intervalos de corte más prolongados (90 días).

De manera general la falta de diferencias significativas en las variables de crecimiento aéreo del cultivo de *Moringa* resultó una constante experimental; autores como Ledea-Rodríguez et

al. (2018) y Barrios-Gómez et al. (2022) constataron este mismo comportamiento en condiciones de campo, lo cual fue atribuido principalmente al crecimiento acelerado de la especie *M. oleifera*, particularidad genética que se expresó indistintamente fuera la condición ambiental (Alonso et al., 2021).

Tabla 3. Morfometría de la hojas de *Moringa* sembrada a diferentes densidades.

Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Morfometría de hoja en cm (X±EE)	
	Longitud de hoja	Ancho mayor de hoja
16.000	9,25±2,61	5,23±1,46
20.000	9,94±0,23	7,12±0,45
26.666	8,97±1,51	6,90±1,97
40.000	11,65±0,88	8,25±0,53
80.000	11,31±1,25	7,68±1,40
P valor	0,5764	0,4977
Promedio	10,22±1,29	7,03±1,16

De manera general la falta de diferencias significativas en las variables de crecimiento aéreo del cultivo de *Moringa* resultó una constante experimental; autores como Barrios-Gómez et al. (2022) y Ledea-Rodríguez et al. (2018) constataron este mismo comportamiento en condiciones de campo, lo cual fue atribuido principalmente al crecimiento acelerado de la especie *M. oleifera*, particularidad genética que se expresó indistintamente fuera la condición ambiental (Alonso et al., 2021).

Correlaciones morfométricas

El análisis estadístico de asociación entre las variables morfométricas detectó correlación significativa y altamente significativa en 10 combinaciones, donde participaron las variables altura de planta, altura a la primera rama, número de ramas·planta⁻¹, número de hojas·rama⁻¹, diámetro de rama, longitud de rama, longitud de hoja y ancho mayor de hoja, descritas a continuación de forma detallada.

Correlación entre la altura de planta vs. altura a la primera rama y longitud de hoja. La variable presentó valores positivos, altamente significativos con respecto a las variables altura del primer rebrote y longitud de hoja (0,83** y 0,74** respectivamente), lo que indicó que a medida que aumentó la altura de la planta también aumentaron los valores de altura a la primera rama y de longitud de hoja (figura 3).

Debido a que la planta de *Moringa* priorizó el crecimiento en longitud (principalmente en su eje vertical) con tasas de crecimiento aproximadas a 23 mm·día⁻¹ (Valdés-Rodríguez et

al., 2018), la elongación del tallo provocó que las brotaciones inferiores se ubicaran a mayor altura en el tallo de la planta, y aparentemente tal estímulo de elongación puede extenderse hasta el crecimiento en longitud de la hoja.

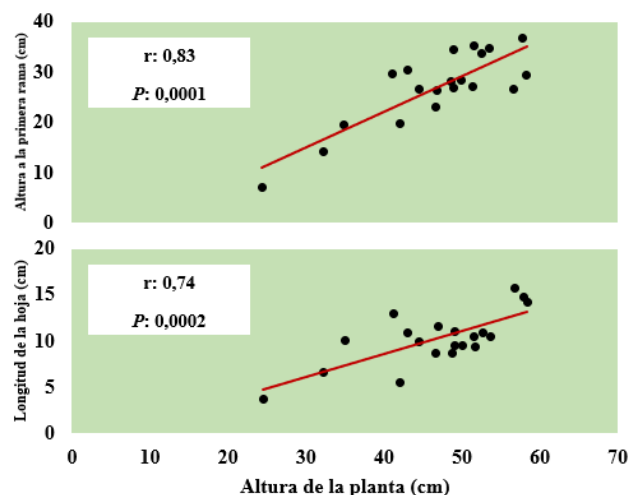


Figura 3. Correlaciones entre las variables morfométricas: altura de la planta en cm (eje X) vs altura a la primera rama en cm (a) y longitud de la hoja en cm (b).

Tal comportamiento de asociación entre altura de planta y medidas relacionadas con la hoja, se evidenció en ensayo realizado por Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2019) que obtuvieron correlación positiva, y altamente significativa entre la altura de la planta y el área foliar ($r = 0,90^{**}$) en plantas adultas de solanáceas. Entretanto, Barrios-Gómez et al. (2022) mostraron correlaciones positivas y altamente significativas entre la variable rendimiento total de biomasa aérea con respecto a la altura de planta y rendimiento total de hoja, en plantas de moringa establecidas en alta densidad.

El análisis del grado de asociación entre el número de ramas·planta⁻¹ vs. número de hojas·rama⁻¹: se observó correlación negativa altamente significativa con respecto a la variable número de hojas·planta⁻¹ ($-0,74^{**}$) se pudo observar que a medida que aumentó el número de ramas·planta⁻¹ disminuyó el número de hojas·rama⁻¹ (figura 4).

La relación estadística podría ser interpretada en respuesta a un efecto compensatorio de carácter genético donde se regula el área foliar fotosintéticamente activa del cultivo en las diferentes densidades de siembra.

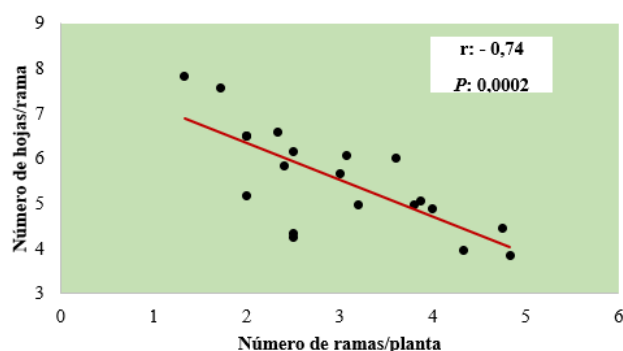


Figura 4. Correlación entre las variables morfométricas: número de ramas.planta⁻¹ vs número de hojas.rama⁻¹.

Relación entre el grado de asociación entre el diámetro de rama vs. longitud de rama, número de hojas.rama⁻¹, longitud de la hoja y ancho de la hoja. La variable diámetro de rama mostró correlación positiva altamente significativa con las variables longitud de rama, número de hojas.rama⁻¹, longitud de la hoja y ancho de la hoja (0,75**; 0,71**; 0,77** y 0,75** respectivamente), lo que indicó que al aumentar el diámetro de la rama también aumentó la longitud de la rama, el número de hojas.rama⁻¹, la longitud de la hoja y el ancho de la hoja (figura 5).

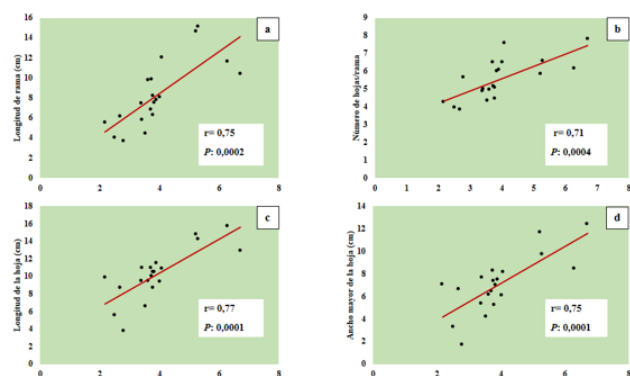


Figura 5. Correlaciones entre las variables morfométricas: diámetro de rama en mm (Eje X) y longitud de rama en cm (a); número de hojas.rama⁻¹ (b); longitud de la hoja en cm (c) y ancho mayor de la hoja en cm (d)

El comportamiento de la planta entendido desde el punto de vista estadístico indica una estrecha y acelerada relación fisiológica en la moringa, entre la formación de tejido fotoactivo y el desarrollo de estructuras semi leñosas en el arbusto, al corresponder una condición de engrosamiento de tallos y ramas, con la expansión foliar de la copa, tal como lo argumentaron Garate-Quispe et al. (2022) en correlaciones positivas similares referidas en plantas forestales.

Relación entre la longitud de rama vs. longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja. La variable longitud de rama presentó correlación positiva altamente significativa con respecto a las variables longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja (0,83** y 0,80**, respectivamente); se pudo evidenciar que a medida que

aumentó la longitud de rama, se incrementaron los valores de longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja (figura 6).

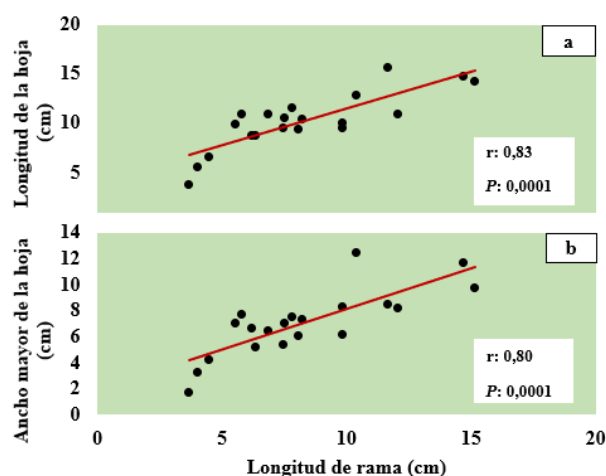


Figura 6. Correlaciones entre las variables morfométricas: longitud de rama en cm (eje X) vs longitud de la hoja en cm (a) y ancho mayor de la hoja en cm (b).

El patrón biológico describió la condición fenológica del cultivo donde las dimensiones de las ramas obviamente estuvieron vinculadas con las dimensiones foliares, al considerar que el follaje de moringa presentó niveles elevados de zeatina (familia de las citoquininas), el crecimiento de ramas y hojas puede ser permanentemente estimulado por estos fitoreguladores, tal como lo afirmaron Ortiz-Rojas et al. (2017).

El análisis de correlación entre la longitud de la hoja vs. ancho mayor de la hoja, indicó que la variable longitud de hoja presentó valor positivo, altamente significativo, con respecto a la variable ancho mayor de hoja (0,88**), tales hallazgos indicaron que al aumentar la longitud de hoja, el ancho mayor aumentó de manera proporcional (figura 7).

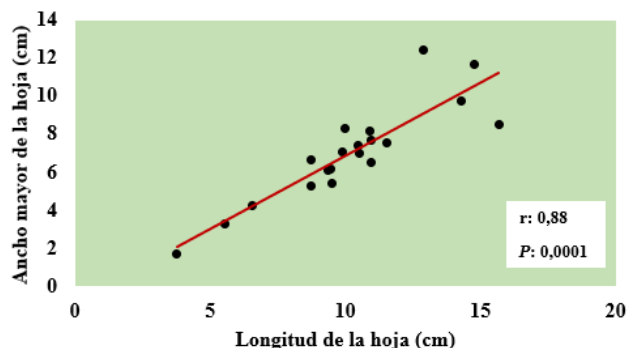


Figura 7. Correlación positiva entre las variables morfométricas: longitud de la hoja en cm y ancho mayor de la hoja en cm.

Se trata de una posible relación de proporcionalidad controlada desde el punto de vista genético y fisiológico del cultivo de la *Moringa* en las condiciones de manejo de densidades de siembra de la especie. Siendo la hoja de *Moringa*, rica en citoquininas, entre las funciones de este fitoregulador, se encuentra la división celular y la morfogénesis de los tejidos, con participación en la defensa contra estreses abiótico y biótico, en la propagación *in vitro* de plantas y en el aumento del rendimiento de los cultivos (Borjas-Ventura et al., 2020).

Comportamiento similar entre longitud y ancho mayor de la hoja fue observado por Del Castillo-Batista et al. (2017) que presentaron valores de correlación positiva significativa ($r=0,77^{**}$), relacionando dichas variables morfométricas en plantas del género *Cestrum* (Familia Solanaceae).

Los hallazgos constatados en las condiciones experimentales en el bosque seco tropical, con relación a la inexistencia de diferencias para las variables de morfometría aérea primaria, de ramas y de hojas, indicaron que sus valores no estuvieron vinculados con las densidades de siembra evaluadas; aunque, el índice de robustez y la altura a la primera rama permitieron señalar alternativas válidas para seleccionar una mejor condición en la densidad de siembra. Las correlaciones morfométricas estudiadas, indicaron grado de asociación de las variables cuantificadas y describieron, en la mayoría de los casos, un crecimiento proporcional del follaje en función de la altura de la planta; además, de constatar que hubo un comportamiento inverso (compensatorio) entre el número de ramas por planta y el número de hojas por rama, que pudiese justificar la uniformidad del follaje ante diferentes circunstancias de comparación.

Conclusión

La densidad de siembra no afectó la mayoría de las variables morfométricas aéreas de la moringa, excepto el índice de robustez y la altura a la primera rama, con máximos coincidentes, cercanos a una densidad crítica de 50.000 plantas·ha⁻¹, influenciados por limitaciones físicas del suelo.

En el estudio de correlaciones morfométricas, la variable altura de planta se asoció positivamente con variables medidas en rama y en hoja; en contraste hubo asociación negativa entre el número de ramas·planta⁻¹ y el número de hojas·rama⁻¹, estas asociaciones involucran aspectos relacionados a la genética y fisiología del cultivo de moringa y sobretodo el hábito de crecimiento vertical a tasas elevadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alonso Lazo, J., Do Rosario Vieira, I. T., Ferreira Rabelo Fernandes, M., Rocha, L. M., De Paiva Ferreira, G. A., Zuba Junio, G. R., Tuffi Santos, L. D. y Arruda Sampaio, R. (2021). Crecimiento y desarrollo de posturas de *Moringa oleifera*, producidas en sustratos con lodo de alcantarilla y estiércol bovino. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), 237-246. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802021000200011&lng=es&tng=es.
- Alvarado Ramírez, E. R., Garay Martínez, J. R., Estrada Drouaillet, B., Martínez González, J. C., Rojas García, A. R. y Joaquín Cancino, S. (2020). Variación morfológica en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de población. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 166-176. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2367>
- Barrios-Gómez, E. J., Rangel-Estrada, S. E., Canul-Ku, J., Hernández-Arenas, M., Hernández-Meneses, E. y González-Pérez, E. (2022). Evaluación morfológica de seis grupos de moringa formados a partir de una población. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 2034-2049. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/48213>.
- Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A. y Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2). DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>.
- Cabeza, R. A. y Claassen, N. (2017). Sistemas radicales de cultivos: extensión, distribución y crecimiento. *Agro Sur*, 45(2), 31-45. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/5894>.
- Carrión Delgado, J. M., Valdés Rodríguez, O. A., Gallardo López, F. y Palacios Wassenaar, O. M. (2022). Potencial agroecológico de *Moringa oleifera* Lam. para el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 42-63. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1077>.
- Climate.Data.Org. (2023). Maturín. <https://es.climatedata.org/search/?q=maturin>.

- Del Castillo-Batista, A. P., Ponce-Saavedra, J. y Montero-Castro, J. C. (2017). Análisis morfométrico de *Cestrum guatemalense*, *C. mexicanum* y *C. pacayense* (Solanaceae). *Rev. Mex. Biodiv.*, 88(1), 56-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5876454>.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). INFOSTAT versión 2020. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. <http://www.infostat.com.ar>. (Acceso 18.11.2023).
- Elizondo Cabalceta, E. y Monge Pérez, J. E. (2019). Pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Posgrado y Sociedad*, 17(2), 33-60. DOI: <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i2.2278>.
- Garate-Quispe, J., Usca-Mandujano, M., Herrera-Machaca, M. y Alarcón-Aguirre, G. (2022). Efecto del espaciamiento de plantación en la morfometría de copa de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castaña) en la Amazonía Peruana. *Información Tecnológica*, 33(3), 179-188. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000300179>.
- Hernández Rodríguez, J. e Iglesias Marichal, I. (2022). Efectos benéficos de la *Moringa oleifera* en la salud de las personas. *Rev. Cuba. Med. Gen. Integr.*, 38(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252022000100017&lng=en&tlng=en.
- Korsor, M., Ntahonshikira, C., Bello, H. M. y Kwaambwa, H. M. (2019). Rendimiento del crecimiento de *Moringa oleifera* y *Moringa ovalifolia* en el entorno de pastizales semiáridos del centro de Namibia. *Ciencias Agrícolas*, 10, 131-141. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2019.102011>.
- Lago-Abascal, V., Matos-Oliveros, S., Almora-Hernández, E., Pereira-Cuní, L., Monteagudo-Borges, R. y Rodríguez-Jiménez, E. (2024). Evaluación de diferentes densidades de cultivo de *Moringa oleifera* y su manufactura como suplemento nutricional. *Ingeniería Agrícola*, 14(1). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1830>.
- Ledea-Rodríguez, J. L., Alonso, G. R., Benítez-Jimenez, D. G., Crucito-Arias, R., Ray-Ramírez, J. V., Nuviola-Pérez, Y. y Reyes-Pérez, J. J. (2018). Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de *Moringa oleifera*, variedad *Criolla*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 425-431. <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.30436>.
- Motis, T. N. and Reader, S. M. (2019). *Moringa oleifera* leaf production with NPK fertilizer and composted yard waste. *Acta Hort.*, 1253, 405-412. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1253.53>.
- Navas Panadero, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207-218. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v20n2/0122-8706-ccta-20-02-00207.pdf>.
- Ortiz-Rojas, L. Y., Suárez-Botello, J. C. y Chaves-Bedoya, G. (2017). Respuesta en el desarrollo radicular de *Arabidopsis thaliana* al extracto foliar de *Moringa oleifera*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 193-199. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6131>.
- Rodríguez-Ortiz, G., José-Hernández, Y., Enríquez-Del Valle, J. y Campos-Angeles, G. (2021). Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. CIENCIA ergo-sum, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 28(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10464915007>.
- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R. y Maza, I. J. (2021). Calidad morfológica en plántulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) producidas en sustratos compuestos de suelo y estiércol animal. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(35), 54-72. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1090>.
- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R. y Sánchez-Cuevas, M. C. (2022). Fitopatógenos fúngicos asociados a semillas de moringa en el estado Monagas, Venezuela. *La Calera*, 22(39), 118-126. DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.15094>.
- Ruiz-Hernández, R., Pérez-Vázquez, A., García-Pérez, E., Landeros-Sánchez, C., Morales-Trejo, F. y Soto-Hernández, R. M. (2021). Caracterización morfológica de accesiones de *Moringa oleifera* provenientes del sur-sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1209-1222. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2632>.
- Sánchez-Santillán, P., Rivera-Cristobal, C., Torres-Salado, N., Almaraz-Buendía, I. y Herrera-Pérez, J. (2022). Características químicas y fermentativas in vitro de dietas para becerros con inclusiones crecientes de vaina y hojas de *Moringa oleifera*. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 23(3), e2685. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2685.
- Silva-Araujo, E. y Mirás-Avalos, J. M. (2024). Densidad aparente. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Zaragoza, España. <https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/6722/8/Densidad.pdf>.
- Sosa-Rodríguez, A. A., Ledea-Rodríguez, J. L., Estrada-Prad, W. y Molinet-Salas, D. (2017). Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleifera*). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 207-212. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637016>.



Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., Ruíz-Hernández, R. y Pérez-Vásquez, A. (2018). Potencial de la asociación *Moringa* y *Ricinus* en el subtrópico

veracruzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(9), 1673-1686. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1056>.

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Raúl E. Granado Gimón: investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Guillermo S. Romero Marcano:** conceptualización, supervisión, curación de datos, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Ramón Silva Acuña:** conceptualización, metodología, análisis formal, redacción-revisión y edición final. **Rodolfo J. González Betancourt:** investigación, metodología, supervisión, redacción-revisión y edición.



Prevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica en el período 2010-2021. Revisión sistemática y meta-análisis

Prevalence of brucellosis in sheep and goats in the regions of Central America and the Caribbean and South America in the period 2010-2021. Systematic review and meta-analysis

Autores

¹José Roberto Velásquez Navarrete

✉ jorobe_23@hotmail.es

^{2*}Marina Dalila Zambrano Aguayo

✉ marina.zambrano@utm.edu.ec

¹Cesar Augusto Zamora Macías

✉ lolozamora1994@hotmail.com

²Daniel Isaias Burgos Macías

✉ gonzalezbetancourtrodolfo@gmail.com

³Oswaldo Fonseca-Rodríguez

✉ osvaldo.fonseca@umu.se

⁴Miguel Pérez Ruano

✉ migperez@unah.edu.cu

¹Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

²Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Medicina Veterinaria. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

³Umeå University, Department of Epidemiology and Global Health, Sweden.

⁴Universidad Agraria de la Habana, Cátedra “Una Sola Salud”. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Citación sugerida: Velásquez Navarrete, J. R., Zambrano Aguayo, M. D., Zamora Macías, C. A., Burgos Macías, D. I., Fonseca-Rodríguez, O., y Pérez Ruano, M. (2025). Prevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica en el período 2010-2021. Revisión sistemática y meta-análisis. *La Técnica*, 15(1), 52-66. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.6242>

Recibido: Septiembre 8, 2024

Aceptado: Febrero 26, 2025

Publicado: Abril 20, 2025

Resumen

Con el objetivo de determinar mediante una revisión sistemática y meta-análisis la prevalencia combinada de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica e identificar si existen diferencias en su comportamiento en el tiempo, las especies estudiadas, la región geográfica y en las especies del género *Brucella* investigadas, se recuperaron artículos publicados en las bases de datos electrónicas: PubMed/PubMed Central, Science Direct, SciELO, EBSCO, Springer Link, Elsevier y Google Scholar en el período 2010-2021. Se calculó la seroprevalencia individual de brucelosis para cada estudio y se realizó un meta-análisis para estimar la prevalencia combinada y para el análisis de subgrupos se realizó un análisis de meta-regresión para cada variable incluida en el estudio por separado y las variables con valores de $P < 0,01$ se utilizaron en el análisis de meta-regresión multivariada. Se identificaron 48 artículos que cumplían los criterios para ser incluidos en el estudio de 14 países y territorios de las regiones estudiadas, seis de la región de Centroamérica y el Caribe y ocho de Sudamérica, demostrándose que existen pocos artículos que informen sobre la seroprevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en estas regiones. Se comprobó que existe una elevada prevalencia combinada de la enfermedad y que la misma fue mayor para *B. ovis* con respecto a *Brucella* spp. y en el período de 2010 al 2016 con respecto al período del 2017 al 2021. No se encontraron diferencias en la prevalencia combinada entre los ovinos y caprinos ni entre las regiones estudiadas.

Palabras clave: brucelosis, pequeños rumiantes, prevalencia, meta-análisis.

Abstract

In order to determine through a systematic review and meta-analysis the combined prevalence of brucellosis in sheep and goats in the regions of Central America, the Caribbean and South America and to identify if there are differences in their behavior over time, the species studied, the geographic region and the species of the genus *Brucella* investigated, articles published in the electronic databases PubMed/PubMed Central, Science Direct, Scielo, Ebsco, Springer Link, Elsevier and Google Scholar in the period 2010-2021 were retrieved. Individual brucellosis seroprevalence was calculated for each study and a meta-analysis was performed to estimate pooled prevalence and for subgroup analysis a meta-regression analysis was performed for each variable included in the study separately and variables with P -values < 0.01 were used in the multivariate meta-regression analysis. Forty-eight articles were identified that met the criteria for inclusion in the study from 14 countries and territories in the regions studied, six from the Central America and Caribbean region and eight from South America, showing that there are few articles reporting on the seroprevalence of brucellosis in sheep and goats in the regions studied. It was found that there is a high combined prevalence of the disease and that it is higher for *B. ovis* with respect to *Brucella* spp. and in the period from 2010 to 2016 with respect to the period from 2017 to 2021. No differences were found in the combined prevalence between sheep and goats or between the regions studied.

Keywords: brucellosis, small ruminants, prevalence, meta-analysis.



Introducción

La brucelosis es una enfermedad infecciosa causada por bacterias del género *Brucella* (Alves de Oliveira et al., 2016) que afecta un gran número de especies de animales y es considerada una de las enfermedades zoonóticas más comunes a nivel mundial, reportándose más de medio millón de casos humanos anualmente (Ran et al., 2018), las especies *Brucella melitensis* and *B. ovis* son los agentes primarios de la brucelosis en los pequeños rumiantes (Rossetti et al., 2022), aunque *B. abortus* también puede afectar estas especies animales (Akhvledian et al., 2010, Sorsa et al., 2022).

La brucelosis causada por *B. melitensis* provoca abortos, la presentación de crias mortinatos y el parto de crías débiles también son los signos clínicos característicos de la enfermedad que se asocia con un impacto negativo extenso en la productividad de un rebaño. Esta especie de *Brucella* es la más virulenta para los humanos y es responsable de una enfermedad severamente debilitante e incapacitante en los mismos (Rossetti et al., 2017).

La especie *B. ovis* es el agente etiológico de la epididimitis contagiosa del carnero, enfermedad crónica que provoca importantes pérdidas económicas en las explotaciones ovinas asociadas a lesiones genitales y reducción de la fertilidad en los machos, en ocasiones puede provocar también mortalidad embrionaria, aborto o infertilidad en ovejas y aumento de la mortalidad perinatal en corderos (Fiorentino et al., 2017).

La brucelosis se presenta de forma endémica en los países en desarrollo, incluyendo los países de Latinoamérica (Moreno, 2002; Lucero et al., 2008) y se caracteriza en los pequeños rumiantes por producir abortos, retención de placenta, infertilidad, orquitis, epididimitis entre otras patologías (Shome et al., 2021).

La producción de pequeños rumiantes se ha incrementado en los últimos años (Farias et al., 2013), reportándose una población de ovinos y caprinos en las Américas en el año 2020 de 82.740.751 y 39.194.276 de cabezas, respectivamente (FAO, 2022). Un elevado porcentaje de las poblaciones de estos animales se concentra en países pobres, que carecen de los recursos necesarios para el diagnóstico y control de la brucelosis (Geresu y Kassa, 2016), lo que se constituye en un importante desafío a la salud pública debido a que estos animales son reservorios de esta enfermedad (Ran et al., 2018) y los humanos pueden infectarse a partir del consumo de leche sin pasteurizar, productos elaborados con esta o el manejo de animales infectados (Mazlan et al., 2021).

El control de la brucelosis en los pequeños rumiantes puede contribuir a la reducción de la enfermedad en los humanos; sin

embargo, el conocimiento del comportamiento de la enfermedad y su epidemiología es el primer requisito para el desarrollo de una campaña para el control de la enfermedad (Ran et al., 2018).

En el periodo del 2010 y 2020, se reportó un total de 16 países de las regiones de Centro América y el Caribe y Sudamérica afectados por brucelosis en los ovinos y caprinos (OIE, 2022), lo cual denota la importancia de esta enfermedad en estas regiones.

La evaluación de la prevalencia de la enfermedad en las diferentes especies a partir del uso de un meta-análisis permitió establecer una guía basada en las evidencias para una mejor prevención, control y erradicación de la enfermedad (Dahl, 2020; Dadar et al., 2021), es por ello que se propuso como objetivo determinar mediante una revisión sistemática y meta-análisis la prevalencia combinada de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica, a partir de la información que brindaron artículos publicados en bases de datos electrónicas en el periodo 2010-2021 e identificar si hubo diferencias en su comportamiento en el tiempo, las especies estudiadas, la región geográfica y en las especies del género *Brucella* investigadas.

Materiales y métodos

Estrategia de búsqueda de literatura

Se utilizaron en el estudio artículos publicados en las bases de datos electrónicas: PubMed/PubMed Central, Science Direct, SciELO, Ebsco, SpringerLink, Elsevier y Google Scholar en el período 2010-2021. La búsqueda de artículos se realizó siguiendo los términos del encabezado de materia médica (MeSH). Los términos de búsqueda clave fueron: (Brucelosis OR *Brucella*) AND (Ovino OR Caprino) AND (Seroprevalencia OR Prevalencia OR Seroepidemiología) AND (Sudamérica OR Centro América OR Caribe OR País en específico). Se utilizaron estos mismos términos en idioma inglés. Se incluyeron en el estudio además de los artículos científicos, tesis de maestrías y doctorado.

Criterios de inclusión y exclusión

Se utilizaron los siguientes criterios de inclusión para confirmar la elegibilidad de los artículos buscados: 1) estudios publicados entre 2010 y 2021; 2) artículos de investigación originales revisados por pares y tesis de posgrado realizados en Sudamérica y Centroamérica y el Caribe; 3) estudios transversales que informaron la seroprevalencia de la brucelosis en las especies ovina y caprina dentro de cualquiera de los sistemas de manejo (intensivo o extensivo); 4) estudios de los cuales estuvieron disponibles los textos completos; 5) que utilizaron en el diagnóstico las técnicas serológicas recomendadas por la

Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2021); 6) los estudios que proporcionaron el tamaño de la muestra y el número de muestras positivas. Además, las referencias de los artículos seleccionados se verificaron manualmente para encontrar artículos relevantes que no se recuperaron en la búsqueda en la base de datos.

Análisis de calidad

Para el análisis de calidad se seleccionaron dos personas y se utilizó la metodología “Fortalecimiento de la notificación de estudios observacionales en epidemiología” (STROBE), que incluyó 22 aspectos, dentro de los cuales se encontraban los objetivos, los diferentes componentes de los materiales y métodos como fueron: el diseño del estudio, tamaño de la muestra, población del estudio, sesgo, métodos de calibración, resultados y limitaciones. Los puntajes asignados se determinaron de 0 a 44 y los artículos buscados en tres grupos: baja calidad (<15,5), buena calidad (15,5-29,5) y alta calidad: (30,0-44,0) (Von Elm et al., 2007) y se incluyeron en el estudio los artículos que cumplieron con los criterios de alta y buena calidad, eliminándose aquellos clasificados de baja calidad.

Selección de estudios y extracción de datos

Se utilizó el software BIVET (Romero, 2019) para indexar los registros identificados. Se documentaron y eliminaron registros duplicados. Se examinaron de forma independiente el título y los resúmenes con criterios de inclusión predefinidos y se recopilaron de forma independiente los textos completos y evaluada su elegibilidad para su inclusión final.

Se elaboró un formato de extracción de datos con base en el primer autor, año de publicación, año de estudio, ubicación geográfica (países), diseño del estudio, método de muestreo, tamaño de muestra, prueba diagnóstica, especie animal muestreada, especie del género *Brucella* muestreada (las especies *B. abortus* y *B. melitensis* se reportaron como *Brucella* spp. pues la serología convencional no las puede diferenciar), número de muestras positivas y sus correspondientes casos negativos. Se calculó la seroprevalencia individual de brucelosis dividiendo el número de casos positivos por el número total de individuos utilizados para el estudio en una población determinada en un período determinado y multiplicándolo por 100. El tamaño del efecto del estudio y sus correspondientes intervalos de confianza se calcularon a partir de los datos extraídos. Se utilizó una hoja de datos de Microsoft Excel para codificar y gestionar toda la información extraída de todos los estudios relevantes. Para informar los resultados del estudio se utilizó la metodología PRISMA (Shamseer et al., 2015).

Análisis estadístico

Se realizó un meta-análisis para estimar de la prevalencia combinada, el cual se realizó mediante la fórmula proporcionada por Barendregt et al. (2013). Se empleó un diagrama para presentar las variaciones entre los estudios, los resultados del

meta-análisis que mostraron estimaciones de la seroprevalencia y sus IC correspondientes de todos los estudios incluidos junto con el tamaño del efecto agrupado. De manera similar, se realizó un análisis de subgrupos para determinar el efecto de los países, las regiones geográficas (Sudamérica y Centro América y el Caribe), la especie animal (ovinos y caprinos), especie de *Brucella* investigada (*Brucella* spp. y *B. ovis*) y el período de publicación de los artículos (2010-2016 y 2017-2021) sobre la prevalencia combinada de brucelosis.

Se calcularon estadísticas Q de Cochran e índice de varianza inversa (I^2) para determinar la heterogeneidad e inconsistencia (variación verdadera) entre los estudios, respectivamente. De manera similar, se consideraron los valores de I^2 de 25, 50 y 75% como heterogeneidad baja, media y alta, respectivamente (Higgins y Thompson, 2002).

Se evaluó la varianza de las estimaciones del tamaño del efecto en la población del estudio utilizando la estadística tau (τ^2). También se construyó el diagrama de gráfico de Galbraith para evaluar las heterogeneidades de las estimaciones del nivel de estudio. Con base en el resultado de la evaluación de heterogeneidad, se utilizó el método de efectos aleatorios de Der Simonian y Laird (si el valor P de la prueba Q era <0,05 e I^2 era >50%) o el método de efectos fijos de Mantel-Haenszel para agrupar las estimaciones (Tufanaru et al., 2015).

A continuación, se visualizaron los efectos del estudio pequeño y la presencia de sesgo de publicación utilizando diagramas de gráfico de embudo y pruebas de asimetría de Egger y Begg (Borenstein et al., 2009). Se calculó un gráfico de embudo utilizando el logaritmo del tamaño del efecto y su correspondiente error estándar del tamaño del efecto.

Para realizar el metaanálisis se utilizó el paquete *meta* versión 4.18-1 del software R (R Development Core Team. R, 2020). La heterogeneidad entre los subgrupos se probó además mediante un análisis de meta-regresión, comprobándose también mediante esta prueba la relación de la prevalencia con la región geográfica, el período de estudio y la especie animal. Se realizó un análisis de meta-regresión para cada variable incluida en el estudio por separado y las variables con valores de $P < 0,01$ se utilizaron en el análisis de meta-regresión multivariada.

Resultados y discusión

Se identificaron 48 artículos que cumplieran los criterios para ser incluidos en el estudio. Solo se reportaron estudios de la prevalencia de brucelosis en 14 países y territorios de las regiones estudiadas, seis de la región de Centroamérica y el Caribe y ocho de Sudamérica, el 18,75 y 61,53% respectivamente, de los países que conforman estas regiones, concentrándose el 70,83% de los mismos en tres países, Brasil, México y Argentina (tabla 1; figura 1).



Tabla 1. Distribución de los artículos incluidos por países y región geográfica.

Zona geográfica	Artículos incluidos	Referencias	Investigados	Positivos	% de positivos	IC 95%
Centro América y el Caribe	16**		13.243	825	6,23	5,83-6,55
Dominica	1	Johnson et al., 2020	194	0	0	0,00-1,94
El Salvador	1	Linderot de Cardona et al., 2016	731	0	0	0,00-0,52
Granada	1	Johnson et al., 2020	184	0	0	0,00-2,05
México	11	Ortega-Sánchez et al., 2012; Carrera Chávez et al., 2013; Oseguera Montiel et al., 2013; García-Juárez et al., 2014; Banda Castillo, 2015; Flores et al., 2015; Gutiérrez Hernández et al., 2015; Marin et al., 2015; Hernández et al., 2016; Román-Ramírez et al., 2017; Román-Ramírez et al., 2020	11.616	825	7,10	6,65-7,58
Montserrat	1	Johnson et al., 2020	168	0	0	0,00-2,24
San Cristobal y Nieves	1	Johnson et al., 2020	350	0	0	0,00-1,09
Sudamérica	35		52.890	2.841	5,37	5,18-5,57
Argentina	6	Mancebo et al., 2011; Gaido et al., 2013; Russo et al., 2016; López et al., 2018; Martinez et al., 2018; Simonetti et al., 2019	37.853	2.157	5,70	5,47-6,31
Bolivia	2	Beltrán-Saavedra et al., 2010; Zambriski et al., 2010	271	0	0,00	0,00-1,40
Brazil	17	Alves et al., 2010; Juliano et al., 2011; Costa et al., 2012; Marinho et al., 2012; Martins et al. 2012; Ribeiro Araújo et al., 2013; Santos et al., 2013; Ximenes Martins et al., 2013; Rizzo et al., 2014; Machado et al., 2015; Alves de Oliveira et al., 2016; De Moraes Peixoto et al., 2016; dos Santos et al., 2016; Santos et al., 2016; Alexandre Alves et al., 2017; Alves da Silva et al., 2017; de Araújo Teixeira et al., 2021	9.876	565	5,72	5,28-6,20
Chile	1	Troncoso et al., 2014	40	5	12,50	5,46-26,11
Colombia	1	Tique et al., 2010	329	0	0,00	0,00-1,15
Ecuador	5	Zabala et al. 2012; Poulsen et al., 2014; Purtschert Barahona et al., 2017; Ron-Román et al., 2017; Moscoso Gómez et al., 2019	2.827	38	1,34	0,98-1,84
Perú	1	Campos y Morales-Cauti, 2020	926	1	0,11	0,02-0,61
Venezuela	2	Valeris-Chacín et al., 2012; Vargas et al., 2016	768	75	9,77	7,86-12,07
Total	48		66.133	3.666	5,54	5,37-5,72

** un artículo brinda información sobre cuatro países.

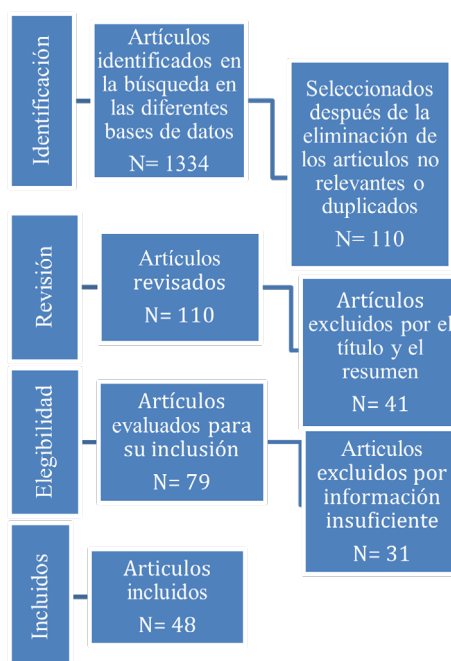


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos incluidos en el estudio.

Según la especie animal se pudo comprobar que, de los 48 artículos disponibles, en 31 se informaron datos sobre la prevalencia de brucelosis en ovinos y en 23 de caprinos (tabla 2).

Tabla 2. Distribución de los artículos incluidos por especie animal.

Especie animal	Artículos incluidos	Referencias	Investigados	Positivos	% de positivos	IC 95%
Ovinos	31	Alves et al., 2010; Beltrán-Saavedra et al., 2010; Tique et al., 2010; Juliano et al., 2011; Costa et al., 2012; Marinho et al., 2012; Martins et al., 2012; Carrera Chávez et al., 2013; Ximenes Martins et al., 2013; Ribeiro Araújo et al., 2013; Santos et al., 2013; Rizzo et al., 2014; Troncoso et al., 2014; Machado et al., 2015; Gutiérrez Hernández et al., 2015; Marin et al., 2015; Alves de Oliveira et al., 2016; De Moraes Peixoto et al., 2016; dos Santos et al., 2016; Linderot de Cardona et al., 2016; Russo et al., 2016; Santos et al., 2016; Vargas et al., 2016; Alexandre Alves et al., 2017; Alves da Silva et al., 2017; López et al., 2018; Martínez et al., 2018; Campos y Morales-Cauti, 2020; Johnson et al., 2020; Román-Ramírez et al., 2020; de Araújo Teixeira et al., 2021	17.281	873	5,05	4,74-5,39

Tabla 2. Distribución de los artículos incluidos por especie animal. Continuación ...

Caprinos	23	Tique et al., 2010; Zambriski et al., 2010; Mancebo et al., 2011; Ortega-Sánchez et al., 2012; Valeris-Chacín et al., 2012; Zabala et al., 2012; Gaido et al., 2013; Oseguera Montiel et al., 2013; García-Juárez et al., 2014; Poulsen et al., 2014; Banda Castillo, 2015; Flores et al., 2015; Hernández et al., 2016; Linderot de Cardona et al., 2016; Russo et al., 2016; Vargas et al., 2016; Purtschert Barahona et al., 2017; Román-Ramírez et al., 2017; Ron-Román et al., 2017; Martínez et al., 2018; Moscoso Gómez et al., 2019; Simonetti et al., 2019; Johnson et al., 2020	48.852	2.793	5,72	5,51-5,93
Total	48*		66.133	3.666	5,54	5,37-5,72

* Hay seis artículos que refirieron ambas especies.

De los artículos recuperados en la búsqueda 35 se correspondieron con el periodo 2010-2016 y 13 al periodo 2017-2021 (tabla 3). Se comprobó que en el último período estudiado se publicaron un número limitado de artículos informando sobre la prevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos, concentrándose el 70,83% de los mismos en Brasil, México y Argentina, países que según reportes de la FAO presentaron los mayores censos de caprinos y ovinos en la región (FAO, 2022).

Esta situación se reflejó en las evidencias de sesgo y elevada heterogeneidad, las cuales pueden estar relacionadas con la poca disponibilidad de artículos sobre la prevalencia de brucelosis en ovinos y cabras y a que los mismos estaban limitados a muy pocos países dentro de la región, por esta situación no se eliminaron los

casos atípicos, pues quedaban muy pocos estudios para calcular estimaciones requeridas. Otros autores han reportado resultados similares (Adetunji et al., 2019), esto se constituyó en una de las principales limitaciones del presente estudio y en general de este tipo de estudios.

Los resultados indicaron la necesidad de incrementar las investigaciones con vistas a conocer la verdadera situación de la enfermedad, ya que una estrategia exitosa de prevención, control y erradicación de la brucelosis requirió de estudios de seguimiento y vigilancia integrales a nivel nacional en los países donde la enfermedad fue prevalente para evaluar su magnitud (Khuranaa et al., 2021).

Tabla 3. Distribución de los artículos incluidos en el análisis por periodo de estudio.

Periodo	Artículos incluidos	Referencias	Investigados	Positivos	% de positivos	IC 95%
2010-2016	35		58.437	3.548	6,07	5,88-6,27
2010	4	Alves et al., 2010, Beltrán-Saavedra et al., 2010, Tique et al., 2010, Zambriski et al., 2010	680	6	0,88	
2011	2	Juliano et al., 2011, Mancebo et al., 2011	6.403	1.743	27,22	0,40-1,19
2012	6	Costa et al., 2012, Marinho et al., 2012, Martins et al. 2012, Ortega-Sánchez et al., 2012, Valeris-Chacín et al., 2012, Zabala et al., 2012	2.625	147	5,60	4,78-6,55

Tabla 3. Distribución de los artículos incluidos en el análisis por período de estudio. Continuación ...

2013	6	Carrera Chávez et al., 2013, Gaido et al., 2013, Oseguera Montiel et al., 2013, Ribeiro de Araújo et al., 2013, Santos et al., 2013, Ximenes Martins et al., 2013	8.355	563	6,74	6,22-7,30
2014	4	García-Juárez et al., 2014, Poulsen et al., 2014, Rizzo et al., 2014, Troncoso et al., 2014	566	94	16,61	11,87-17,24
2015	5	Banda Castillo, 2015, Flores et al., 2015, Gutiérrez Hernández et al., 2015, Machado et al., 2015, Marin et al., 2015	8.813	236	2,68	2,36-3,04
2016	8	Alves de Oliveira et al., 2016; De Moraes Peixoto et al., 2016; dos Santos et al., 2016; Hernández et al., 2016; Linderot de Cardona et al., 2016; Russo et al., 2016; Santos et al., 2016; Vargas et al., 2016	30.995	759	2,45	2,28-2,63
2017-2021	13		7.696	118	1,53	1,28-1,83
2017	5	Alexandre Alves et al., 2017; Alves da Silva et al., 2017; Purtschert Barahona et al., 2017; Román-Ramírez et al., 2017; Ron-Román et al., 2017	3.759	36	0,96	0,69-1,32
2018	2	López et al., 2018; Martínez et al., 2018;	1.250	59	4,72	3,68-6,04
2019	2	Moscoso Gómez et al., 2019; Simonetti et al., 2019	351	1	0,28	0,05-1,60
2020	3	Campos y Morales-Cauti, 2020; Johnson et al., 2020; Román-Ramírez et al., 2020;	2.236	5	0,22	0,10-0,52
2021	1	de Araújo Teixeira et al., 2021	100	17	17,00	10,89-25,55
Total	48		66.133	3.666	5,54	5,37-5,72

Al analizar las especies de agentes del género *Brucella* investigados se comprobó que en 28 estudios se investigó la seroprevalencia de *Brucella* spp. y en 20 se investigó la especie *B. ovis* (tabla 4). Los problemas asociados con la cantidad limitada de estudios realizados y las dificultades en la estrategia de vigilancia de especies como *B. melitensis*, fueron motivo de gran preocupación debido a la reaparición de estos patógenos en América del Sur (Tique et al., 2010).

En 31 de los artículos analizados se evaluó la prevalencia de brucelosis en los ovinos y en 23 en las cabras. Los ovinos y las cabras fueron afectados fundamentalmente por *B. melitensis* y en el caso de los ovinos también por *B. ovis*, ambas especies pudieron ser afectadas por *B. abortus* y por otras especies del género *Brucella* (Saxena et al., 2018).

Aunque no fue posible diferenciar *B. melitensis*, *B. abortus* y *B. suis* a partir de los métodos serológicos convencionales, fue reconocido que *B. melitensis* fue la principal especie de *Brucella* que afectó a los ovinos y las cabras (Sorsa et al., 2022) y la de mayor riesgo zoonótico, causando el mayor porcentaje de los casos de brucelosis en humanos (Abedi et al., 2019). En el caso de *B. ovis*, si bien a diferencia de las otras especies del género, no fue considerada una zoonosis y se señaló que tuvo un impacto menos severo en la salud de los rumiantes, la misma fue causa de pérdidas significativas relacionadas con la hipofertilidad y tuvo un gran impacto en la selección genética en la finca (Praud et al., 2012).

Tabla 4. Distribución de los artículos incluidos en el análisis por especie del género *Brucella* investigada.

Especie del agente	Artículos incluidos	Referencias	Investigados	Positivos	% positivos	de IC 95%
<i>Brucella</i> spp.	28	Beltrán-Saavedra et al., 2010; Tique et al., 2010; Zambriski et al., 2010; Ortega-Sánchez et al., 2012; Zabala et al., 2012; Valeris-Chacín et al., 2012; Gaido et al., 2013; Oseguera Montiel et al., 2013; Ximenes Martins et al., 2013; García-Juárez et al., 2014; Poulsen et al., 2014; Banda Castillo, 2015; Flores et al., 2015; Marin et al., 2015; dos Santos et al., 2016; Hernández et al., 2016; Linderot de Cardona et al., 2016; Russo et al., 2016; Santos et al., 2016; Vargas et al., 2016; Purtschert Barahona et al., 2017; Román-Ramírez et al., 2017; Ron-Román et al., 2017; Martínez et al., 2018; Moscoso Gómez et al., 2019; Simonetti et al., 2019; Campos y Morales-Cauti, 2020; Johnson et al., 2020; Román-Ramírez et al., 2020	50.087	1.327	2,65	2,51-2,79
<i>B. ovis</i>	20	Alves et al., 2010; Mancebo et al., 2011; Juliano et al., 2011; Marinho et al., 2012; Costa et al., 2012; Martins et al., 2012; Ribeiro Araújo et al., 2013; Santos et al., 2013; Ximenes Martins et al., 2013; Carrera Chávez et al., 2013; Troncoso et al., 2014; Rizzo et al., 2014; Gutiérrez Hernández et al., 2015; Machado et al., 2015; Marin et al., 2015; Alves de Oliveira et al., 2016; De Moraes Peixoto et al., 2016; Alves da Silva et al., 2017; Alexandre Alves et al., 2017; López et al., 2018; de Araújo Teixeira et al., 2021	16.046	2.339	14,58	14,04-15,13
Total			66.133	3.666	5,54	5,37-5,72

El meta-análisis de efectos aleatorios indicó que la variabilidad entre estudios fue alta ($\tau^2 = 0,0305$; $I^2 = 99\%$, $Q\text{-test} = 6.765,86$, $gl = 63$ y $P < 0,000$). Los estudios se ponderaron aproximadamente igual que los estudios individuales que variaron del 1,2% al 1,6% debido a la alta heterogeneidad entre los mismos, en la figura 2 se presenta el diagrama de bosque derivado del metaanálisis.

Brucelosis en pequeños rumiantes en América Latina: revisión y meta-análisis (2010-2021)

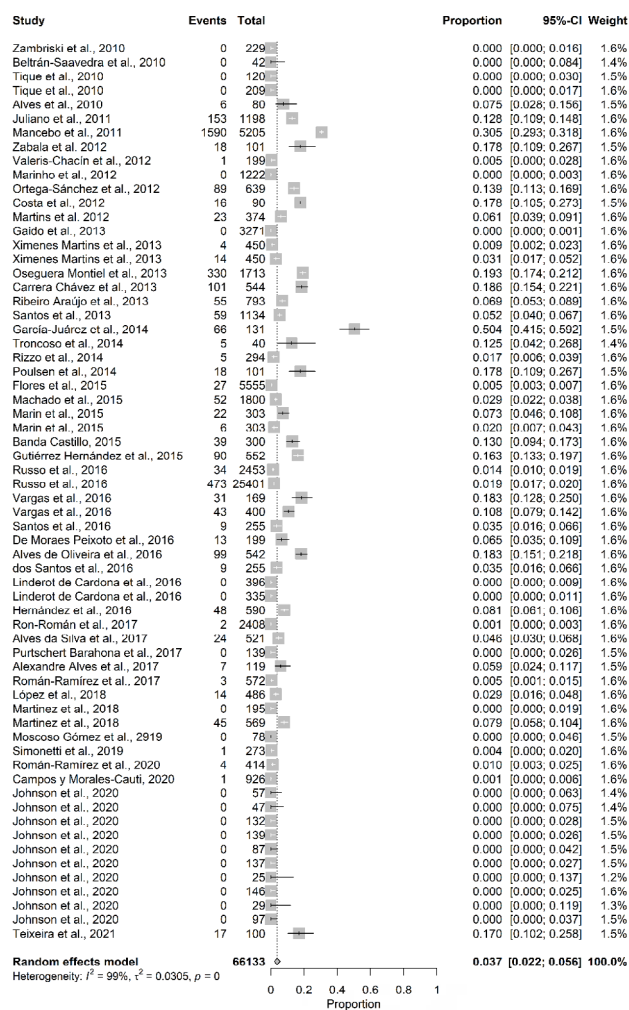


Figura 2. Diagrama de bosque de la revisión sistemática y el metaanálisis basado en la prevalencia combinada general según los registros incluidos en el estudio.

El gráfico de Galbraith (figura 3) mostró un elevado grado de heterogeneidad. La evaluación del sesgo y los efectos de los estudios pequeños mediante el gráfico de embudo y la prueba de Egger y Begg, determinó que hubo evidencia de sesgo de publicación en los estudios que informaron la prevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones estudiadas (figura 4).

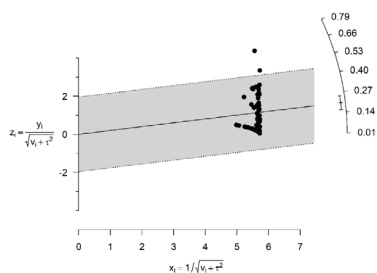


Figura 3. Gráfico de Galbraith para el análisis de los estudios incluidos.

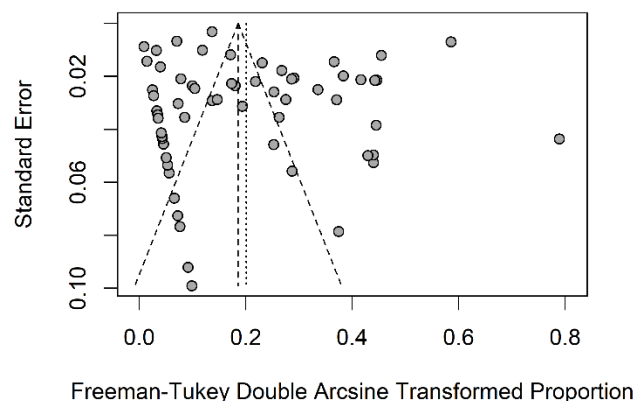


Figura 4. Análisis del sesgo de publicación de los artículos incluidos en el análisis.

Las prevalencias estimadas en los estudios individuales oscilaron entre el 0,0 y el 50,4%, con una prevalencia combinada general del 3,70% (IC 95%: 2,20-5,60). El meta-análisis realizado demostró una elevada prevalencia combinada de la enfermedad, lo que indicó que en las regiones estudiadas aun ante las medidas que se han aplicado en los diferentes países, el control de la enfermedad continúa siendo un desafío para las autoridades veterinarias y de salud pública (Ávila-Granados et al., 2019).

En el meta-análisis por subgrupos se observó una prevalencia combinada en Sudamérica de 4,0% (IC 95%: 2,0-6,6) y en Centroamérica y el Caribe del 3,2% (IC 95%: 0,8-6,7) (tabla 5); sin embargo, al realizar la evaluación a partir de la meta-regresión multivariada, no se comprobaron diferencias de la prevalencia combinada entre las regiones estudiadas.

Tabla 5. Comparación de la prevalencia combinada individual de brucelosis en ovinos y cabras en las regiones de Centro América y el Caribe y Sudamérica.

Regiones	Prevalencia (95% CI)	I ²	Q	Prueba de Heterogeneidad	
				GL	P
América Central y el Caribe	0,032 (0,008 - 0,067)	98,6%	1.602,64	23	0,000
Sudamérica	0,040 (0,020 - 0,066)	99,2%	5.160,04	39	0,000
General	0,037 (0,022 - 0,056)	99,1%	6.765,86	63	0,000

Leyenda: IC: intervalo de confianza, GL: grados de libertad, P: Índice de varianza inversa, Q: Estadísticas Q de Cochran, P: P-valor.

La prevalencia combinada en los ovinos y caprinos fue similar con 3,7%, (IC 95%: 2,2-5,6) y 3,7% (IC 95%: 1,2-7,3) respectivamente (tabla 6). Aunque en las regiones y el período estudiados no hubo como referencia ningún estudio similar en pequeños rumiantes, estudios realizados en bovinos y búfalos demostraron una situación similar en cuanto a la prevalencia de la enfermedad (Zamora et al., 2022). Estudios realizados en China mostraron una prevalencia combinada similar del 3,20% (Ran et al., 2018). Prevalencias combinadas en ovinos y caprinos de 5,3% fueron reportadas también en otros estudios en Etiopía (Tadesse, 2016).

Tabla 6. Análisis por subgrupos comparando la prevalencia combinada individual de brucelosis en las diferentes especies estudiadas.

Especies	Prevalencia (95% CI)	I ²	Q	Prueba de heterogeneidad	
				GL	P
Ovinos	0,037 (0,022 - 0,056)	96,8%	1.120,11	36	0,000
Caprinos	0,037 (0,012; 0,073)	99,5%	5.641,00	26	0,000
General	0,037 (0,022 - 0,056)	99,1%	6.765,86	63	0,000

Leyenda: IC: intervalo de confianza, GL: grados de libertad, I²: índice de varianza inversa, Q: estadísticas Q de Cochran, P: P-valor

Al analizar la prevalencia combinada de las cepas lisas de *Brucella* y *B. ovis* se pudo comprobar una mayor prevalencia de *B. ovis* (7,7%, IC 95%: 3,6-13,3) con respecto a las cepas lisas (2,2%, IC 95%: 1,2-3,5) (tabla 7). A partir de este metaanálisis por subgrupos y la metaregresión multivariada se comprobó que hubo diferencias en la prevalencia combinada de la enfermedad entre las diferentes especies de agentes del género *Brucella* estudiados, presentado una mayor prevalencia combinada *B. ovis* con respecto a *Brucella* spp. (7,70 y 2,20%, respectivamente). Este resultado puede estar relacionado con el hecho de que al no ser considerada la enfermedad causada por *B. ovis* una zoonosis, la información sobre la detección de la misma en el campo sigue siendo escasa y en gran medida incompleta, especialmente en la ganadería ovina tradicional, donde la infección se subestima debido a su aparición subclínica (Galluzzo et al., 2021), situación preocupante que demostró la necesidad de una mayor divulgación y vigilancia (Elderbrook et al., 2019).

Tabla 7. Análisis de la prevalencia combinada de las diferentes especies de los agentes del género *Brucella* en el período estudiado.

Especie de <i>Brucella</i>	Prevalencia (95% CI)	I ²	Q	Prueba de heterogeneidad	
				GL	P
<i>B. ovis</i>	0,077 (0,036-0,133)	99,2%	2.416,79	20	0,000
<i>Brucella</i> spp.	0,022 (0,012-0,035)	98,0%	2.051,45	42	0,000
General	0,037 (0,022-0,056)	99,1%	6.765,86	63	0,000

Leyenda: IC: intervalo de confianza, GL: grados de libertad, I²: índice de varianza inversa, Q: estadísticas Q de Cochran, P: P-valor.

En el periodo de 2010 al 2016 se reportó una mayor prevalencia combinada de 6,1% (IC 95%: 3,6-9,1) con respecto al período 2017-2021, 0,7% (IC 95%: 0,1-1,8) (tabla 8). Aunque el número de trabajos recuperados de este último período fue pequeño y por ello los resultados fueron interpretados con reserva, en esta reducción de la prevalencia combinada de la enfermedad pueden haber contribuido de forma contundente los programas

de vacunación establecidos por los países (Román-Ramírez et al., 2017).

Tabla 8. Análisis por subgrupos comparando la prevalencia combinada individual de brucelosis en ovinos y caprinos en los periodos estudiados.

Períodos	Prevalencia (95% CI)	I ²	Q	Prueba de heterogeneidad	
				GL	P
2010 - 2016	0,061 (0,036 - 0,091)	99,4%	6.219,64	40	0,000
2017 - 2021	0,007 (0,001 - 0,018]	91,1%	247,32	22	0,000
General	0,037 (0,022 - 0,056)	99,1%	6.765,86	63	0,000

Leyenda: IC: intervalo de confianza, GL: grados de libertad, I²: índice de varianza inversa, Q: estadísticas Q de Cochran, P: P-valor

En el análisis de meta-regresión multivariada se pudo comprobar que de las variables estudiadas resultaron significativas ($P < 0,01$) la especie animal del agente del género *Brucella* estudiada y el período de estudio (tabla 9).

Tabla 9. Resultados del análisis de metarregresión multivariada a nivel individual.

Variables	Categorías	Coefficiente (IC 95%)	P
Región	Centroamérica y el Caribe	1 (ref)	
	Sudamérica	-0,04 (-0,13-0,04)	0,3079
Especie animal	Ovinos	1 (ref)	
	Caprinos	-0,08 (-0,17-0,01)	0,0869
Género <i>Brucella</i>	<i>B. ovis</i>	1 (ref)	
	spp.	-0,15 (-0,25 a -0,05)	0,0027
Período	2010 - 2016	1 (ref)	
	2017 - 2021	-0,13 (-0,21 a -0,04)	0,0029

Las enfermedades abortivas se reconocen como uno de los mayores desafíos de la salud animal en los ovinos y los caprinos por lo que se requieren de estudios de prevalencia sólidos que permitan evaluar las amenazas para la salud animal y pública (Haif et al., 2021).

Con el uso de la revisión sistemática y el metaanálisis se pudo conocer una información más detallada sobre la distribución de la enfermedad en un territorio y con ello evaluar la eficacia de los programas de control aplicados (Musallam et al., 2016). El estudio realizado si bien presentó limitaciones, contribuyó a conocer la situación de la prevalencia de brucelosis en los ovinos y caprinos de las regiones de Centro América y el Caribe y Suramérica, pues, aunque en el período estudiado hubo trabajos en diferentes países informando la situación de la enfermedad, no se contaba con un estudio que permitiera consolidar los mismos y brindar una información sobre la situación en estas regiones.

Conclusiones

El estudio demuestra que existen pocos artículos que informen sobre la seroprevalencia de brucelosis en ovinos y caprinos en las regiones estudiadas. Se comprueba también que existe una elevada prevalencia combinada de la enfermedad y que la misma es mayor para *Brucella ovis* con respecto a *Brucella* spp. y en período de 2010 al 2016 con respecto al período del 2017 al 2021. No se encontraron diferencias en la prevalencia combinada entre los ovinos y caprinos ni entre las regiones estudiadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Abedi, A. S., Hashempour-Baltork, F., Alizadeh, A. M., Beikzadeh, S., Hosseini, H., Bashiry, M., Taslikh, M., Javanmardi, F., Sheidaei, Z., Sarlak, Z., Mofid, V., Fakhri, Y. and Mousavi Khaneghah, A. (2019). The prevalence of *Brucella* spp. in dairy products in the Middle East region: A systematic review and meta-analysis. *Acta Trop.*, 202, 105241. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.105241>.
- Adetunji, S. A., Ramirez, G., Foster, M. J. and Arenas-Gamboa, A.M. (2019). A systematic review and meta-analysis of the prevalence of osteoarticular brucellosis. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 13(1), e0007112. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007112>
- Akhvledian, T., Clark, D. V., Chubabria, G., Zenaishvili, O. and Hepburn, M. J. (2010). The changing pattern of human brucellosis: clinical manifestations, epidemiology and treatment outcomes over three decades in Georgia. *BMC. Infec. Dis.*, 10, 346.
- Alexandre Alves, J. R., de Souza Lima, G. M., Dêvede da Silva, J., Figueiredo da Costa, D., Alexandre dos Santos, F., dos Santos Higino, S. S., Santos de Azevedo, S. and Alves, C. J. (2017). Epidemiological characterization and risk factors associated with leptospirosis and brucellosis in small ruminants sold at animal fair in the Sertão Region of Pernambuco State, a semiarid Region of Northeastern Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4), 1933-1946. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1933>.
- Alves, C. J., Moreira de Figueiredo, S., de Azevedo, S. S., Clementino, I. J., Borges Keid, L., Vasconcellos, S. A., Américo Batista, C. dS., Mesquita Rocha, V. C. and Higino, S. S. (2010). Detection of *Brucella ovis* in ovine from Paraíba State, in the northeast region of Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 365-367.
- Alves de Oliveira, L., Marchi Zaniolo, M., Herrera Dias, E., Silva Brandão, H. B., Jardim Rubio, K. A., Martins Ferreira, B. P., Yoshio Nakamura, A., Torres Chideroli, R., de Freitas, J. C. and Dib Gonçalves, D. (2016). Leptospirosis and brucellosis seroepidemiology in sheep and dogs from non-mechanized rural properties in the northwestern region in the state of Paraná. *Ciências Agrárias*, 37(5), 3147-3158.
- Alves da Silva, G., Pereira Moura Leite, A. G., de Araújo Teixeira, L. S., Dias Araújo, E. K., Santana das Virgens, M., Vieira, R. J. e Barradas Mineiro, A. L. B. (2017). Inquérito soropidemiológico de *Brucella ovis* e *Brucella abortus* em rebanhos ovinos pertencentes à microrregião de Teresina, Brasil. *PUBVET*, 11(5), 470-475.
- Ávila-Granados, L. M., Garcia-Gonzalez, D. G., Zambrano-Varon, J. L. and Arenas-Gamboa, A. M. (2019). Brucellosis in Colombia: Current status and challenges in the control of an endemic disease. *Front. Vet. Sci.*, 6, 321. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00321>.
- Banda Castillo, A. (2015). *Seroprevalencia de brucelosis y su efecto sobre la productividad de hatos caprinos en Aramberri, Nuevo León*. Tesis de Maestría en Ciencia Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Barendregt, J. J., Doi, S. A., Lee, Y. Y., Norman, R. E. and Vos, T. (2013). Meta-analysis of prevalence. *J. Epidemiol. Community Health*, 76(11), 1-5. <https://doi.org/10.1136/jech-2013-203104>.
- Beltrán-Saavedra, S. L. F., Ticona, C. H., Nallar, G. R. and Gonzáles, R. J. L. (2010). Estudio serológico de fiebre aftosa y brucelosis en rebaños mixtos de camélidos y ovinos en la ecorregión de serranía en Apolobamba, La Paz, Bolivia. *Rev. Inv. Vet. Perú*, 21(2), 227-231.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T. and Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester, U.K.: John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, U.K.
- Campos, L. D. y Morales-Cauti, S. (2020). Seroprevalencia de anticuerpos contra cepas lisas de *Brucella* en ovinos Junín de la SAIS Túpac Amaru, Perú. *Rev. Inv. Vet. Perú*, 31(4), e19250.
- Carrera Chávez, J. M., Echavarría Cháirez, F. G., Aréchiga Flores, C. F., Bañuelos Valenzuela, R. y Tórtora Pérez, J. L. (2013). Consideraciones epidemiológicas en la prevalencia serológica de *Brucella ovis* en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 61-74.
- Costa, E. A., Sant'Ana, F. M., Carvalho, C. J. S., Moustacas, V. S., Silva, S. M. M. S., Paixão, T. A. and Santo, R. L. (2012). Diagnosis of *Brucella ovis* infection by serology and PCR in urine samples from naturally infected rams in the State of Piauí. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 64(3), 751-754.
- Dadar, M., Shahali, Y. and Fakhri, Y. (2021). Brucellosis in Iranian livestock: A meta-epidemiological study. *Microbial*



- Pathogenesis*, 155, 104921. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.104921>
- Dahl, M. O. (2020). Brucellosis in foodproducing animals in Mosul, Iraq: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 15(7), e0235862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235862>.
- de Araújo Teixeira, L. S., Alves de Pinho, F., Ferreira Batista, J., das Virgens Santana, M., Ferreira Soares, F. F., César Lima, A. M., Lopes Furtado, L., dos Santos Silva, F. K., Nunes Santos, L. M., Medeiros Damasceno, T. C., de Sousa Junior, J. F., Sipaúba de Oliveira, M., Saraiva Cardoso, J. F., de Oliveira Paula, N. R. and Bezerra Barradas Mineiro, A. L. (2021). Risk factors and detection of *Brucella ovis* in naturally infected rams and ewes. *R. Bras. Ci. Vet.*, 28(1), 48-52.
- De Moraes Peixoto, R., Barbosa Dos Santos, G., Santos Amanso, E., Aquino De Sá, M. D. C., Peixoto Araújo, R. D. M. and MatiuZZi Da Costa, M. (2016). Anti-Lentivirus, *Brucella abortus* and *B. ovis* antibodies in small ruminants raised in Pernambuco and Bahia. *Rev. Caatinga, Mossoró*, 29(2), 507-511.
- Dos Santos, R., Dionisio de Souza, A. A., Cardoso Gomes, S., Garcia Socoloski, S. N. and Gomes de Castro, B. (2016). Research on *Brucella abortus* antibodies in sheep from midnorth Mato Grosso state, Brazil. *Veterinaria e Zootecnia*, 23(4), 642.
- Elderbrook, M., Schumaker, B., Cornish, T., Peck, D. and Sondgerot, K. (2019). Seroprevalence and risk factors of *Brucella ovis* in domestic sheep in Wyoming, USA. *BMC Veterinary Research*, 15, 246. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1995-5>.
- Farias, A. E. M., Higino, S. S. S., Azevedo, S. S., Costa, D. F., Santos, F. A., Correia, E. L., Santos, C. S. S. B. and Alves, C. J. (2013). Epidemiological evaluation of reproductive infectious agentes in sheep in the Brazilian Semiarid. *World Journal of Veterinary Science*, 1(1), 13-17.
- Flores, P. M. P., Herrera, L. E., Gutiérrez, H. J. L., Palomares, R. E. G. y Díaz, A. E. (2015). Diagnóstico serológico de *Brucella* spp. y *Leptospira* spp. en rebaños caprinos en el estado de Guanajuato. Memorias del XXXIX Congreso Nacional e Internacional de Buiatría "Lic. Luis Bravo Tornel", Puebla, 31 de julio al 1 agosto, México.
- Fiorentino, M. A., Velilla, A., Manes, J., Díaz, A. G., Clausse, M., Paolicchi, F. A. and Estein, S. M. (2017). Different strategies for the diagnosis of ovine brucellosis by *Brucella ovis* in an endemic flock from Argentina. *InVet.*, 19(1-2), 139-148.
- Gaido, A. B., Nieva, J. D., Salatin, A. O., Aguirre, N. P. y Aguirre, D. H. (2013). Brucelosis caprina: encuesta serológica en majadas de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, Argentina. *Rev. Med. Vet.*, 94(3), 58-61.
- Galluzzo, P., Migliore, S., Cascio, S., Barreca, S., Alfano, M., Tagliarini, A., Candela, A., Piraino, C., Galuppo, L., Condorelli, L., Hussein, H. A., Tittarelli, M. and Chiarenza, G. (2021). Diagnostic findings in a confirmed outbreak of *Brucella ovis* infection in a traditional sheep farm in Sicily (South-Italy). *Pathogens*, 10, 1472. <https://doi.org/10.3390/pathogens10111472>.
- García-Juárez, G., Efrén Ramírez, J., Hernández-Vázquez, M., Hernández-Calva, L. M., Díaz-Aparicio, E. y Orozco-Bolaños, H. (2014). Análisis de riesgos de la brucelosis en el estado de Tlaxcala. *Salud Pública de México*, 56(4), 355-362.
- Geresu, M. A. and Kassa, G. M. (2016). A review on diagnostic methods of brucellosis. *J. Veterinar Sci. Technol.*, 7, 323. <https://doi.org/10.4172/2157-7579.1000323>.
- Gutiérrez Hernández, J. L., Garrido Fariña, G. I., Acosta Dibarrat, J. P., Díaz Aparicio, E., Tenorio Gutiérrez, V. R. y Tórtora Pérez, J. L. (2015). Diagnóstico serológico, histopatológico y molecular de epididimitis ovina en carneros de Zacatecas, México. *Quehacer Científico en Chiapas*, 10(2), 16-23.
- Haif, A., Khelii-Ouchene, N. A., Kheli, M., Ouchetati, I., Zeroual, F. and Ouchene, N. (2021). Abortive diseases and their various associated risk factors in small ruminants in Algeria: a systematic review. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 520. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02926-6>.
- Hernández, H. J. E., Franco, G. F. J., Camacho, R. J. C., Tepalzingo, C. S. y Hernández, R. D. (2016). Localización y costos de brucelosis en cinco rebaños de cabras pertenecientes a cuesta blanca en el Estado de Puebla, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 307-316.
- Higgins, J. P. T. and Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med.*, 21(11), 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
- Johnson, J. W., Lucas, H., King, S., Caron, T., Wang, C. H. and Kelly, P. J. (2020). Serosurvey for *Brucella* spp. and *Coxiella burnetii* in animals on Caribbean islands. *Vet. Med. Sci.*, 6, 39-43.

- Juliano, R. S., da Silva, M. S. P., Pellegrin, A. O., Lima, M. F. N. T. and de Silva, R. A. M. S. (2011). Brucellosis prevalence in sheep in Corumba-MS, Brazil. *Veterinária e Zootecnia*, 18(4), 827-830.
- Khuranaa, S. K., Sehwata, A., Tiwarib, R., Prasad, M., Gulatid, B., Shabbire, M. Z., Chhabraf, R., Karthikg, K., Patelh, S. K., Pathakh, M., Yatooi, M. I., Gupta, V. K., Dhamah, K., Sahk, R. and Chaicumpa, W. (2021). Bovine brucellosis – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 41(1), 61-88. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1868616>.
- Linderot de Cardona, K., De Gracia Scanapieco, A. and Braun, P. G. (2016). First results on small ruminant brucellosis and tuberculosis and caprine arthritis-encephalitis in El Salvador. *Trop. Anim. Health Prod.*, 48, 1083-1087. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1044-3>.
- López, G. E., Peña, S., Escobar, G. I., Hasan, D. B. and Lucero, N. E. (2018). Serological study of brucellosis in Argentine Creole sheep. *Rev. Argent Microbiol*, 50(3), 285-289.
- Lucero, N. E., Ayala, S. M., Escobar, G. I. and Jacob, N. R. (2008). *Brucella* isolated in humans and animals in Latin America from 1968 to 2006. *Epidemiol Infect.*, 136(4), 496-503.
- Machado, G., Vidor, A. C. M., Santos, D. V., Kohek, I., Stein, M. C., Hein, H. E., Poeta, A. S. and Corbellini, L. G. (2015). Seroprevalence of *Brucella ovis* in rams and associated flock level risk factors in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Preventive Veterinary Medicine*, 121, 183-187.
- Mancebo, O. A., Russo, A. M., Giménez, J. N., Gait, J. J. y Monzón, C. M. (2011). Enfermedades más frecuentes en caprinos de la Provincia de Formosa (Argentina). *Vet. Arg.*, 28(274).
- Marin, V., Mellado, M., Díaz-Aparicio, E., Arellano-Reynoso, B. and Carrillo, E. (2015) Risk factors associated with hair sheep brucellosis in an intensive system. *Vet. Med. Zoot.*, 69(91), 48-51.
- Marinho, M., Nogueira Mendes, L. C., Noriyuki Kaneto, C., Vidovix Taparo, C., Rodrigues Bernardes, J. O., Longo Lombardi, A., Venturoli Perri, S. H., Benvenuto Baldasso, A. e Marussi Ribeiro, M. (2012). Perfil de aglutininas anti-*leptospira* e anti-*brucella* e condições sanitárias de ovinos da região noroeste do estado de São Paulo, Brasil. *Vet. e Zootec.*, 19(4), 593-600.
- Martínez, D. E., Cipolini, M. F., Storani, C. A., Russo, A. M. y Martínez, E. I. (2018). Brucellosis: prevalencia y factores de riesgo asociados en bovinos, bubalinos, caprinos y ovinos de Formosa, Argentina. *Rev. Vet.*, 29(1), 40-44. <https://doi.org/10.30972/vet.291278>.
- Martins, G., Penna, B., Hamond, C., Cosendey-Kezen Leite, R., Silva, A., Ferreira, A., Brandão, F., Oliveira, F. and Lilenbaum, W. (2012). Leptospirosis as the most frequent infectious disease impairing productivity in small ruminants in Rio de Janeiro, Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 773-777. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9964-4>.
- Mazlan, M., Khairani-Bejo, S., Hamzah, H., Nasruddin, N. S., Salleh, A. and Zamri-Saad, M. (2021). Pathological changes, distribution and detection of *Brucella melitensis* in fetuses of experimentally-infected does. *Veterinary Quarterly*, 41(1), 36-49. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1867328>.
- Moreno, E. (2002). Brucellosis in Central America. *Vet. Microbiol.*, 90(1-4), 31-38.
- Moscoso Gómez, M., Núñez Moreno, M. S., Peña Serrano, L. y Peñafiel Acosta, S. (2019). Evaluación de la salud y la calidad de la leche de cabras Saanen para la seguridad alimentaria en agroecosistemas vulnerables de Penipe, Ecuador. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 2(1), 46-54.
- Musallam, I. I., Abo-Shehada, M. N., Hegazy, Y. M., Holt, H. R. and Guitian, F. J. (2016). Systematic review of brucellosis in the Middle East: disease frequency in ruminants and humans and risk factors for human infection. *Epidemiol. Infect.*, 144, 671-685. <https://doi.org/10.1017/S0950268815002575>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2021). Brucellosis (infección por *Brucella abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*), Capítulo 3.1.4. *Manual de las pruebas de diagnóstico y de las vacunas para los animales terrestres*. https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/3.01.04_BRUCELL.pdf.
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2022). Base de datos del Sistema mundial de información zoonosaria (WAHIS Interface), Ver. 1. *World Organization for Animal Health*. <https://wahis.oie.int/#/dashboards/country-or-disease-dashboard>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Cultivos y productos de ganadería*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Ortega-Sánchez, J. L. y Vergara-Hernández, H. P. (2012). Seroprevalencia de brucellosis caprina en tres ejidos del municipio de Lerdo, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(1), 35-43.
- Oseguera Montiel, D., Frankena, K., Udo, H., Keilbach Baer, N. M. and Van der Zijpp, A. (2013). Prevalence and risk factors for brucellosis in goats in areas of Mexico with and without brucellosis control campaign. *Trop. Anim. Health Prod.*, 45, 1383-1389. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0375-6>.
- Poulsen, K. P., Hutchins, F. T., McNulty, C. M., Tremblay, M., Zabala, C., Barragan, V., Lopez, L., Trueba, G. and Bethel,



- J. W. (2014). Short report: Brucellosis in dairy cattle and goats in Northern Ecuador. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 90(4), 712-715. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.13-0362>.
- Purtschert Barahona, M., Mafla Andrade, S., Mendoza Cadena, T., Velástegui Moreno, M. y Haro Bedón, L. (2017). Prevalencia de *Brucella melitensis* en cabras de los apriscos de ASOCAPRINOR que se encuentran en el Cantón Ibarra, provincia de Imbabura. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(9), 1-16.
- Praud, A., Champion, J. L., Corde, Y., Drapeau, A., Meyer, L. and Garin-Bastuji, B. (2012). Assessment of the diagnostic sensitivity and specificity of an indirect ELISA kit for the diagnosis of *Brucella ovis* infection in rams. *BMC Vet. Res.*, 8, 68.
- R Development Core Team. R. (2020). A language and environment for statistical computing. In: Computing R Foundation for Statistical Computing, editor. 4.0.2 ed. Vienna, Austria.
- Ran, X., Chen, X., Wang, M., Cheng, J., Ni, H., Zhang, X. and Wen, X. (2018). Brucellosis seroprevalence in ovine and caprine flocks in China during 2000-2018: A systematic review and meta-analysis. *BMC Veterinary Research*, 14, 393. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1715-6>
- Ribeiro Araújo, B., Nunes Costa, J., Sampaio De Souza, T., Valença De Lima, C. C., Xavier Leite, M. D., Costa Neto, A. O., Magnavita Anunciação, A. V., Ribeiro Almeida, M. D. G. A. and Barbosa De Lima, E. (2013). Seroepidemiology of sheep brucellosis in the microregion of Feira de Santana, BA, Brazil. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.*, 50(2), 129.
- Rizzo, H., Gregory, L., Beraldi, F., Carvalho, A. F., Scarcelli Pinheiro, E. e Paulin, L. M. (2014). Ocorrência de anticorpos anti-*Brucella ovis* em ovinos com histórico de distúrbios reprodutivos no estado de São Paulo, Brasil. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, 81(2), 99-106.
- Román-Ramírez, D. L., Martínez-Herrera, D. I., Peniche-Cardena Álvaro E. D. J., Villagómez-Cortés, J. A., Torres-Acosta, F. D. J. and Flores-Castro, R. (2020). Epidemiology of brucellosis in three sheep production areas of the state of Veracruz, Mexico. *Agrociencia*, 54, 661-672.
- Román-Ramírez, D. L., Peniche-Cardena, A. E. D. J., Martínez-Herrera, I., Villagómez-Cortés, J. A., Morales-Álvarez, J. F. y Flores-Castro, R. (2017). Epidemiología de la brucelosis caprina en la Zona Centro del Estado de Veracruz. *Gac. Med. Mex.*, 153, 26-30.
- Romero, P. (2019). Bivet. Mayabeque: UNAH. <http://infoservet.unah.edu.cu>
- Ron-Román, J., Berkvens, D., Barzallo-Rivadeneira, D., Angulo-Cruz, A., González-Andrade, P., Minda-Aluisa, E., Benítez-Ortiz, W., Brandt, J., Rodríguez-Hidalgo, R. and Saegerman, C. (2017). The unexpected discovery of *Brucella abortus* Buck 19 vaccine in goats from Ecuador underlines the importance of biosecurity measures. *Trop. Anim. Health Prod.*, 49(3), 569-574. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1229-4>.
- Rossetti, C. A., Arenas-Gamboa, A. M. and Maurizio, E. (2017). Caprine brucellosis: A historically neglected disease with significant impact on public health. *PLoS Negl Trop. Dis.*, 11(8), e0005692. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005692>.
- Rossetti, C. A., Maurizio, E. and Rossi, U. A. (2022). Comparative review of brucellosis in small domestic ruminants. *Front. Vet. Sci.*, 9, 887671. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.887671>.
- Russo, A. M., Mancebo, O. A., Monzón, C. M., Gait, J. J., Casco, R. D. y Torioni de Echaide, M. (2016). Epidemiología de la brucelosis caprina y ovina en la provincia de Formosa, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 48(2), 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.10.005>.
- Santos, F. A., Higino, S. S. S., Azevedo, S. S., Costa, D. F., Farias, A. E. M., Alves, F. A. L., Paulin, L. M. e Alves, C. J. (2013). Caracterização epidemiológica e fatores de risco associados à infecção por *Brucella ovis* em ovinos deslanados do semiárido paraibano. *Pesq. Vet. Bras.*, 33(4), 459-463.
- Santos, R., Souza, A. A. D., Gomes, S. C., Socoloski, S. N. G. e Castro, B. G. (2016). Pesquisa de anticorpos anti-*Brucella abortus* em ovinos da região Médio-Norte Matogrossense. *Vet. e Zootec.*, 23(4), 642-646.
- Saxena, N., Bagicha Singh, B. and Mohan Saxena, H. (2018). Brucellosis in sheep and goats and its serodiagnosis and epidemiology. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(01), 1848-1877. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.701.225>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P. and Stewart, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ*, 349, 7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>.

- Shome, R., Kalleshmurthy, T., Rathore, Y., Ramanjinappa, K. D., Skariah, S., Nagaraj, C., Mohandoss, N., Sahay, S., Shome, B. R., Kuralayanapalya, P. S., Roy, R. and Hemadri, D. (2021). Spatial sero-prevalence of brucellosis in small ruminants of India: Nationwide cross-sectional study for the year 2017-2018. *Transbound Emerg Dis.*, 68(4), 2199-2208. <https://doi.org/10.1111/tbed.13871>
- Simonetti, M. A., Suárez, J. L. and Rizzari, P. (2020). Prevalence of caprine brucellosis on herds of toba communities in Villa Río Bermejito, Chaco, Argentina. *Transbound Emerg. Dis.*, 67(Sup. 2), 5-8.
- Sorsa, M., Mamo, G., Waktole, H., Abunna, F., Zewude, A. and Ameni, G. (2022). Seroprevalence and associated risk factors of ovine brucellosis in south Omo Zone, Southern Ethiopia. *Infection and Drug Resistance*, 15, 387-398.
- Tadesse, G. (2016). Brucellosis seropositivity in animals and humans in Ethiopia: A meta-analysis. *PLoS Negl Trop Dis.*, 10(10), e0005006. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005006>.
- Tique, V., Daza, E., Álvarez, J. y Mattar, S. (2010). Seroprevalencia de *Brucella abortus* y ocurrencia de *Brucella melitensis* en caprinos y en ovinos de Cesar y Sucre. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 13(2), 133-139.
- Troncoso, T. I., González, A. J., Navarrete, A. F., Lagos, M. A. & Wiethuchter, C. F. (2014). Comparación entre palpación testicular y ELISA indirecto en el diagnóstico de brucelosis ovina. *Rev. Inv. Vet. Perú*, 25(4), 557-561. <https://doi.org/10.15381/rivep.v25i4.10819>.
- Tufanaru, C., Munn, Z., Stephenson, M. and Aromataris, E. (2015). Fixed or random effects meta-analysis? Common methodological issues in systematic reviews of effectiveness. *Int. J. Evid. Based Health*, 13(3), 196-207. <https://doi.org/10.1097/XE.B.0000000000000065>.
- Valeris-Chacín, R., Boscán-Duque, L., Urdaneta-Pacheco, R., Chango-Villasmil, J., Torres-Rodríguez, P., Quintero-Moreno, A., Arzalluz-Fischer, A. y Sánchez-Villalobos, A. (2012). Seroprevalencia de leptospirosis y brucelosis en explotaciones caprinas del municipio Mauroa, estado Falcón, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ.*, 22(3), 231-237.
- Vargas, F., Chirinos, C., Rojas, R., Gamarra, Y. y Mosquera, O. (2016). Brucelosis en ovinos y caprinos de explotaciones de manejo intensivas y extensivas del estado Lara, Venezuela. *Ágora de Heterodoxias*, 2(1), 90-103.
- Von Elm, E., Douglas, G., Egger, M., Pocock, S., Gotsche, P. and Vandenbroucke, J. (2007). The strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Ann. Intern. Med.*, 147(8), 573-578. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010>.
- Ximenes Martins, N. É., De Moura Almeida, J. D., Giannoccaro Silva, M., Gonçalves Sousa, M., Mathias, L. A. e De Sousa Almeida, K. (2013). Prevalência de anticorpos anti-*Brucella ovis* E ANTI-*Brucella abortus* em ovinos do município de Colinas, Tocantins, Brasil. *Rev. Patol. Trop.*, 42(2), 147-160.
- Zabala, C., Barragán, V. y Trueba P., G. A. (2012). Presencia de *Brucella* sp. en cabras de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 4(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v4i2.100>
- Zambriski, J. A., Saito, M., Nydam, D. V., Reyes-Garay, H. A., Castillo, R., Cepeda, D., Cespedes-Zambrano, M. J., Garcia-Vara, P., Maves, R. C., Solan, M., Torrico, F. and Gilma, R.H. (2010). Assessment of *Brucella melitensis* disease burden in lactating goats in Mizque, Bolivia. *International Journal of Infectious Diseases*, 14(Sup. 1), e163. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2010.02.1842>
- Zamora Macías, C. A., Zambrano Aguayo, M. D., Navarrete Suarez, G. A., Rezabala Zambrano, M. M., Fonseca-Rodríguez, O. y Pérez Ruano, M. (2022). Prevalencia de brucelosis en bovinos y búfalos en las regiones de Centroamérica y el Caribe y Sudamérica. Revisión Sistemática y Metaanálisis. *Rev. Prod. Anim.*, 34(2). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4199>

Declaración de contribución a la autoría

José Roberto Velásquez Navarrete: investigación, análisis formal, redacción-borrador original redacción del borrador original del artículo, adquisición de financiamiento. **Marina Dalila Zambrano Aguayo:** administración del proyecto, redacción del borrador original del artículo. **Cesar Augusto Zamora Macías:** conceptualización, análisis formal, curación de datos análisis formal. **Daniel Isaías Burgos Macías:** análisis formal, curación de datos. **Osvaldo Fonseca-Rodríguez:** supervisión, validación, visualización. **Miguel Pérez Ruano:** metodología, revisión y edición del artículo.





Respuesta del cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) a la aplicación de bioinsumos edáficos

Response of the sweet potato crop (*Ipomoea batatas*) to the application of edaphic bioinputs

Autores

¹Jennifer Milena López Castro 
✉ jennlopezcastror16@gmail.com

¹Zully Nathaly Soledispa Bernita 
✉ zullysoledispa20@gmail.com

^{2*}Joffre Añazco Chávez 
✉ joffre.anazco@iniap.gob.ec

²Favio Ruilova Narváez 
✉ favio.ruilova@iniap.gob.ec

³Xavier Ortiz Dueñas 
✉ fo.camote@gmail.com

²Jorge Tumbaco Vera 
✉ jorge.tumbaco@iniap.gob.ec

⁴Gloria Cobeña Ruíz 
✉ gloria.cobena.r@gmail.com

³Chang Hwan Park 
✉ kopiaecuador@outlook.com

¹Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías,
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta,
Manabí, Ecuador.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
Portoviejo, Manabí, Ecuador.

³KOPIA Ecuador Center.

⁴Observatorio ciudadano a la implementación de las
políticas públicas sobre seguridad y soberanía alimentaria
en la provincia de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Citación sugerida: López Castro, J. M., Soledispa Bernita, Z. N., Añazco Chávez, J., Ruilova Narváez, F., Ortiz Dueñas, X., Tumbaco Vera, J., Cobeña Ruíz, G., Park Chang Hwan (2025). Respuesta del cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) a la aplicación de bioinsumos edáficos. *La Técnica*, 15(1), 67-74. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.6908>.

Recibido: Diciembre 19, 2024
Aceptado: Abril 14, 2025
Publicado: Abril 20, 2025

Resumen

El presente estudio se centró en evaluar la respuesta agronómica y productiva del camote (*Ipomoea batatas*) variedad INIAP-Toquecita a la aplicación de diversos bioinsumos edáficos. El estudio tuvo lugar en la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, en Ecuador, durante el periodo de julio a diciembre de 2022. Se analizaron los efectos de varios bioinsumos, incluyendo diatomeas, microorganismos eficientes, biocarbón, humus de lombriz y materia orgánica, sobre diversos parámetros agronómicos. Los hallazgos revelaron efectos estadísticamente significativos de estos bioinsumos en variables como la tasa de enraizamiento de las guías, la cobertura del follaje, la biomasa de las guías, la proliferación de guías, el rendimiento de biomasa aérea, la producción de raíces tuberosas comerciales, el contenido de clorofila en las hojas y la concentración de nutrientes tanto en el suelo como en el tejido vegetal. El biochar demostró ser particularmente eficaz en la promoción del desarrollo vegetativo, incrementando la proliferación de guías por planta (9 vs. 6 guías·planta⁻¹ en otros tratamientos) y la producción de biomasa aérea (24,17 t·ha⁻¹). El vermicompost logró el mejor establecimiento inicial (100%) y el máximo rendimiento de raíces tuberosas comerciales (24,90 t·ha⁻¹). La adición de residuos vegetales generó la mayor concentración de clorofila foliar (rango 41,86-45,93). Al final del ciclo, todos los tratamientos lograron mantener un estado nutricional adecuado, con una notable absorción de fósforo y hierro. Los resultados sugieren que estos bioinsumos son una alternativa efectiva para sustituir la fertilización química convencional en el cultivo de camote, con beneficios particulares para cada uno, dependiendo del objetivo de producción.

Palabras clave: *Ipomoea batatas*, INIAP Toquecita, bioinsumos, fertilidad del suelo.

Abstract

This study focused on evaluating the agronomic and productive response of sweet potato (*Ipomoea batatas*) variety INIAP-Toquecita to the application of various soil bioinputs. The study took place at INIAP's Portoviejo Experimental Station in Ecuador, from July to December 2022. The effects of several bioinputs, including diatoms, efficient microorganisms, biochar, earthworm humus, and organic matter, on various agronomic parameters were analyzed. The findings revealed statistically significant effects of these bioinputs on variables such as rooting rate, foliage cover, root biomass, root proliferation, aboveground biomass yield, commercial tuberous root production, leaf chlorophyll content, and nutrient concentrations in both soil and plant tissue. Biochar proved particularly effective in promoting vegetative growth, increasing vine proliferation per plant (9 vs. 6 vines·plant⁻¹ in other treatments) and aboveground biomass production (24.17 t·ha⁻¹). Vermicompost achieved the best initial establishment (100%) and the highest yield of commercial tuberous roots (24.90 t·ha⁻¹). The addition of plant residues generated the highest concentration of foliar chlorophyll (range 41.86-45.93). At the end of the cycle, all treatments maintained adequate nutritional status, with significant absorption of phosphorus and iron. The results suggest that these bioinputs are an effective alternative to conventional chemical fertilization in sweet potato cultivation, with specific benefits for each, depending on the production objective.

Keywords: *Ipomoea batatas*, INIAP Toquecita, bioinputs, soil fertility.



Introducción

El camote o batata se cultiva actualmente en 114 países a nivel mundial, destacándose por su versatilidad de uso y los bajos costos que implica su producción (Glato et al., 2017). Su relevancia nutricional es considerable, ya que contribuye a satisfacer las necesidades alimentarias de más de dos mil millones de personas en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2019). El camote es una raíz tuberosa con un gran potencial como opción económica y productiva. Puede ser utilizado para el consumo humano directo, como forraje en la alimentación animal, o como materia prima en la industria para la producción de diversos productos, como alimentos procesados, aditivos, almidones (Sunanta et al., 2019) y biocombustibles (Cantos et al., 2018; Weber et al., 2020).

A nivel mundial, se ha intensificado el interés por mejorar los hábitos alimentarios como parte del cuidado de la salud. Con esta idea, los productos de origen orgánico representan una respuesta a esta demanda, caracterizándose por su naturaleza fresca y la ausencia de residuos químicos en su producción (Murillo y Rodríguez, 2018).

Las tendencias actuales de consumo están cambiando hacia alimentos que favorecen el bienestar, basándose principalmente en productos orgánicos que no contienen agroquímicos (FAO, 2019). Este cambio en las preferencias alimentarias impulsa la necesidad de aumentar la productividad agrícola utilizando enmiendas orgánicas, que son esenciales para mejorar la salud y el estado nutricional del suelo, así como la capacidad productiva de los cultivos (Afrad et al., 2021). Los fertilizantes son fundamentales para la nutrición de las plantas, siendo tan importantes como el agua y la radiación solar. Existen diferentes tipos de enmiendas agrícolas (orgánicas y sintéticas), cada una con sus propias ventajas y desventajas. Los fertilizantes orgánicos, conocidos también como abonos, pueden ser de origen animal o vegetal, y se distinguen por mejorar las condiciones del suelo, favoreciendo la retención de agua y nutrientes, lo cual es clave en los sistemas agrícolas ecológicos. Sin embargo, uno de sus mayores inconvenientes es la menor solubilidad de los nutrientes que contienen, lo que requiere un mayor tiempo para que sean absorbidos por las plantas.

En cuanto al manejo nutricional del camote, como en otros cultivos, es esencial aplicar una estrategia que considere las etapas fenológicas y las necesidades específicas de la planta. Se considera que los requerimientos nutricionales del camote de acuerdo a la interpretación del análisis de suelo, corresponden a niveles bajos de N-P-K cuando existen 80-80-120 kg·ha⁻¹; medios con 60-40-60 kg·ha⁻¹ y altos con 40-40-60 kg·ha⁻¹; respectivamente. El éxito de la fertilización depende de una

correcta interpretación de los análisis del suelo, lo que asegura que los nutrientes estén disponibles en niveles adecuados durante todas las etapas de desarrollo del cultivo, garantizando su disponibilidad continua tanto en las fases vegetativa como reproductiva del camote (Padilla, 1979).

Entre los factores para la productividad de un cultivo destaca la nutrición, aspecto que involucra la selección adecuada de fuentes fertilizantes, el momento oportuno de aplicación y las dosis apropiadas. Los macro y micronutrientes deben suministrarse de forma equilibrada para lograr una nutrición adecuada en los cultivos; de lo contrario, tanto el desarrollo como el rendimiento pueden verse reducidos (Atuna et al., 2018). Los cultivos que desarrollan órganos subterráneos de almacenamiento, como raíces y tubérculos, requieren mayores cantidades de potasio, elemento que sirve para la formación y desarrollo de estas estructuras (Hasan, 2020). El fósforo resulta necesario para los procesos metabólicos, la floración y el desarrollo adecuado de las raíces tuberosas (Kareem, 2013). Los fertilizantes de origen orgánico podrían incrementar la productividad agrícola (Li et al., 2018), siendo prioritaria la identificación de productos orgánicos que ayuden a mejorar los rendimientos mientras mantienen la fertilidad edáfica.

Las diatomeas son una enmienda orgánica formada por esqueletos fosilizados de microalgas unicelulares conocidas como diatomitas. Estos materiales funcionan como acondicionadores del suelo y fuentes de nutrición vegetal, aportando microelementos para el desarrollo de las plantas, que sirven a la recuperación de suelos degradados y potenciando los niveles de fertilidad edáfica (Muñoz et al., 2019). En un estudio realizado por Jaramillo (2021) donde se evaluó el efecto de las diatomeas en cultivo de banano, encontrando que su aplicación complementaria con otros fertilizantes mejoró parámetros como altura de planta (3,73 m), biomasa del racimo (19,12 kg) y número de frutos·racimo⁻¹ (84,58), utilizando una dosis de 12 g de diatomea·planta⁻¹. De manera similar, Raya et al. (2022) reportaron resultados positivos en cultivo de girasol mediante la aplicación foliar de diatomeas, logrando incrementar los rendimientos de semilla hasta 2.047 kg·ha⁻¹.

Según investigaciones de Nagy et al. (2023), los consorcios microbianos beneficiosos, creados a partir de combinaciones específicas de bacterias y hongos, muestran un gran potencial para su aplicación en la producción de camote. De acuerdo con los estudios de White et al. (2019), estos microorganismos ayudan a solubilizar los nutrientes del suelo, lo que mejora su disponibilidad y absorción por las plantas, resultando en un mejor crecimiento y desarrollo del cultivo. Además, estos

microorganismos tienen un efecto protector contra patógenos, actúan como repelentes naturales de herbívoros y pueden frenar el crecimiento de plantas competidoras.

El biochar, también denominado biocarbón, es un material de granulometría fina, color oscuro y alto contenido carbonáceo, que resulta del proceso de pirólisis de biomasa vegetal y que actúa como acondicionador para mejorar las propiedades del suelo (Marousek et al., 2019). Estudios realizados por Indawan et al. (2018) documentaron que la aplicación de biocarbón derivado de residuos de tabaco en cultivo de camote incrementó diversos parámetros productivos, incluyendo la biomasa fresca y seca de raíces tuberosas, la biomasa seca total y el rendimiento estimado de raíces comerciales. Investigaciones complementarias en camote han demostrado que la combinación de 30 t·ha⁻¹ de biochar con 10 t·ha⁻¹ de estiércol avícola produjo mejoras en las características físicas del suelo (reducción de la densidad aparente, incremento de la porosidad y mayor retención de humedad) y en sus propiedades químicas (optimización de pH, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), factores que en conjunto mejoran el rendimiento del cultivo (Agbede y Oyewumi, 2022).

En investigaciones en camote, Rahmawati et al. (2022) documentaron que la incorporación de vermicompost (humus de lombriz) a una dosis de 10 t·ha⁻¹ generó un incremento tanto en la biomasa como en la cantidad de raíces tuberosas·planta⁻¹, en comparación con el tratamiento testigo sin aplicación. Los autores indicaron además que este tratamiento promovió una mayor proporción de raíces tuberosas de primera categoría (grado A, con biomasa superior a 200 g por raíz tuberosa).

El objetivo de este estudio fue evaluar las características productivas y agronómicas del camote INIAP-Toquecita frente a la aplicación de bioinsumos edáficos.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se ejecutó durante el periodo seco (julio-diciembre 2022) en la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, ubicada en la parroquia Colón, provincia de Manabí, Ecuador. Las coordenadas geográficas del sitio experimental corresponden a 1°07'2,64" S y 80°23'18,3" O, con una elevación de 44 msnm. Durante el periodo de estudio, las condiciones climáticas registraron temperaturas fluctuantes entre 21 y 31°C, humedad relativa promedio del 82% y una precipitación media anual de 672,7 mm. El terreno presentó topografía plana y, según el análisis realizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, el suelo posee textura limosa. Los factores evaluados incluyeron cinco bioinsumos: diatomeas, consorcio de microorganismos benéficos, biocarbón, vermicompost (presentado en forma de perlas) y material orgánico vegetal (cáscara de maní procesada). El detalle de los tratamientos se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos con las fuentes de fertilización orgánica al suelo en el cultivo de camote variedad INIAP-Toquecita.

Nº	Variedad	Bioinsumos edáficos	Dosis·ha ⁻¹
T1	INIAP-Toquecita	Diatomeas	2 kg
T2	INIAP-Toquecita	Microorganismos eficientes	10 L
T3	INIAP-Toquecita	Biochar	20 kg
T4	INIAP-Toquecita	Humus de lombriz	1 t
T5	INIAP-Toquecita	Materia orgánica	1 t
T6	INIAP-Toquecita	Sin aplicación	

Se implementó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con seis tratamientos y tres repeticiones, dando 18 unidades experimentales. Cada parcela experimental constaba de tres surcos con longitud de 5,1 m, separados a 0,8 m entre sí. Para las evaluaciones se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas del surco central (considerado como parcela útil). El material de propagación consistió en guías de la variedad INIAP-Toquecita, seleccionadas de plantas con tres meses de edad, que presentaban vigor, estaban libres de plagas y enfermedades, y fueron extraídas de la sección apical. El procesamiento estadístico incluyó análisis descriptivos complementados con análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confianza.

El establecimiento del ensayo se realizó en un terreno previamente preparado mediante labores mecanizadas (un pase de arado profundo, doble rastra y surcado), asegurando un suelo bien mullido y libre de terrones. Previo a la siembra, se efectuó un análisis químico del suelo para establecer la línea base de condiciones nutricionales. La siembra se realizó trazando un surco lateral a 10 cm de profundidad con ayuda de un pico, donde se colocaron guías de 40 cm de longitud en posición horizontal, espaciadas a 30 cm entre plantas y 80 cm entre hileras, estableciendo una densidad poblacional de 41.666 plantas·ha⁻¹. Las guías se cubrieron parcialmente, dejando aproximadamente una cuarta parte expuesta. El riego se administró por gravedad, con frecuencia semanal durante el primer mes y quincenal a partir del segundo mes, hasta los 90 días después de la siembra. La aplicación de los bioinsumos edáficos se realizó en dos momentos: al momento de la siembra y 20 días después. Las prácticas agronómicas adicionales se efectuaron siguiendo las recomendaciones del manual técnico del cultivo de camote (Cobena et al., 2017).

A los 15 días después de la siembra (dds), se evaluó el porcentaje de prendimiento de las guías. La medición del vigor vegetativo se llevó a cabo a los 45 dds utilizando una escala cualitativa con tres categorías: escaso (P), moderado (I) y vigoroso (V).

A los 60 dds se valoraron múltiples parámetros: cobertura de suelo mediante una escala categórica: baja (<50%), media (50-74%), alta (75-90%) y total (>90%), según metodología propuesta por Huamán (1991); biomasa de 100 guías, seleccionando segmentos de 40 cm de longitud y expresando el resultado en kilogramos; número de guías·planta⁻¹, contabilizando aquellas con longitud

superior a 40 cm; longitud de guías, medida desde la base hasta el ápice de la guía principal, expresada en centímetros.

A los 120 dds se realizó la evaluación final, incluyendo: rendimiento de biomasa fresca aérea (hojas y tallos), expresado en $t \cdot ha^{-1}$; conteo de raíces tuberosas comerciales, excluyendo aquellas con daños o biomasa inferior a 100 g, expresado en unidades por hectárea; rendimiento de raíces comerciales, expresado en $t \cdot ha^{-1}$.

Adicionalmente, se determinó el índice de verdor utilizando el medidor SPAD 502 Konica Minolta (León et al., 2021), tomando lecturas en hojas ubicadas en la sección media de las guías. Al finalizar el ciclo productivo, se tomaron muestras de suelo y material vegetal de cada tratamiento para realizar análisis de macro y micronutrientes en el laboratorio especializado de la Estación Experimental Santa Catalina, Pichincha, Ecuador.

Resultados y discusión

Prendimiento y vigor

Respecto a la variable prendimiento, el análisis de los datos (tabla 2) reveló que todos los tratamientos alcanzaron elevados porcentajes de establecimiento, oscilando entre 96 y 100%. Este resultado favorable se atribuyó a la calidad del material de propagación utilizado, consistente en guías seleccionadas de plantas saludables y vigorosas, con tres meses de desarrollo y aproximadamente 40 cm de longitud. Los valores obtenidos superaron lo reportado por Quispe (2017), quien documentó un promedio de 91,53% de prendimiento en su estudio con camote. En cuanto al vigor, la tabla 2 muestra que la totalidad de los tratamientos exhibió un nivel vigoroso, condición probablemente influenciada por el adecuado régimen de humedad mantenido durante la fase inicial del cultivo, dado que el sistema de riego por gravedad implementado permitió preservar la humedad edáfica por periodos superiores a 7 días. Esta observación concordó con lo señalado por Quispe (2017), quien asoció el adecuado vigor de las plantas con condiciones hídricas favorables durante la etapa inicial de desarrollo.

Tabla 2. Porcentaje de prendimiento y vigor del camote.

Tratamientos	Prendimiento (%)	Vigor*
Diatomeas	99	V
Microorganismos eficientes	96	V
Biochar	96	V
Humus de lombriz	100	V
Materia orgánica	98	V
Sin aplicación (T)	99	V

*Escala P= poco vigor; I= intermedio; V= vigoroso.

Cobertura de suelo

Con relación con la cobertura de suelo, se observó variabilidad en los porcentajes entre los distintos tratamientos evaluados. Como se observa en la tabla 3, el tratamiento testigo (sin aplicación de bioinsumos) logró la mayor cobertura del suelo con un 87%, seguido por el tratamiento con vermicompost, que alcanzó un 83%. Estos resultados fueron superiores a los documentados por Quispe (2017), quien en su investigación registró una cobertura foliar de nivel intermedio. Aun cuando se clasificaron en este rango, dicho autor destacó la naturaleza invasiva característica del camote y la rápida expansión de su dosel foliar.

Biomasa de guías

En cuanto a la biomasa de 100 guías, los resultados evidenciaron diferencias entre los tratamientos, con valores que variaron entre 1,3 y 1,9 kg para segmentos de 40 cm de largo. Las diferencias encontradas sugirieron que los bioinsumos aplicados afectaron la acumulación de biomasa en las guías a los 60 días. En este caso, el tratamiento con biocarbón se destacó al obtener la mayor biomasa, alcanzando 1,9 kg por cada 100 guías muestreadas.

Tabla 3. Resultados para las variables cobertura de suelo (%) y biomasa de 100 guías (kg) en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Cobertura de suelo (%)	Biomasa de 100 guías (kg)
Diatomeas	80	1,7
Microorganismoseficientes	57	1,5
Biochar	70	1,9
Humus de lombriz	83	1,3
Materia orgánica	70	1,6
Sin aplicación (T)	87	1,5

Número de guías por planta y rendimiento de follaje

Al analizar la variable número de guías/planta⁻¹, se evidenció que cinco de los seis tratamientos presentaron valores similares, promediando 6 guías/planta⁻¹. La excepción fue el tratamiento con biocarbón, que mostró un desarrollo vegetativo superior con 9 guías/planta⁻¹. Esta diferencia en la proliferación vegetativa se reflejó directamente en el rendimiento de biomasa aérea, donde este mismo tratamiento alcanzó la mayor producción con 24,17 $t \cdot ha^{-1}$ (tabla 4). Estos hallazgos coincidieron con lo reportado por Andika et al. (2019), quienes documentaron que la incorporación de 10 $t \cdot ha^{-1}$ de biocarbón derivado de paja de arroz produjo un incremento significativo en la biomasa, alcanzando 1227,81 $g \cdot planta^{-1}$.

Tabla 4. Número de guías por planta y rendimiento del follaje.

Tratamientos	Guías·planta ⁻¹	Rendimiento de follaje (t·ha ⁻¹)
Diatomeas	6	21,25
Microorganismos eficientes	6	17,78
Biochard	9	24,17
Humus de lombriz	6	16,53
Materia orgánica	6	17,08
Sin aplicación (T)	6	19,44
CV (%)	46,92	42,09
Tukey 0,05	ns	ns

Número de raíces comerciales y rendimiento de raíces

En cuanto al rendimiento de órganos de reserva, el análisis estadístico del número de raíces comerciales (tabla 5) no detectó diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, se identificaron variaciones numéricas importantes, destacándose el tratamiento con vermicompost, que registró la mayor cantidad de raíces comerciales por hectárea (170.835 unidades) y simultáneamente el rendimiento más elevado con 24,90 t·ha⁻¹. Estos resultados fueron consistentes con lo reportado por Rahmawati et al. (2022), quienes indicaron que la aplicación de 10 t·ha⁻¹ de vermicompost generó incrementos en la biomasa y cantidad de tubérculos·planta⁻¹ en comparación con el testigo sin aplicación. Adicionalmente, estos investigadores observaron una mayor proporción de raíces tuberosas frescas de categoría premium (grado A, con biomasa superior a 200 g·raíz tuberosa⁻¹) en las parcelas tratadas con este bioinsumo.

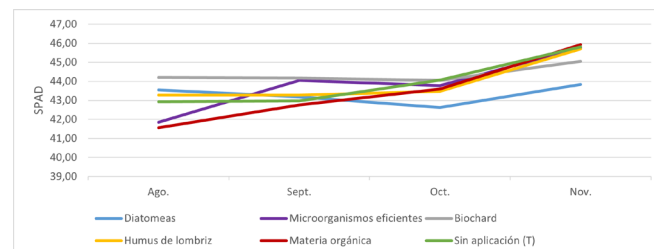
Tabla 5. Número de raíces comerciales y rendimiento de raíces comerciales.

Tratamientos	Número de raíces comerciales·ha ⁻¹	Rendimiento raíces comerciales (t·ha ⁻¹)
Diatomeas	162.501	24,13
Microorganismos eficientes	158.334	21,01
Biochard	115.279	16,13
Humus de lombriz	170.835	24,90
Materia orgánica	168.057	22,70
Sin aplicación (T)	154.168	19,71
CV (%)	30,07	24,76
Tukey 0,05	ns	ns

Índice de verdor (SPAD)

El índice de verdor, parámetro vinculado a la concentración de pigmentos fotosintéticos que permite a las plantas captar energía lumínica para su conversión en energía química durante la fotosíntesis, mostró un comportamiento de incremento en el tiempo. Como se ilustra en la figura 1, los valores SPAD registraron un incremento progresivo a lo largo del ciclo fenológico, desde inicios de agosto hasta finales de noviembre. El tratamiento con materia orgánica vegetal se distinguió por mantener consistentemente las lecturas más elevadas, con valores

oscilando entre 41,86 y 45,93 unidades SPAD. Estos resultados difirieron de lo descrito por Pepo (2018), quien documentó una tendencia decreciente en las lecturas SPAD hacia el final del ciclo vegetativo.

**Figura 1.** Índice de verdor expresado en unidades SPAD en plantas de camote (*Ipomoea batatas*).

Análisis de macro y micro elementos en suelos

Los análisis de suelo (tabla 6) indicaron que ciertos elementos minerales presentes inicialmente en el suelo, como el fósforo, azufre, boro, zinc, hierro y manganeso, mostraron una reducción en sus concentraciones al finalizar el ciclo productivo, lo que reveló una absorción activa de estos nutrientes por el cultivo durante su desarrollo.

Tabla 6. Datos de macro y micro elementos presentes en el suelo en pre y post cosecha, EEP. 2023.

Tratamientos	Macro y micro elementos												
	ppm					Meq/100 g					ppm		
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn	MO	pH
Diatomeas	6,7	16,1	1,8	27,9	5,4	12,6	0,8	1,4	8,4	16,0	1,9	0,9	8,2
Microorganismos eficientes	9,3	17,6	1,9	28,3	5,0	15,0	0,7	1,3	8,0	15,0	2,2	0,9	8,3
Biochard	32,6	18,0	1,9	28,6	5,3	13,1	0,7	1,1	8,2	19,0	2,1	0,9	8,5
Humus de lombriz	15,6	13,2	1,8	29,4	5,6	16,7	0,7	1,4	8,1	17,0	1,9	0,8	8,5
Materia Orgánica	15,1	17,1	1,8	25,5	5,1	10,5	0,7	1,5	7,6	18,0	2,0	0,7	8,7
Sin aplicación (T)	15,3	14,6	1,9	24,8	4,7	14,3	0,8	1,2	7,7	12,0	2,3	0,9	8,5
Análisis de suelo inicial	6,0	50,0	1,3	12,0	4,3	24,0	1,3	4,1	3,6	100,0	7,0	1,0	8,1

Análisis de macro y micro elementos en follaje a los 120 dds

Los resultados del análisis nutricional del follaje a los 120 días después de la siembra (tabla 7) indicaron que todos los elementos analizados en los diferentes tratamientos superaron los niveles críticos establecidos por Bolle-Jones e Ismunadji (1963) y Spence y Ahmad (1967). Según estos autores, los niveles adecuados de nutrientes a los 105 días después de la siembra correspondieron a: N 3,7 ppm; P 0,4 ppm; K 5,9 meq/100 g; Ca 0,6 meq/100 g; Mg 0,54 meq/100 g y S 0,41 ppm; mientras que los niveles de deficiencia se situaron en: N 2,5 ppm; P 0,1 ppm; K 0,8 meq/100 g; Ca 0,2 meq/100 g y Mg 0,16 meq/100 g. Para el estadio de 150 días después de la siembra, los niveles óptimos reportados son: N 2,88 ppm; P 0,2 ppm; K 1,76 meq/100 g; Ca 0,92 meq/100 g; Mg 0,22 meq/100 g y S 0,25 ppm; considerándose como niveles

deficitarios: N 1,5 ppm; P 0,1 ppm; K 0,5 meq/100 g; Ca 0,2 meq/100 g; Mg 0,05 meq/100 g y S 0,08 ppm.

Tabla 7. Macro y micro elementos presentes en el follaje a los 120 dds, EEP. 2023

Tratamiento	%						mg·kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Diatomea	2,13	0,39	2,99	2,62	0,47	0,29	62,11	54,3	10,18	812,85	37,54
Microorganismos eficientes	2,61	0,42	3,55	2,28	0,46	0,28	44,56	26,41	10,97	842	36,78
Bichard	2,24	0,4	3,17	2,24	0,48	0,26	44,61	32,78	11,67	830,38	25,75
Humus de lombriz	2,18	0,4	3,08	2,58	0,47	0,3	63,42	26,55	9,98	1038,1	43,94
Materia Orgánica	2,2	0,42	3,41	2,28	0,44	0,27	53,66	29,2	12,77	940,5	38,35
Sin aplicación (T)	2,89	0,4	3,72	1,72	0,43	0,27	33,15	34,31	12,31	1229	42,19

Respecto al contenido de biomasa seca en el material foliar evaluado a los 120 días después de la siembra, la figura 2 mostró que los valores oscilaron entre 16 y 20%. El tratamiento con biocarbón se destacó por alcanzar la mayor concentración de biomasa seca, con un 20%.

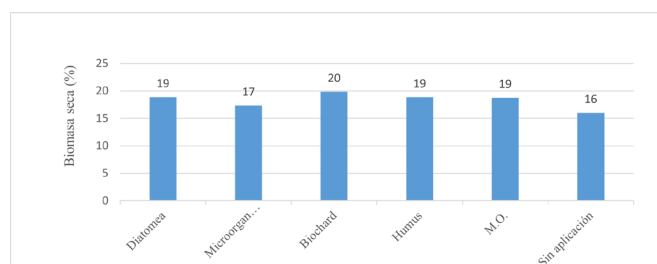


Figura 2. Contenido de materia seca en hojas de camote a los 120 días.

Conclusión

Los resultados de esta investigación demuestran que la incorporación de bioinsumos al suelo genera impactos importantes sobre diversos parámetros agronómicos y productivos en la variedad de camote INIAP-Toquecita. Esto sugiere que los insumos biológicos evaluados son alternativas viables para incrementar el rendimiento y la calidad del cultivo.

El biocarbón mostró un efecto positivo en el desarrollo vegetativo de las plantas. Aquellas que recibieron este tratamiento presentaron una mayor ramificación (9 guías·planta⁻¹, frente a 6 en los otros tratamientos), una mayor biomasa en las guías (1,9 kg por cada 100 guías) y, como resultado, una mayor producción de biomasa aérea (24,17 t·ha⁻¹). Estos resultados hacen del

biocarbón una opción recomendable cuando se busca optimizar la producción de biomasa foliar.

El vermicompost, logró el establecimiento perfecto de las guías (100% de prendimiento), así como la mayor densidad de raíces comerciales por hectárea (170.835 unidades) y el rendimiento máximo de raíces tuberosas comerciales (24,90 t·ha⁻¹). Estos resultados indican que el vermicompost puede ser particularmente efectivo para incrementar la producción de órganos de reserva en camote.

Los análisis de los niveles nutricionales, tanto en el suelo como en el tejido foliar, indicaron que al final del ciclo productivo, ninguno de los tratamientos mostró deficiencias de macro o micronutrientes. Esto sugiere que todos los bioinsumos evaluados proporcionaron una nutrición adecuada para el cultivo. Se notó una absorción eficiente de fósforo y hierro, lo que podría estar relacionado con las mejoras observadas en el desarrollo vegetativo y el rendimiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Afrad, M. S. I., Mustafizur Rahman, G. K. M., Saiful Alam, M., Ali, M. Z. and Barau, A. A. (2021). Effects of organic and inorganic fertilizers on growth and yield of different crops at Charlands in Bangladesh. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 17(3), 27-40. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2021/>
- Agbede, T. and Oyewumi, A. (2022). Benefits of biochar, poultry manure and biochar–poultry manure for improvement of soil properties and sweet potato productivity in degraded tropical agricultural soils. *Resources, Environment and Sustainability*, 7, 100051, <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100051>.
- Andika, M., Rahmawati, N. and Sitepu, F. (2019). Growth and production responses of local sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) genotypes on paddy straw biochar application in the paddy fields. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 260, 012152. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012152>
- Atuna, R. A., Aduguba, W. O., Alhassan, A. R., Abukari, I. A., Muzhingi, T., Mbongo, D. and Amagloh, F. K. (2018). Post-harvest quality on two orange-fleshed sweet potato [*Ipomoea batatas* (L) Lam.] cultivars as influenced by organic soil amendmen treatments. *Journal of Nutrition*

- & *Food Sciences*, 8(6), 3-8. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000691>.
- Bolle-Jones, E. W. e Ismunadji, M. (1963). Mineral deficiency symptoms of the sweet potato. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 31, 60-64.
- Cobeña Ruiz, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas Guillen, F. M. y Guzmán Cedeño, Á. (2017). *Manual técnico del cultivo de camote*. https://www.researchgate.net/publication/330968472_MANUAL_TECNICO_DEL_CULTIVO_DE_CAMOTE
- Cantos, A., Vilela, J., Machado, J., Perez, E. and Vilela, N., (2018). Alcohol production from sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) genotypes in fermentative medium. *Acta Agronómica*, 67(2), 231-237. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.65321>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CA6030ES>
- Glato, K., Aidam, A., Kane, N. A., Bassirou, D., Couderc, M., Zekraoui L., Scarcelli, N., Barnaud, A. and Vigouroux, Y. (2017) Structure of sweet potato (*Ipomoea batatas*) diversity in West Africa covaries with a climatic gradient. *PLoS ONE*, 12(5), e0177697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177697>
- Hasan, S. and Ragab, A. (2020). Effect of potassium fertilizer, feldspar rock and potassium releasing bacterium (*Bacillus circulans*) on sweet potato plant under sandy soil conditions. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 2(2), 56-63. <https://doi.org/10.21608/sjas.2020.41338.1035>
- Huamán, Z. (1991). *Descriptores de la batata*. CIP/AVRDG/IBPGR, https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/descrip_sweet_potato_spa_jpg.pdf
- Indawan, E., Lestari, S. U. and Thiasari, N. (2018). Sweet potato response to biochar application on sub-optimal dry land. *J. Degrad. Min. Land Manage*, 5(2), 1133-1139, <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.052.1133>.
- Jaramillo, C. (2021). Efecto de nitrógeno, fosforo y potasio más tierra de diatomea en el cultivo de plátano (*Musa AAB*), cantón Milagro, provincia del Guayas. Tesis. Milagro-Ecuador. <http://181.198.35.98/Archivos/JARAMILLO%20QUNDE%20CARLOS%20JAVIER.pdf>
- Kareem, I. (2013). Growth, yield and phosphorus uptake of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) under the influence of phosphorus fertilizers. *Res. J. Chem. Env. Sci.* 3, 50-55. http://www.aelsindia.com/Vol1august_2013/9.pdf
- Li, X. P., Liu, C. L., Zhao, H., Gao, F., Ji, G. N., Hu, F. and Li, H. X. (2018). Consistent improvements in soil biochemical properties and crop yields by organic fertilization for above-ground (rapeseed) and below-ground (sweet potato) crops. *The Journal of Agricultural Science*, 156(10), 1186-1195. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/consistent-improvements-in-soil-biochemical-properties-and-crop-yields-by-organic-fertilization-for-aboveground-rapeseed-and-belowground-sweet-potato-crops/2E42A378BEA988ACA9CF0936312D206D>
- León-Pacheco, R. I., Pérez-Macias, M., Fuenmayor-Campos, F. C., Rodríguez-Izquierdo, A. J., Rodríguez-Yzquierdo, G. A. and Villagran-Munar, E. A. (2021). Evaluación agronómica y fisiológica en clones de camote (*Ipomoea batatas*) sometidos a condiciones de estrés hídrico. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 719-732. https://www.redalyc.org/journal/437/43768194002/html/#redalyc_43768194002_ref28
- Maroušek, J., Strunecký, O. and Stehel, V. (2019). Biochar farming: defining economically perspective applications. *Clean Techn. Environ. Policy*, 21, 1389-1395. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01728-7>
- Méndez, C., Moreira, M. y Bertsch, F. (1987). Absorción y contenido de nutrientes durante el ciclo de la planta de dos cultivares de camote (*Ipomoea batatas* L.), en Alajuela. *Bol. Téc. Est. Fabio B.* 20(1), 1-10. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/78663/1Mendez-camote.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz, M., Cabello, C., Canafoglia, M., González, M., Botto, I. y González, M. (2019). Caracterización físico-química y valorización de tierra de diatomea de Antofagasta de la sierra, Catamarca, Argentina. V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie. La Plata, Argentina 12-14 de junio de 2019. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77631>
- Murillo, A. y Rodriguez, D. (2018). Alimentación saludable, la gran tendencia del consumo actual. Proyecto de grado, Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ciencias Económicas y administrativas, Departamento de Ciencias Administrativas, Programa mercadeo y negocios internacionales, Santiago de Cali. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10621/T08290.pdf?sequence=5>
- Nagy, V. D., Zhumakayev, A., Vörös, M., Bordé, Á., Szarvas, A., Szűcs, A., Kocsubé, S., Jakab, P., Monostori, T., Škrbić, B. D., Mohai, E., Hatvani, L., Vágvölgyi, C. and Kredics, L. (2023). Development of a multicomponent microbiological soil inoculant and its performance in sweet potato cultivation. *Microorganisms*, 11(4), 914. doi: 10.3390/microorganisms11040914. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37110337/>



- Padilla, W. (1979). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Pepó, P. (2018). The effect of different planting methods on the yield and SPAD readings of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *COLUMELLA—Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(1), 7-12. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.1.7>
- Quispe, A. (2017). Adaptación y rendimiento de 20 clones de camote (*Ipomoea batatas* L.) de doble propósito en el ecosistema de bosque seco, Piura. *Ciencia y Desarrollo*, 20(1), 15-48. <https://doi.org/10.21503/cyd.v20i1.1407>
- Rahmawati, N., Sitepu1, F. and Pasaribu1, M. (2022). Vermicompost application to increase sweet potato local genotype yield to support sustainable agriculture. IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.*, 977, 012027. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/977/1/012027/pdf>
- Raya, Y., Apaez, M., Lara, M. y Apaez, P. (2022). Producción de girasol (*Helianthus annuus* L.) con aplicación foliar de tierra diatomea. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1), e0081001. <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/232/123>
- Spence, J. A. and Ahmad N. (1967). Plant nutrient deficiencies and related tissue composition of the sweet potato. *Agron. J.*, 59, 59-62.
- Sunantha, K., Lovedeep, K., Yukiharu, O. and Jaspreet, S. (2019). Sweet potato microstructure, starch digestion, and glycemic index. pp. 243-272. Chapter 9. Tai-Hua, M. and Singh, J. (Eds.). *Sweet Potato*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813637-9.00009-0>
- White, J. F., Kingsley, K. L., Zhang, Q., Verma, R., Obi, N., Dvinskikh, S., Elmore, M. T., Verma, S. K., Gond, S. K. and Kowalski, K. P. (2019). Review: Endophytic microbes and their potential applications in crop management. *Pest Management Science*, 75(10), 2558-2565. <https://doi.org/10.1002/ps.5527>
- Weber, C., Ranzan, L., Liesegang, L., Ferreira, L. and Trierweiler, J., (2020). A circular economy model for ethanol and alcohol-based hand sanitizer from sweet potato waste in the context of COVID-19. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 17(03), e20201025. <https://doi.org/10.14488/10.14488/BJOPM.2020.028>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Jennifer López Castro: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original. **Zully Soledispa Bernita:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original. **Joffre Añazco Chávez:** metodología, redacción-revisión y edición. **Favio Ruilova Narváez:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original. **Xavier Ortiz Dueñas:** investigación, redacción-revisión y edición. **Jorge Tumbaco Vera:** investigación, redacción-revisión y edición. **Gloria Cobeña Ruiz:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original. **Chang Hwan Park:** investigación.