



Acta Agronómica

Vol 73 (2)

abril - junio 2024 / april - june 2024

ISSN 0120 - 2812

e-ISSN 2323-0118



73-2

Sede
Palmira



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Comité Editorial / Editorial Board

Joel Tupac Otero Ospina

Editor Jefe / in Chief

Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, Colombia
jtotoero@unal.edu.co

America Josefina Quintero Chacón

Universidad Nacional del Táchira, Venezuela
americajquintero@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-9377-7086>

Arcangelo Loss

Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil
arcangelo.loss@ufsc.br
<http://orcid.org/0000-0002-3005-6158>

Felipe Rafael Garcés Fiallos

Universidad de Guayaquil, Ecuador
felipegarces23@yahoo.com
<http://orcid.org/0000-0002-1795-4439>

Francisco Cruz Sosa

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México
cuhp@xanum.uam.mx
<http://orcid.org/0000-0002-7127-7264>

Gisella S. Cruz García

Oxfam Novib, La Haya, Países Bajos
gisella.cruzgarcia@oxfamnovib.nl
<http://orcid.org/0000-0002-2699-3157>

Juan Humberto Avellaneda Cevallos

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
juan.avellaneda@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-1805-4803>

Javier Antonio Benavides Montano

Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, Colombia
abenavidesm@unal.edu.co
<http://orcid.org/0000-0003-3247-5994>

Joel Tupac Otero Ospina

Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, Colombia
jtotoero@unal.edu.co
<http://orcid.org/0000-0002-0810-183X>

John Ocampo

Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, Colombia
jaocampop@unal.edu.co
<http://orcid.org/0000-0002-2720-7824>

José Luis Chávez Servia

Instituto Politécnico Nacional, México
jchavez@ipn.mx
<http://orcid.org/0000-0002-8816-4127>

Luis Carlos Martínez

Universidad Federal de Viçosa-MG, Brasil
lc.martinez@outlook.com
<http://orcid.org/0000-0001-7741-2984>

Luis Fernández Portillo

Universidad de Loyola, Andalucía, España
portillo@uloyola.es
<http://orcid.org/0000-0001-7152-5267>

Maia Fradkin

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina, Argentina
maiafradkin@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-1575-7634>

María Aurora Londoño Avendaño

Universidad de Valle - Santiago de Cali, Colombia
maria.avendano@correounivalle.edu.co

María del Mar Delgado Serrano

Universidad de Córdoba Escuela T.S. de Ingeniería Agronómica y Montes, España
mmdelgado@uco.es
<http://orcid.org/0000-0003-0171-6097>

María Fernanda Quintero Castellanos

Universidad autónoma de san Luis Potosí, México
mfquintero@unal.edu.co
<http://orcid.org/0000-0002-9130-0679>

Marinaldo Divino Ribeiro

Universidad Autónoma de Barcelona, CREA, Brasil
fgojedac@unal.edu.co

Mercedes del Río Celestino

Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera (IFAPA), España
mercedes.rio.celestino@juntadeandalucia.es
<http://orcid.org/0000-0001-9130-2669>

Patrick Lavelle

Universidade Federal de Viçosa-MG, Brasil
plavelle48@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-2127-1067>

Pedro Mercado Ruaro

Instituto de Biología, UNAM, México
mruaro@ib.unam.mx

Ramón Díez Matallana

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
rdiez@lamolina.edu.pe
<http://orcid.org/0000-0001-8247-1452>

Sérgio Ruffo Roberto

Universidade Estadual de Londrina, Brasil
sroberto@uel.br
<http://orcid.org/0000-0003-2357-187X>

Silvia López Ortiz

Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz, México
silvalopez@colpos.mx
<http://orcid.org/0000-0002-5202-3365>

Código QR sitio web





Comité Científico / Scientific Committee

Juan Pablo Martínez Dávila

COLPOS, Colegio de Posgraduados, Veracruz, Estado de Veracruz, México.
jpmartin@colpos.mx

Julián Ramírez Villegas

Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira, Valle del Cauca, Colombia
j.r.villegas@cgiar.org
<http://orcid.org/0000-0002-8044-583X>

Félix Hernández Hernández

Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA) Universitat Jaume I Castellón, España
hernandf@uji.es
<http://orcid.org/0000-0003-1268-3083>

Charlotte Poschenrieder Wiens

Universidad Autónoma de Barcelona, España.
charlotte.poschenrieder@uab.cat

Pablo Rafael Speranza Gastaldi

Universidad Nacional Autónoma de México, México.
mruaro@ib.unam.mx
<http://orcid.org/0000-0003-3457-0151>

Daniel Debouck

Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Palmira-Valle, Colombia
d.debouck@cgiar.org

Margarida L R Aguiar-Perecin

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". (ESALQ)/Universidade de São Paulo, Brasil
mlrapere@usp.br

Paulo Roberto Da Silva

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil
prsilva@unicentro.br

Andrea Liliana Clavijo McCormick

Max Planck Institute for Chemical Ecology, Germany. University Ökologie. Zürich, Schweiz
andrea.clavijo@usys.ethz.ch

Gisella Susana Cruz García

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira, Valle del Cauca, Colombia
g.s.cruz@cgiar.org

Idupulapati M. Rao

Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira, Valle del Cauca, Colombia
i.rao@cgiar.org
<http://orcid.org/0000-0002-8381-9358>

Mercedes del Rio Celestino

Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera (IFAPA). La Mojonera, Almería-España
mercedes.rio.celestino@juntadeandalucia.es
<http://orcid.org/0000-0001-9130-2669>

Marcelo Guerra

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
mguerra@ufpe.br
<http://orcid.org/0000-0003-1438-9742>

Código QR sitio web



Misión / Mission

Revista Acta Agronómica

Misión: Misión: La revista Acta Agronómica, editada trimestralmente por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, publica artículos científicos en español e inglés, de trabajos en los ámbitos de las Ciencias Agrarias y del Desarrollo Rural Sostenible, de autores afiliados a organizaciones educativas e investigativas de Colombia, de las naciones de la Comunidad Andina, de América Latina, del Caribe y de Iberoamérica. Los artículos de revisión se escriben a solicitud del Comité Editorial de la revista. Las opiniones son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Envío de documentos y correspondencia: actaagronomica_pal@unal.edu.co

Redacción de manuscritos: En esta edición se publica la Guía Abreviada para la redacción de manuscritos. Al documento "Instrucciones a los Autores" se puede acceder en el sitio web: www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica

Reproducción de artículos: Se autoriza la fotocopia de artículos para fines académicos citando la fuente.

Acceso en línea: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica

Indexada: ISI (Web of Science), SCOPUS, SciELO, Redalyc, Qualis (CAPES), Dialnet, DOAJ (Directory of Open Journal Access), e-Revistas, Publindex (Colciencias), entre otros. | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 / Impresión: Image Impresores, Colombia, 100 ejemplares, Julio de 2015

Acta Agronómica Journal

Mission: Mission: Acta Agronomica Journal, edited quarterly by National University of Colombia, campus Palmira, publishes scientific papers in Spanish and English, in Agricultural Sciences, Agroindustry, Environment and related areas, resulting of research of authors associated to education and research institutions from different countries. Reviews are written and published by the journal Editorial Board or editor in chief invitation. Opinions are of exclusive responsibility of the authors.

Documents and correspondence can be send to: actaagronomica_pal@unal.edu.co.

Document preparation: an abbreviated guide is published in this edition. To access Authors Instructions complete guide, go to the website www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica

Article reproduction or copy: Copies with academic aims are authorized with source citation.

On line access: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica.

Indexed in: ISI (Web of Science), SCOPUS, SciELO, Redalyc, Qualis (CAPES), Dialnet, DOAJ (Directory of Open Journal Access), e-Revistas, Publindex (Colciencias), among others. | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 / Printed 100 copies by Image Impresores, Cali, Colombia, july 2015.

Revista Acta Agronómica

Missao: a revista Acta Agronómica, editada trimestralmente pela Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, publica artigos científicos resultados de pesquisas em Castelhamo e Inglês, nos âmbitos das Ciências Agrárias, Agroindustriais, Ambientais e outras áreas afins, de autores associados a entidades de educação e de pesquisa de países em geral. Os artigos de revisao sao escritos por solicitacao do Comitê Editorial ou do(a) editor (a) chefe da revista. As opinioes sao de exclusiva responsabilidade dos autores.

Documentos e correspondencias: actaagronomica_pal@unal.edu.co.

Preparação de documentos: Nesta edicao, ou no sitio web www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica se pode acessar o guia abreviado para a redacao dos documentos, "Instrucoes para os Autores", e as intrucoes do OJS (Open Journal System).

Eprodução ou cópias: Estao autorizadas fotocopias dos artigos para fins acadêmicos, citando a fonte. A aceitacao de publicidade nao implica aprovacao nem o respaldo dos respectivos produtos ou servicos por Acta Agronómica, nem pela Universidad Nacional de Colombia.

Acesso em linha: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica.

Indexada em: ISI (Web of Science), SCOPUS, SciELO, Redalyc, Qualis (CAPES), Dialnet, DOAJ (Directory of Open Journal Access), E-Revistas, Publindex (Colciencias), entre outros. | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 / Impressos 100 exemplares por Image Impresores, Cali, Colombia, julho de 2015.



Comité Técnico / Technical Board

Coordinadora editorial
Supervisión:
Corrección de estilo:
Diseño y diagramación:
Marcación XML:

Selene Alarcón Vásquez
Joel Tupac Otero Ospina
Julian Naranjo Guevara
Alexander Pereira Mosquera
José Raniere Correa Cárdenas

Créditos fotografía:

Foto: Alexander Pereira Mosquera
Foto cultivo café.

Nota:

Foto realizada en el Corregimiento Peralonso, Risaralda

Guía abreviada para preparación de documentos / Brief guide for document preparation

Guía abreviada para preparación de documentos

Tipos y características de los documentos: Los trabajos sometidos a publicación no podrán someterse a otra revista mientras dure el proceso de revisión. Los errores de ortografía y la omisión de normas de presentación de documentos según la política editorial de Acta Agronómica son causales de rechazo.

Artículo científico: Presenta los resultados de investigación científica basada en hipótesis teórica o experimental, que signifique un aporte original al conocimiento. Relata la manera de delimitar la pregunta de investigación, el camino para someterla a prueba (análisis estadístico del experimento, protocolos disciplinarios) y la confrontación de los datos generados con la literatura actual. El rango aceptable para la configuración del documento es de 3500 hasta de 5000 palabras y hasta 20 referencias bibliográficas, incluyendo títulos (en el idioma original y en inglés), resumen (hasta 250 palabras), palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión y referencias bibliográficas.

Artículo de revisión: Será enviado a la revista únicamente por invitación directa del comité editorial o editora jefe de Acta Agronómica. Contiene el resultado de trayectorias dedicadas a la investigación o temas de frontera en las áreas de interés de la revista. Los límites máximos del documento son 10.000 palabras y hasta 80 referencias bibliográficas, incluyendo título (idioma original e inglés), resumen, abstract, introducción, capítulos, subcapítulos y referencias bibliográficas.

Preparación y formato del documento:

- Software Microsoft Office Word (Documento de Word 97-2003). Fuente Bookman Old Style, 14 para títulos, 12 para texto.
- Ajuste del documento al tamaño de papel carta (21.5 x 27.9 cm) y márgenes de 2.5 cm.
- Digite a doble espacio a través de todo el texto (incluyendo tablas y figuras).
- Palabras claves y key words deben ir ordenadas alfabéticamente. No repetir palabras del título.
- Únicamente usar la designación de Tabla y Figura (2000 x 1200 px, resolución 300 dpi, formato jpg, png)
- Los agradecimientos son opcionales y pueden contener máximo 30 palabras
- Para las referencias bibliográficas usar el estilo de la American Psychological Association (APA). No utilizar referencias como tesis, folletos, cartillas, resúmenes de congresos o eventos científicos.
- La revista adopta el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Envío de documentos: El envío de documentos es responsabilidad del autor para correspondencia y se realiza exclusivamente a través de la plataforma Open Journal System, página web de Ac Ag, http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica.

Brief guide for document preparation

Types and characteristics of documents: The papers submitted to publication may not submit to another journal while the review process. Spelling errors and omission of document presentation rules according to the Acta Agronomica editorial policy are grounds of non- acceptance.

Scientific article: Presents the results of science research based in theoretical or experimental hypothesis that means an original contribution to knowledge. Describe the way to delimit the research question, the road to carry out the evaluation (the experiment statistical analysis, disciplinary protocols) and the data confrontation generated with the current literature. The configuration document acceptable range is from 3500 words to 5000 words and until twenty (20) bibliographic references, including titles (in original language and English title), abstract (250 words), key words, introduction, materials and methods, results and discussion and bibliographic references.

Review article: Will be submit to the journal only by direct invitation of the Acta Agronomica editorial board or chief editor. Contains the result of the dedicated paths to the research or border issues in the areas of interest of the journal. The maximum limits of the document are 10.000 words and 80 bibliographic references including title (original language and English title), abstract, key words introduction, chapters, bychapters and bibliographic references.

Document preparation and format:

- Software Microsoft Office Word (Word document 97-2003). Bookman Old Style, 14 for titles, 12 for text.
- Set document to letter size paper (21.5 x 27.9 cm) and 2.5 cm margins.
- Type double-spaced throughout the text (including tables and figures).
- Key words must be order alphabetically, do not repeat any title words.
- Use Table and Figure designation (2000 to 1200 px, resolution 300 dpi, format jpg, png).
- Acknowledgments are optional and can contain up to 30 words.
- For the bibliographic references, use the American Psychological Association (APA) style. No use references as thesis, pamphlets, brochures, summary congress and scientific events.
- The journal adopts the International System of Units (IS).

Article submission: Document submit is responsibility of the corresponding author and it is performed exclusively through the Open Journal System platform.

Ac Ag website: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica.

Contenido* / Content

Pag.

Entomofauna asociada a agroecosistemas de maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>) y limón (<i>Citrus aurantiifolia</i>) en clima semiárido en Ecuador Insect fauna associated with passion fruit (<i>Passiflora edulis</i>) and lemon (<i>Citrus aurantiifolia</i>) agroecosystems in a semiarid climate in Ecuador Leydi Santistevan Méndez, Mercedes Santistevan Méndez, Nadia Quevedo-Pinos.	117
Preferencia de oviposición y manejo de huevos de <i>Tetranychus urticae</i> Koch en rosas de corte (<i>Rosa hybrida</i>) Oviposition preference and egg management of <i>Tetranychus urticae</i> Koch in cut roses (<i>Rosa hybrida</i>) Rosita Graciela Espinoza Gavilánez, Edwin Geovanny Cualchi Cuascota, Gladys Margarita Tocagón Quishpe.	126
Indicadores de calidad del suelo en cafetales con aplicación de técnicas de agricultura ecológica en San Francisco, Cundinamarca, Colombia Soil quality indicators in coffee plantations managed with ecological farming techniques in San Francisco, Cundinamarca, Colombia Mileidy Gabriela Reyes Zubieta, Mariana Calderón Vargas, Lizeth Manuela Avellaneda-Torres.	133
Efecto de fitohormonas sintéticas y un extracto vegetal en el cultivo in vitro de <i>Fragaria x ananassa</i> Duch. Effect of phytohormones and a plant extract on in vitro culture of <i>Fragaria x ananassa</i> Duch. Stefanía Giselle Venegas Tarancón, María Victoria Usandivaras, Alicia Inés Mamani de Marchese, María Paula Filippone.	143
Effect of citric acid and calcium on quality and shelf-life of fresh-cut banana (<i>Musa paradisiaca</i> L.) Efecto del ácido cítrico y calcio en la calidad y vida útil del banano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) mínimamente procesado Saúl Dussán Sarria, José Igor Hleap Zapata, Jesús Hernán Camacho Tamayo.	151
Effectiveness of pre-sowing fungicide treatment of soybean (<i>Glycine max</i> [L.] Merr.) seeds Eficacia del tratamiento de semillas de soja (<i>Glycine max</i> [L.] Merr.) con fungicidas previo a la siembra Yulia Holiachuk, Halyna Kosylovych, Victor Ivaniuk.	158
Evaluación de los niveles de plomo y cadmio y rendimiento sensorial en marcas comerciales de café (<i>Coffea arabica</i>) de Jaén, Perú Evaluation of lead and cadmium levels and sensory performance in commercial coffee brands (<i>Coffea arabica</i>) from Jaen, Peru James Tirado Lara, Andrea Fiorelli Velarde Santoyo, Adán Díaz Ruiz, Sarela García Neyra, Karla Edith Contreras Roque.	167
Evaluación microbiológica de un biol producido con microorganismos nativos de montaña y su efecto bajo condiciones de riego deficitario en el cultivo de nabo (<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>) Microbiological evaluation of a biol produced with mountain native microorganisms and its effect on Chinese cabbage (<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>) cultivation under deficit irrigation conditions Katuska Carolina Molina Yépez, Marlon Fernando Monge Freile, Génesis Yamileth Bustamante Salto, Belén Estefanía Simbaña Cifuentes.	177
Viabilidad y germinación in vitro de semillas de <i>Passiflora quimbayensis</i> Ocampo & Forero y <i>Passiflora ligularis</i> Juss. como estrategia para la conservación de especies nativas de Colombia Viability and in vitro germination of seeds of <i>Passiflora quimbayensis</i> Ocampo & Forero and <i>Passiflora ligularis</i> Juss. seeds as a strategy for the conservation of native species of Colombia Lina Marcela Parrado Palma, John Albeiro Ocampo Pérez, Roosevelt Humberto Escobar Pérez.	190
<i>Rosa damascena</i> as a potentially valuable crop for essential-oil production in Armenia Cultivo de <i>Rosa damascena</i> valorado para la producción de aceite esencial en Armenia Merine Sargsyan, Anahit Markosian, Arpine Achoyan.	201
Labranza de conservación y asociación maíz-calabaza en el control de erosión hídrica en Chiapas, México Conservation tillage and corn-squash intercropping for water erosion control in Chiapas, Mexico Carlos Ernesto Aguilar Jiménez, José Galdamez, Franklin Martínez, Isidro Zapata Hernández, Juan Francisco Zamora Natera, Héctor Vázquez.	210
Cambios en la calidad de suelos Pardos Sialíticos de acuerdo con el manejo agrícola Changes in the quality of Sialitic Brown soils under different agricultural management practices Elein Terry Alfonso, Yoandris Socarrás Armenteros, Lucía Fernández Chuaiyre, Hugo Armando Morales Morales.	220

Código QR sitio web



Entomofauna asociada a agroecosistemas de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) en clima semiárido en Ecuador

Insect fauna associated with passion fruit (*Passiflora edulis*) and lemon (*Citrus aurantiifolia*) agroecosystems in a semiarid climate in Ecuador

Leydi Santistevan Méndez ^{1,2}, Mercedes Santistevan Méndez ^{1,3}, Nadia Quevedo-Pinos ^{1,4}.

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador ²  ladysantis@gmail.com;

³  msantistevan@upse.edu.ec; ⁴  nquevedo@upse.edu.ec



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.114653>

2024 | 73-2 p 117-125 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-05-25 Acep.: 2025-01-29

Resumen

El objetivo del estudio fue caracterizar la diversidad, abundancia y grupos funcionales de la entomofauna en agroecosistemas de maracuyá y limón en un clima semiárido en la comuna Cerezal de Bellavista, Santa Elena, Ecuador, entre agosto de 2021 y julio de 2022. Se utilizaron trampas luminosas para el levantamiento de insectos, con 4 trampas por cultivo y colectas quincenales durante 12 meses. Se identificaron las especies utilizando claves dicotómicas y se calcularon índices de diversidad y abundancia. Se colectaron 21 950 insectos: 48 % en maracuyá pertenecientes a 38 familias y 9 órdenes, y 52 % en limón pertenecientes a 42 familias y 10 órdenes. Los órdenes más abundantes fueron Coleóptera y Hemiptera en ambos cultivos. Especies como *Phyllophaga* sp. y *Nezara viridula* fueron dominantes y constantes en ambos cultivos. Del total de especies identificadas en maracuyá y limón el 61 % y 57 %, respectivamente, fueron fitófagas. Se observó una correlación entre la cantidad de insectos y la precipitación, ya que fueron más abundantes durante los meses secos. De igual manera, se encontró una correlación fuerte entre las precipitaciones y la abundancia de ciertas especies. Los índices de biodiversidad mostraron diversidad y uniformidad media en ambos agroecosistemas, con baja diversidad específica. El índice de similitud de Sørensen reveló una composición similar entre los dos agroecosistemas, ya que comparten el 80 % de las especies. Este estudio proporciona información relevante para el manejo integrado de plagas y la conservación de la biodiversidad en agroecosistemas de maracuyá y limón en condiciones semiáridas.

Palabras clave: abundancia, biodiversidad, control biológico, equilibrio ecológico, zona climática.

Abstract

The objective of this study was to characterize the diversity, abundance, and functional groups of insect fauna in passion fruit and lemon agroecosystems in a semi-arid climate in the Cerezal de Bellavista commune, Santa Elena, Ecuador, between August 2021 and July 2022. Insects were collected using light traps -four traps per crop- which were sampled biweekly over 12 months. Species were identified using dichotomous keys, and diversity and abundance indices were calculated. A total of 21 950 insects were collected: 48% from passion fruit, representing 38 families and 9 orders, and 52 % from lemon, representing 42 families and 10 orders. Coleoptera and Hemiptera were the most abundant orders in both crops. *Phyllophaga* sp. and *Nezara viridula* were dominant and constant species in both agroecosystems. Furthermore, phytophagous species accounted for 61 % of those identified in passion fruit and 57 % in lemon. A correlation was observed between insect abundance and rainfall, with higher numbers recorded during dry months. Similarly, strong correlations were found between precipitation levels and the abundance of certain species. Biodiversity indices indicated moderate diversity and evenness, with low specific diversity. The Sørensen similarity index indicated an 80 % species overlap between the two agroecosystems. This study provides valuable insights for integrated pest management and biodiversity conservation in semi-arid agricultural systems.

Keywords: Abundance, biodiversity, biological control, ecological balance, climatic zones.

Introducción

Los agroecosistemas integran elementos bióticos y abióticos interconectados y constituyen espacios de interacción dinámica entre la actividad humana y la biodiversidad circundante (Santa Rosa Pamplona *et al.*, 2023). Dentro de estos sistemas, la entomofauna desempeña un papel fundamental como reguladora de poblaciones, polinizadora de cultivos y componente clave en la cadena trófica (Altieri, 1999). La comprensión de la composición y diversidad de la entomofauna en agroecosistemas específicos reviste importancia, no solo desde una perspectiva ecológica, sino también en términos de manejo integrado de plagas, conservación de la biodiversidad y sostenibilidad agrícola (Landis *et al.*, 2000).

En los últimos años, los agroecosistemas de regiones semiáridas han ganado atención debido a su importancia en la producción agrícola y a los desafíos asociados con el cambio climático y la disponibilidad de recursos hídricos (Debray *et al.*, 2019) there is a need to adapt current practices and develop new climate-resilient strategies and farming systems. Here, we inventory and review which agroecological practices currently implemented in semiarid and subhumid Africa can promote adaptation to climate change. This work was carried out through extensive literature research, plus interviews with 24 experts from different African and French NGOs active in agricultural development programs in Africa. We found that: (1. En este contexto, el maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) y el limón (*Citrus aurantiifolia* [Christm.] Swingle) emergen como cultivos de interés económico en estas áreas debido a su capacidad para adaptarse a condiciones semiáridas y su valor comercial en mercados locales e internacionales (Vásquez Ortiz *et al.*, 2021).

La entomofauna asociada a estos agroecosistemas presenta una diversidad de especies que cumplen roles ecológicos variados, desde polinizadores hasta posibles agentes de control biológico de plagas (Kremen *et al.*, 2002) maintaining these services provides a powerful argument for conserving biodiversity. Yet, the ecological and economic underpinnings of most services are poorly understood, impeding their conservation and management. For centuries, farmers have imported colonies of European honey bees (*Apis mellifera*). Sin embargo, la comprensión de la estructura y dinámica de estas comunidades en agroecosistemas específicos es fundamental para diseñar estrategias de manejo que promuevan la conservación de la biodiversidad y la producción agrícola sostenible (Letourneau *et al.*, 2009).

A pesar de la importancia de los agroecosistemas de maracuyá y limón en regiones semiáridas, la investigación sobre la entomofauna asociada a estos sistemas en dichos contextos geográficos es limitada y fragmentada. En este sentido el presente estudio tiene como objetivo caracterizar la entomofauna asociada a agroecosistemas de maracuyá y limón en clima

semiárido a través de la identificación de las especies de insectos presentes, el análisis de su abundancia y diversidad, así como explorar las interacciones entre la comunidad de insectos, los cultivos y el entorno circundante. Bajo esta premisa, se plantea la hipótesis de que la composición y diversidad de la entomofauna en estos agroecosistemas varían significativamente en función de las características del cultivo, las prácticas de manejo agrícola y las condiciones ambientales, lo que influye en la dinámica poblacional de insectos benéficos y plagas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio fue realizado entre los meses de agosto de 2021 a julio de 2022 en la comuna Cerezal de Bellavista, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena, Ecuador, a 28 m s. n. m. (Figura 1), sobre suelos clasificados como aridisoles con predominancia de textura arcillosa (Geoportal, 2017). Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, el clima de la región se caracteriza como árido cálido (BWh), con ecosistema de bosque seco tropical con vegetación seca y precipitaciones medias anuales de 264 mm; 2 y estaciones bien definidas, una seca (julio a diciembre) y otra húmeda (enero-junio) (IEE *et al.*, 2012).

El levantamiento de información fue realizado en 2 agroecosistemas, uno de maracuyá (*P. edulis*) y otro de limón (*C. aurantiifolia*), el primero, manejado bajo principios agroecológicos (2°00'26.6"S y 80°56'08.4"O) y el segundo en proceso de transición hacia un manejo agroecológico (2°00'52.8"S y 80°58'23.7"O). Los 2 cultivos contaban con sistema de riego por goteo y diversidad de cultivos colindantes. En el primer sistema, se registró la presencia de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), mango (*Mangifera indica* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), limón (*C. limon*), naranja (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck.), mandarina (*C. reticulata* Blanco), plátano (*Musa paradisiaca* L.) y balsa (*Ochroma pyramidale* [Cav. ex Lam.] Urb.), mientras que, en el segundo, los cultivos incluían maíz, pimiento (*Capsicum annum* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.).

Muestreo de entomofauna

La comunidad de insectos fue registrada mediante muestreo con 4 trampas artesanales basadas en el modelo Luiz de Queiroz con luz fluorescente blanca (Figura 2), las cuales permanecieron encendidas 12 horas diarias desde las 18h (Santa Rosa Pamplona *et al.*, 2023). Las colectas se realizaron cada 15 días por 12 meses. Durante el periodo de muestreo de insectos no se aplicaron insecticidas en los cultivos y la estrategia de manejo previo al muestreo se realizó mediante liberación de *Trichogramma* spp. y *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836).

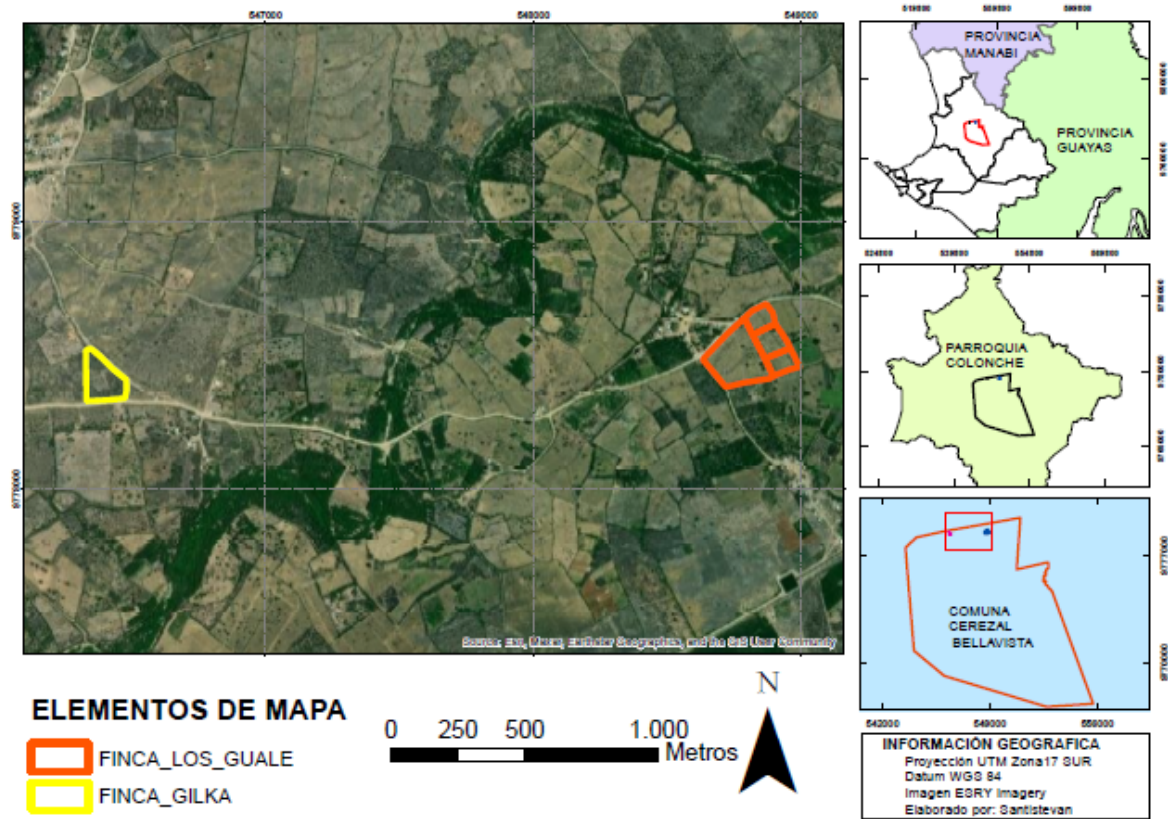


Figura 1. Ubicación de los agroecosistemas de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*). Comuna Cereza de Bellavista, Colonche, Santa Elena. Imagen tomada en Google Earth, 2024.



Figura 2. Trampa artesanal modelo Luiz de Queiroz con luz fluorescente blanca utilizada para la captura de insectos en cultivos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*). Comuna Cereza de Bellavista, Colonche.

Los especímenes colectados fueron colocados en recipientes plásticos de 60 ml con contenido de alcohol al 70 % e identificación del lugar de colecta; posteriormente fueron enviados al Centro de Interpretación Entomológica de la Prefectura del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Península de Santa Elena (GADPSE), donde fueron separados, contados, montados, etiquetados e identificados con el uso de claves dicotómicas específicas hasta el máximo grupo taxonómico posible, según la metodología de Triplehorn y Johnson (2005).

Análisis de entomofauna

Para el cálculo de los índices de diversidad (Shannon-Wiener), riqueza (Margalef) y equitabilidad de Pielou (J') se utilizó el software PAST versión 4.15 (Hammer *et al.*, 2001) valor más pequeño (Min). Los índices de dominancia, abundancia, frecuencia y constancia fueron determinados con el software libre de análisis faunístico ANAFU (Moraes *et al.*, 2003). Los resultados fueron comparados entre cultivos y se consideraron predominantes los taxones que alcanzaron mayores índices faunísticos con base en lo propuesto por Silveira Neto *et al.* (1995).

Determinación de grupos funcionales

Una vez identificadas las morfoespecies y revisada en la literatura su biología, comportamiento y hábitos alimenticios en el cultivo, se le asignó a cada morfotipo una categoría de grupo funcional dentro del agroecosistema, tales como polinizadores, depredadores, parasitoides, fitófagos, detritívoros e indiferentes o desconocidos (Torretta y Poggio, 2013).

Fluctuación poblacional de insectos

La cantidad de insectos colectados durante el periodo de evaluación fue comparada con datos meteorológicos tomados de Sparks (2024). La cantidad de individuos colectados fue correlacionada con la precipitación mensual. La correlación de las variables fue realizada por el índice de correlación de Pearson (r), a través del programa InfoStat (Di Rienzo, 2017), en la que los resultados de r entre 0.10 y 0.30 indican correlación débil; r entre 0.40 y 0.60 correlación moderada y r de 0.70 a 1 indican correlación fuerte entre las variables (Soares *et al.*, 2018) tendo como campo de estudio a cultura de abacaxi (*Ananas comosus* (L..

Resultados

Análisis de la entomofauna

Fueron colectados un total de 21 950 insectos, de los cuales 10 435 (48 %) agrupados en 38 familias y 9 órdenes pertenecen al cultivo de maracuyá y 11 517 (52 %) agrupados 42 familias y 10 órdenes al de limón. Los órdenes identificados fueron: Lepidóptera, Coleóptera, Hymenóptera, Díptera, Hemíptera, Tysanóptera, Orthóptera, Mantodea, Neuróptera y Blattodea, el orden Mantodea no estuvo presente en el cultivo de maracuyá (Tabla 1).

El cultivo de maracuyá presentó la mayor abundancia de insectos del orden Coleóptera (39 %), seguido por Hemíptera (19.57 %), Hymenóptera (11.84 %) y Lepidóptera (11.69 %). En el caso del cultivo de limón, Hemíptera fue el orden más abundante, con 37.25 %, seguido de Coleóptera con 34.44 % y Lepidóptera con 12.56 %. En cuanto a riqueza para los 2 cultivos, Lepidóptera (14 y 16 géneros), Coleóptera (14 y 15 géneros) y Hemíptera (11 y 8 géneros) fueron los órdenes más ricos.

De las 52 especies identificadas en el cultivo de maracuyá 9 presentaron dominancia, mucha abundancia y mucha frecuencia, entre ellas *Phyllophaga* sp. (Germar, 1817), *Xyleborus ferrugineus* (Fabricius, 1801), *Anthophila* sp., *Lasius niger* (Linnaeus, 1758), *Acroleucus haemopterus* (Mulsant y Rey, 1852), *N. viridula*, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall, 1916), *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) y *C. carnea*, las cuales son consideradas, además, especies constantes.

En el cultivo de limón, 11 de las 51 especies se catalogaron como dominantes, muy abundantes, muy frecuentes y con el 100 % de constancia, *Canthidium erythropterum* (Blanchard, 1846), *Belonochilus numenius* (Say, 1832), *Phyllophaga* sp., *Anthocoris nemorum* (Linnaeus, 1761), *N. viridula*, *A. domesticus*, *Spilosoma lubricipeda* (Linnaeus, 1758), *Tethea* sp. (Guenée, 1875), *Paederinae* sp., *Diaphorina citri* (Kuwayama, 1908), *Idolothrips spectrum* (Haliday, 1836).

De estos datos se desprende que los 2 agroecosistemas tienen en común 3 especies dominantes, constantes, muy abundantes y muy frecuentes: *Phyllophaga* sp., *N. viridula* y *A. domesticus*.

Grupos funcionales

En los cultivos de maracuyá, el 61 % de las especies identificadas son fitófagos y el 11 % son depredadores y parasitoides. En contraste, en los cultivos de limón, el 57 % de las especies son fitófagos y el 18 % se clasifican como depredadores y parasitoides (Tabla 1).

Los insectos fitófagos abundantes en los 2 cultivos fueron las especies *Phyllophaga* sp., *N. viridula* y *A. domesticus*. En el cultivo de maracuyá sobresalieron las especies *A. haemopterus* y *P. kellyanus*. Por su parte, en el cultivo de limón fueron colectados abundantes especímenes de *B. numenius*, *D. citri* y *S. lubricipeda*.

De igual manera, se observaron 4 especies de depredadores y parasitoides comunes en los 2 cultivos: *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773); *Paederinae* sp., *C. carnea* y *Scaeva* sp. El depredador *Lygaeus* sp. se presentó únicamente en el cultivo de maracuyá, el parasitoide *Syrphus* sp. y los depredadores *Coccinella quinquepunctata* (Linnaeus, 1758), *A. nemorum*, *Phanaeus splendidulus* (Fabricius, 1781) y *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) fueron detectados únicamente en el cultivo de limón.

Como géneros detritívoros se identificaron *X. ferrugineus* y *Canthidium* sp. y como omnívoros *A. domesticus* en los 2 cultivos y *L. niger* en el cultivo de maracuyá. Igualmente, se registraron como insectos polinizadores en los 2 cultivos a *Anthophila* sp., *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) y *Xenophanes tryxus* (Perty, 1832).

Fluctuación poblacional

El mayor registro de insectos trampa/día se observó en los meses secos de agosto y septiembre. Otro pico poblacional se percibió al inicio de la temporada húmeda en enero (Tabla 2).

El coeficiente de correlación de Pearson mostró una fuerte relación positiva entre las precipitaciones y la abundancia de *Scolytus* sp., *Phyllophaga* sp. y *Blattodea* sp. en maracuyá, y *Hemiceras conspirata* (Schaus, 1906) y *Citheronia brissotii* (Boisduval, 1868) en limón (Tabla 3).

Tabla 1. Análisis de fauna y grupos funcionales de insectos capturados entre agosto de 2021 y julio de 2022 en agroecosistemas de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) en la Comuna Cereza de Bellavista.

Orden	Familia	Especies	C. Maracuyá						GF	C. Limón					
			n ind	F	D	C	A			n ind	F	D	C	A	GF
Lepidoptera	Arctiidae	<i>Spilosoma lubricipeda</i>	94	PF	ND	W	r	Ft		409	MF	D	W	ma	Ft
	Crambidae	<i>Spilomelinae</i> sp.	118	PF	ND	W	r	Ft		41	PF	ND	W	r	Ft
		<i>Rupela albinella</i>	71	PF	ND	W	r	Ft		24	PF	ND	W	r	Ft
	Drepamidae	<i>Tethea</i> sp.	64	PF	ND	W	r	Ft		336	MF	D	W	ma	Ft
	Hesperiidae	<i>Xenophanes tryxus</i>	144	PF	ND	Y	r	Pl		102	PF	ND	W	r	Pl
	Lecithoceridae	<i>Eurodachtha</i> sp.	57	F	ND	W	r	Om		37	PF	ND	W	r	Om
	Limacodidae	<i>Hayasia codeti</i>	55	PF	ND	W	r	Dt		58	PF	ND	W	r	Dt
	Noctuidae	<i>Ascalapha odorata</i>	107	PF	ND	W	r	Dp		0	PF	ND	W	r	
		<i>Spodoptera frugiperda</i>	192	PF	ND	W	ma	Ft		66	PF	ND	W	r	Ft
	Notodontidae	<i>Hemiceras conspirata</i>	-	-	-	-	-	-		122	PF	ND	W	r	Ft
	Nymphalidae	<i>Hamadryas februa</i>	22	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
		<i>Pedaliodes oculata</i>	54	PF	ND	W	r	Ft		27	PF	ND	Y	r	Ft
	Pyrilidae	<i>Diaphamia ameminalis</i>	101	PF	ND	W	r	Ft		32	PF	ND	W	r	Ft
	Saturniidae	<i>Citheronia brissotii</i>	-	-	-	-	-	-		120	PF	ND	Y	r	Ft
Coleóptera	Sphingidae	<i>Erinnyis ello</i>	37	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
	Tortricidae	<i>Thaumatotibia</i> sp.	49	PF	ND	W	r	Ft		48	PF	ND	W	r	Ft
	Subtotal		1165							1422					
	Carabidae	<i>Calosoma alternans</i>	-	-	-	-	-	-		19	PF	ND	W	r	Dp
	Cerambycidae	<i>Lagochierus</i> sp.	38	PF	ND	W	r	Ft		43	PF	ND	Z	r	Ft
		<i>Pachydissus</i> sp.	93	PF	ND	W	r	Ft		56	PF	ND	W	r	Ft
	Chrysomelidae	<i>Saperda inornata</i>	58	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
		<i>Diabrotica balteata</i>	-	-	-	-	-	-		193	MF	ND	W	a	Ft
	Coccinellidae	<i>Harmonia axyridis</i>	208	PF	ND	W	ma	Dp		30	PF	ND	W	r	Dp
		<i>Coccinella quinquepunctata</i>	-	-	-	-	-	-		65	PF	ND	W	r	Dp
	Curculionidae	<i>Scolytus</i> sp.	223	MF	ND	W	ma	Dt		34	PF	ND	W	r	Dt
		<i>Xyleborus ferrugineus</i>	761	MF	D	W	ma	Dt		123	PF	ND	W	r	Dt
	Elateridae	<i>Lachnopus inconditus</i>	142	MF	ND	W	r	Dt		113	PF	D	W	r	Dt
		<i>Anthonomus grandis</i>	44	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
Hymenóptera	Staphylinidae	<i>Melanotus</i> sp.	81	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
		<i>Melanotus villosus</i>	114	PF	ND	W	r	Ft		62	PF	ND	W	r	Ft
	Ptinidae	<i>Anobium punctatum</i>	55	PF	ND	W	r	Om		25	PF	ND	W	r	Om
	Paederinae	<i>Paederinae</i> sp.	103	MF	ND	W	r	Dp		334	MF	D	W	ma	Dp
		<i>Canthidium erythropterum</i>	241	PF	ND	W	ma	Dt		1725	MF	D	W	ma	Dt
	Scarabaeidae	<i>Phanaeus splendidulus</i>	45	PF	ND	W	r	Dp		47	PF	ND	W	r	Dp
		<i>Phyllophaga</i> sp.	1898	PF	D	W	ma	Ft		1122	MF	D	W	ma	Ft
	Subtotal		4104							3991					
	Apidae	<i>Anthophila</i> sp.	491	PF	D	W	ma	Pl		267	MF	ND	W	ma	Pl
	Formicidae	<i>Lasius niger</i>	551	PF	D	W	ma	Om		-	-	-	-	-	
	Scoliidae	<i>Pygodasis quadrimaculata</i>	45	PF	ND	W	r	Ps		-	-	-	-	-	
	Sphecidae	<i>Sceliphron assimile</i>	96	PF	ND	W	r	Ps		-	-	-	-	-	
	Vespidae	<i>Vespa vulgaris</i>	53	PF	ND	W	r	Pl		58	PF	ND	W	r	Pl
	Subtotal		1236							325					
Díptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	190	MF	ND	W	ma	Dt		44	PF	ND	W	r	Dt
	Syrphidae	<i>Scaeva</i> sp.	29	PF	ND	W	r	Ps		42	PF	ND	W	r	Ps
	Syrphidae	<i>Syrphus</i> sp.	24	PF	ND	W	r	Ps		-	-	-	-	-	
	Subtotal		243							86					
Hemíptera	Anthoridae	<i>Anthocoris nemorum</i>	-	-	-	-	-	-		978	MF	D	W	ma	Dp
	Cicadidae	<i>Cicada orni</i>	41	PF	ND	W	r	Ft		75	PF	ND	W	r	Ft
	Cercopidae	<i>Cercopis vulnerata</i>	-	-	-	-	-	-		44	PF	ND	W	r	Ft
	Cicadellidae	<i>Cicadella</i> sp.	-	-	-	-	-	-		32	PF	ND	W	r	Ft
	Cydnidae	<i>Cydnus aterrimus</i>	60	MF	ND	W	r	Ft		77	PF	ND	W	r	Ft
	Lygaeidae	<i>Acroleucus haemopterus</i>	994	PF	D	W	ma	Ft		209	MF	ND	W	ma	Ft
		<i>Lygaeus</i> sp.	61	PF	ND	W	r	Dp		-	-	-	-	-	
	Liviidae	<i>Diaphorina citri</i>	-	-	-	-	-	-		523	MF	D	W	ma	Ft
	Ninidae	<i>Belonochilus numenius</i>	-	-	-	-	-	-		1670	MF	D	W	ma	Ft
	Pentatomidae	<i>Tribaca limbiventris</i>	28	PF	ND	W	r	Ft		71	PF	ND	W	r	Ft
		<i>Nezara viridula</i>	788	MF	D	W	ma	Ft		603	MF	D	W	ma	Ft
	Pseudococcidae	<i>Maconellicoccus hirsutus</i>	33	PF	ND	W	r	Ft		-	-	-	-	-	
	Reduviidae	<i>Rhynocoris iracundus</i>	37	PF	ND	W	r	Ft		8	PF	ND	Z	r	Ft
	Subtotal		2042							4290					
Thysanoptera	Phlaeothripidae	<i>Idolothrips spectrum</i>	80	PF	ND	W	r	Ft		396	MF	D	W	ma	Ft
Subtotal	Thripidae	<i>Pezothrips kellyanus</i>	645	MF	D	W	ma	Ft		84	PF	ND	W	r	Ft
Orthoptera	Acrididae	<i>Caelifera</i> sp.	56	PF	ND	W	r	Ft		77	PF	ND	W	r	Ft
		<i>Chrysoperla carnea</i>	425	MF	D	W	ma	Om		537	MF	D	W	ma	Om
	Gryllotalpidae	<i>Gryllotalpa</i> sp.	27	PF	ND	W	r	Om		-	-	-	-	-	
	Subtotal		508							614					
Mantodea	Mantidae	<i>Mantis religiosa</i>	-	-	-	-	-	-		41	PF	ND	W	r	Dp
Subtotal			0							41					
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>	272	MF	D	W	ma	Dp		132	PF	D	W	r	Dp
Subtotal			272												
Blattodea	Ectobiidae	<i>Blattodea</i> sp.	140	PF	ND	W	r	Om		136	PF	ND	W	r	Om
Subtotal			140							136					
TOTAL			10 435							11 517					

*n= número de individuos; FR= frecuencia relativa; PF= poco frecuente; F= frecuente; MF= muy frecuentes. Dominancia: ND= no dominantes; D= dominantes. Constancia: W= constantes; Y= accesorios; Z= accidentales. Abundancia: r= raras; d= dispersas; c= comunes; a= abundantes; ma= muy abundantes. Ft= fitófagos; Dp= Depredadores; Ps= Parasitoides; Po= polinizadores; Dt= detritívoros; Om= omnívoros.

Tabla 2. Fluctuación poblacional de insectos colectados entre agosto de 2021 y julio de 2022 en agroecosistemas de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) en la Comuna Cereza de Bellavista, Ecuador.

Mes	Insectos/Trampa/día ± EE				Precipitaciones promedio (mm)
	C. maracuyá		C. limón		
Agosto/2021	16	±0.40	37	±0.22	0.43
Septiembre/2021	16	±0.17	23	±0.28	6.64
Octubre/2021	7	±0.14	11	±0.16	3.70
Noviembre/2021	10	±0.08	12	±0.12	21.62
Diciembre/2021	11	±0.07	16	±0.11	40.08
Enero/2022	23	±0.50	17	±0.22	110.39
Febrero/2022	17	±0.29	13	±0.26	62.56
Marzo/2022	15	±0.19	11	±0.12	227.88
Abril/2022	15	±0.48	8	±0.06	51.08
Mayo/2022	9	±0.05	8	±0.06	9.94
Junio/2022	9	±0.08	7	±0.05	3.76
Julio/2022	9	±0.09	10	±0.11	3.40

Especies como *N. viridula*, *Pedaliodes oculata* (Weymer, 1912), *Hoyosia codeti* (Oberthür, 1881), *N. viridula* en maracuyá y *Spilomelinae* sp., *Phyllophaga* sp., *Cicada orni* (Linnaeus, 1758), *Caelifera* sp. y *Blattodea* sp. en limón presentaron una correlación moderada con las precipitaciones. El resto de las especies presentó una correlación débil, lo cual indica que las precipitaciones no afectaron significativamente su presencia.

Índices de biodiversidad

El valor de diversidad y equitabilidad de la entomofauna del cultivo de maracuyá fue mayor que en el cultivo de limón, mientras que el índice de Margalef indica una diversidad específica baja en los 2 cultivos (Tabla 4). Considerando que estos índices analizan la diversidad y uniformidad de distribución de las especies, los datos indican una diversidad y uniformidad de distribución media en los 2 agroecosistemas y una diversidad específica baja.

En cuanto a las semejanzas entre ambos agroecosistemas el índice de Sørensen muestra que comparten el 80 % de sus especies; esto sugiere que las 2 comunidades son similares en términos de composición de especies.

Discusión

El presente estudio proporciona una caracterización detallada de la diversidad y composición de la entomofauna en 2 cultivos de maracuyá y limón en la región de Cereza de Bellavista. Durante el periodo de muestreo se registró una alta abundancia de insectos en ambos agroecosistemas, con una ligera predominancia en el cultivo de limón. Esta diferencia en la abundancia podría estar influenciada por

factores ambientales, uso de suelo, diversificación de los agroecosistemas, prácticas agrícolas y procesos de transición agroecológica implementados en la zona.

La entomofauna en ambos cultivos estuvo dominada por los órdenes Coleóptera y Hemíptera, los cuales representaron el 70 % de los individuos en maracuyá y el 84 % en limón (Tabla 1). Estos resultados son consistentes con estudios previos realizados en Nicaragua y Manabí (Ecuador), donde dichos órdenes fueron los más abundantes (Loáisiga Jarquín y Jiménez-Martínez, 2022; Valarezo Beltrón *et al.*, 2022). La alta diversidad observada podría estar relacionada con la disponibilidad de nichos ecológicos y recursos alimenticios en los agroecosistemas (Nooten *et al.*, 2014) abundance and ecology of all species. We used a multi-species transplant experiment to investigate the potential effects of a warmer climate on insect community composition and structure. Eight native Australian plant species were transplanted into sites approximately 2.5°C (mean annual temperature).

Entre las especies dominantes se identificaron *Phyllophaga* sp., *N. viridula* y *A. domesticus*, caracterizadas como insectos fitófagos. La presencia de estas especies resalta la necesidad de establecer programas de monitoreo y control para minimizar su impacto en la productividad agrícola (Maji y Mandal, 2024). Además, se registraron insectos benéficos con funciones de polinización, depredación y parasitismo, lo cual resalta la importancia de conservar hábitats adecuados que favorezcan el control biológico natural y contribuyan a la calidad y cantidad de la cosecha (Majeed *et al.*, 2022). En este contexto, la detección de depredadores como *H. axyridis* y *C. carnea* sugiere su potencial como agentes de control biológico en estos cultivos (Bhagarathi y Maharaj, 2023).

La exclusividad de ciertas especies depredadoras y parasitoides en cada cultivo evidencia respuestas diferenciadas de la comunidad entomológica a las condiciones particulares de cada agroecosistema. Por ejemplo, *Lygaeus* sp. fue registrada exclusivamente en maracuyá, mientras que *M. religiosa* solo se encontró en limón. Esta variabilidad sugiere que la disponibilidad de presas, la estructura del hábitat y la competencia interespecífica pueden influir en la distribución y abundancia de estos insectos. Dichos hallazgos enfatizan la importancia de evaluar la diversidad funcional en la gestión sostenible de los agroecosistemas.

La presencia de insectos detritívoros y omnívoros resalta su papel en el reciclaje de nutrientes y la regulación de poblaciones fitófagas. Especies como *X. ferrugineus* y *Canthidium* sp. contribuyen en estos procesos ecológicos, reflejando la diversidad de interacciones en los agroecosistemas estudiados (Cutler *et al.*, 2022; Majeed *et al.*, 2022).

Los análisis de correlación de Pearson revelaron una fuerte influencia de las precipitaciones sobre la composición y abundancia de la entomofauna. Se

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre abundancia de insectos en agroecosistemas de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) en la Comuna Cereza de Bellavista, Ecuador, y precipitaciones promedio

Especie	C. maracuyá		C. limón	
	Precipitaciones	Correlación	Precipitaciones	Correlación
<i>Spilosoma lubricipeda</i>	0.38	Moderada	0.15	Débil
<i>Spilomelinae</i> sp.	0.26	Débil	0.44	Moderada
<i>Rupela albinella</i>	0.33	Débil	-0.21	Débil
<i>Tethea</i> sp.	-0.08	Débil	-0.29	Débil
<i>Ascalapha odorata</i>	-0.13	Débil	--	--
<i>Spodoptera frugiperda</i>	0.20	Débil	-0.39	Débil
<i>Xenophanes tryxus</i>	0.18	Débil	-0.19	Débil
<i>Eurodachtha</i> sp.	-0.21	Débil	-0.27	Débil
<i>Hoyosia codeti</i>	0.39	Moderada	-0.32	Débil
<i>Diaphania ameminalis</i>	-0.30	Débil	-0.17	Débil
<i>Hemiceras conspirata</i>	--	--	0.65	Fuerte
<i>Hamadryas februa</i>	-0.30	Débil	--	--
<i>Pedaliodes occulta</i>	0.44	Moderada	-0.23	Débil
<i>Citheronia brissotii</i>	--	--	0.82	Fuerte
<i>Erinnyis ello</i>	-0.09	Débil	--	--
<i>Thaumatotibia</i> sp.	0.04	Débil	-0.14	Débil
<i>Anobium punctatum</i>	0.20	Débil	0.03	Débil
<i>Calosoma alternans</i>	--	--	-0.27	Débil
<i>Cerambycidae</i> sp.	0.06	Débil	-0.38	Débil
<i>Pachydissus</i> sp.	-0.05	Débil	-0.12	Débil
<i>Saperda inornata</i>	-0.01	Débil	--	--
<i>Diabrotica balteata</i>	--	--	0.25	Débil
<i>Harmonia axyridis</i>	0.14	Débil	-0.36	Débil
<i>Coccinella quinquepunctata</i>	--	--	-0.27	Débil
<i>Scolytus</i> sp.	0.70	Fuerte	-0.28	Débil
<i>Xyleborus ferrugineus</i>	-0.28	Débil	-0.36	Débil
<i>Lachnopus inconditus</i>	-0.30	Débil	-0.07	Débil
<i>Anthonomus grandis</i>	0.08	Débil	--	--
<i>Melanotus</i> sp.	0.26	Débil	--	--
<i>Melanotus villosus</i>	0.19	Débil	-0.23	Débil
<i>Canthidium erythropterum</i>	-0.21	Débil	-0.35	Débil
<i>Phanaeus splendidulus</i>	-0.25	Débil	-0.36	Débil
<i>Phyllophaga</i> sp.	0.65	Fuerte	0.56	Moderada
<i>Paederinae</i> sp.	-0.14	Débil	-0.19	Débil
<i>Anthophila</i> sp.	0.23	Débil	-0.01	Débil
<i>Lasius niger</i>	-0.38	Débil	--	--
<i>Pygodasis quadrimaculata</i>	0.39	Débil	--	--
<i>Sceliphron assimile</i>	0.24	Débil	--	--
<i>Vespula vulgaris</i>	0.05	Débil	-0.32	Débil
<i>Musca domestica</i>	0.19	Débil	-0.35	Débil
<i>Scaeva</i> sp.	0.00	Débil	-0.20	Débil
<i>Syrphus</i> sp.	0.08	Débil	--	--
<i>Anthocoris nemorum</i>	--	--	-0.30	Débil
<i>Cicada orni</i>	0.34	Débil	0.57	Moderada
<i>Cercopis vulnerata</i>	--	--	0.00	Débil
<i>Cicadella</i> sp.	--	--	0.15	Débil
<i>Acroleucus haemopterus</i>	-0.09	Débil	-0.36	Débil
<i>Lygaeus</i> sp.	0.32	Débil	--	--
<i>Belonochilus numenius</i>	--	--	-0.35	Débil
<i>Diaphorina citri</i>	--	--	-0.41	Moderada
<i>Cydnus aterrimus</i>	-0.18	Débil	-0.05	Débil
<i>Tibraca limbativentris</i>	-0.38	Débil	-0.25	Débil
<i>Nezara viridula</i>	-0.45	Moderada	-0.22	Débil
<i>Maconellicoccus hirsutus</i>	0.30	Débil	--	--
<i>Rhynocoris iracundus</i>	-0.18	Débil	-0.23	Débil
<i>Idolothrips spectrum</i>	-0.29	Débil	-0.35	Débil
<i>Pezothrips kellyanus</i>	-0.32	Débil	-0.08	Débil
<i>Caelifera</i> sp.	-0.27	Débil	0.52	Moderada
<i>Acheta domesticus</i>	0.06	Débil	-0.09	Débil
<i>Gryllotalpa</i> sp.	-0.29	Débil	--	--
<i>Mantis religiosa</i>	--	--	-0.30	Débil
<i>Chrysoperla carnea</i>	-0.13	Débil	0.10	Débil
<i>Blattodea</i> sp.	0.67	Fuerte	0.55	Moderada

Tabla 4. Índices de biodiversidad de insectos en cultivos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) en la Comuna Cerezal de Bellavista, Ecuador

	Índices de biodiversidad	
	<i>P. edulis</i>	<i>C. aurantiifolia</i>
Dominancia	0.087	0.106
Margalef	3.999	4.384
Shannon_H	2.909	2.840
Simpson_1-D	0.912	0.894
Equitabilidad J	0.799	0.759
Sørensen	80 %	

detectó una correlación significativa entre el régimen de lluvias y la abundancia de ciertas especies, como *Scolytus* sp. y *Phyllophaga* sp. en maracuyá, y *H. conspirata* en limón, lo que sugiere una respuesta directa a los cambios climáticos. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la sensibilidad de los insectos a las variaciones ambientales (Skendžić *et al.*, 2021). En contraste, algunas especies mostraron una correlación moderada, lo que indica que factores como la disponibilidad de recursos alimenticios, puede modular esta relación (Bhagarathi y Maharaj, 2023). Por otro lado, la correlación débil observada en ciertas especies sugiere una menor dependencia de las precipitaciones, posiblemente debido a la especificidad del hábitat y otros factores ambientales (Ali *et al.*, 2023).

En ecosistemas xerofíticos, la relación entre la abundancia de insectos y las precipitaciones puede ser más compleja e influenciada por la disponibilidad de agua, la temperatura y la actividad humana (Santana *et al.*, 2023). Se ha reportado que algunos insectos del orden Coleóptera pueden migrar hacia zonas húmedas durante períodos de estrés hídrico, lo que sugiere patrones estacionales marcados (Guedes *et al.*, 2020).

Los valores del índice de riqueza de Margalef indicaron una diversidad específica media en comparación con otros estudios (Tabla 4), lo que podría estar relacionado con los procesos de transición agroecológica implementados (Valarezo Beltrón *et al.*, 2022). Además, el alto índice de similitud de Sørensen entre los 2 agroecosistemas sugiere que comparten una comunidad de insectos relativamente homogénea, posiblemente debido a la influencia de factores ambientales comunes en ambos agroecosistemas.

Estos resultados enfatizan la importancia de implementar prácticas de manejo sostenible que promuevan la biodiversidad y conserven hábitats naturales, asegurando el equilibrio ecológico de los agroecosistemas, así como destaca la necesidad de evaluar los efectos del cambio climático en la dinámica de las comunidades entomológicas y su papel en la producción agrícola.

Si bien este estudio contribuye significativamente al conocimiento de la biodiversidad entomológica en la provincia de Santa Elena, es importante reconocer que la composición registrada puede no representar la totalidad de la entomofauna presente, debido a la especificidad del sistema de trampeo utilizado, dirigido principalmente a los órdenes Coleóptera y Lepidóptera, lo que limita la detección de otros grupos diurnos o no atraídos por la luz. Para lograr una caracterización completa, futuros estudios deberán ampliar la cobertura espacial e implementar métodos de muestreo complementarios. Así mismo, se recomienda adoptar estrategias de monitoreo que minimicen la extracción de organismos, ya que ello promueve una evaluación sostenible.

Conclusiones

La composición faunística evidenció que Coleóptera y Hemíptera fueron los órdenes más abundantes en ambos agroecosistemas, con una ligera predominancia en el cultivo de limón. Los 2 agroecosistemas presentan una alta similitud de insectos, lo que sugiere la influencia de factores ambientales comunes en su estructura y composición.

Se identificaron especies fitófagas como *Phyllophaga* sp., *N. viridula* y *A. domesticus*, las cuales pueden representar un riesgo para la productividad de los cultivos. Paralelamente, se registró una proporción considerable de insectos benéficos, entre ellos depredadores y parasitoides como *H. axyridis*, *C. carnea* y *Paederinae* sp., lo cual resalta la necesidad de conservar hábitats adecuados para su permanencia.

Finalmente, se evidenció una fuerte asociación positiva entre el régimen de lluvias y la abundancia de especies como *Scolytus* sp., *Phyllophaga* sp. y *H. conspirata*, lo que sugiere que las condiciones climáticas modulan la dinámica de la entomofauna. Estos hallazgos destacan la relevancia de considerar las variaciones ambientales en la planificación de estrategias de manejo sostenible, asegurando así la conservación de la biodiversidad y la estabilidad ecológica de los agroecosistemas.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen al Ing. Rafael Chiado Caponet-Talbot y a su equipo técnico de la Prefectura de Santa Elena, por facilitar sus instalaciones y equipos. Al Ing. Fermín Fuente Sandoval, Gerente de los laboratorios BIOSEDINSA.S.A. por la ayuda en la clasificación e identificación de los insectos.

Referencias

- Ali, H.; Hou, Y. y Tahir, M. (2023). *Climate change and insect biodiversity: Challenges and implications*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781003382089>
- Altieri, M. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan Comunidad. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Bhagarathi, L. y Maharaj, G. (2023). Impact of climate change on insect biology, ecology, population dynamics, and pest management: A critical review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(3), 541-568. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.3.1843>
- Cutler, G. C.; Amichot, M.; Benelli, G.; Guedes, R. N. C.; Qu, Y.; Rix, R. R.; Ullah, F. y Desneux, N. (2022). Hormesis and insects: Effects and interactions in agroecosystems. *Science of The Total Environment*, 825, 153899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153899>
- Debray, V.; Wezel, A.; Lambert-Derkinba, A.; Roesch, K.; Lieblein, G. y Francis, C. A. (2019). Agroecological practices for climate change adaptation in semiarid and subhumid Africa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(4), 429-456. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1509166>
- Di Rienzo, J. (2017). *Infostat-Statistical software* (versión 2017) [Software]. Grupo InfoStat, FCA. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>
- Geoportal, I. (2017). *Geoportal Ecuador - Infraestructura de datos espaciales*. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Guedes, R. D. S.; Zanella, F. C. V. y Grossi, P. C. (2020). Sazonalidade na comunidade de coleoptera em duas fitofisionomias de Caatinga. *Ciência Florestal*, 30(4), 995-1007. <https://doi.org/10.5902/1980509833879>
- Hammer, Ø.; Ryan, P. D. y Harper, D. (2001). *PAST: Paleontological statistics* (n.º 1; Versión 4.16) [Software]. Blackwell Publishing. <https://archives.palarch.nl/index.php/jvp/article/view/520>
- IEE, MAGAP y CGSIN. (2012). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000*. Instituto Espacial Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca; Coordinación General del Sistema de Información Nacional. https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_clima_e_hidrologia.pdf
- Kremen, C.; Williams, N. M. y Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812-16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Landis, D. A.; Wratten, S. D. y Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>
- Letourneau, D. K.; Jedlicka, J. A.; Bothwell, S. G. y Moreno, C. R. (2009). Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 573-592. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320>
- Loáisiga Jarquín, F. y Jiménez-Martínez, E. (2022). Abundancia, riqueza y diversidad de insectos asociados al cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en Matagalpa, Nicaragua. *La Calera*, 22(39). <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.14807>
- Majeed, W.; Khawaja, M.; Rana, N.; Koch, E.; Naseem, R. y Nargis, S. (2022). Evaluation of insect diversity and prospects for pest management in agriculture. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42, 2249-2258. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00747-0>
- Maji, A. y Mandal, S. (2024). Integrated pest management strategies for sustainable crop protection. *Just Agriculture*, 4(5), 162-166.
- Moraes, R. C. B.; Haddad, M. L.; Silveira Neto, S. y Reyes, E. A. L. (2003). *Software para análise faunística* [Software]. ESALQ. <http://www.lea.esalq.usp.br/softwares>
- Nooten, S.; Andrew, N. y Hughes, L. (2014). Potential impacts of climate change on insect communities: A transplant experiment. *PloS one*, 9, e85987. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085987>
- Santa Rosa Pamplona, A. M.; Claret de Souza, A. das G.; Medeiros Costa, J. N. y Montefusco de Oliveira, M. (2023). *Armadilhas para captura de insetos associados ao capuacuzeiro* (*Theobroma grandiflorum*) no Amazonas. EMBRAPA. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1160023/1/ComTec167.pdf>
- Santana, M. A. N.; Sousa, N. R. de; Filho, M. C. de O.; Salustino, A. da S.; Ribeiro, L. S.; Abreu, K. G.; Batista, M. N.; Neto, J. V. da S. y Barbosa, J. V. da S. (2023). Levantamento entomológico no sistema de base ecológica e convencional na macrorregião de Picos-PI. *Scientific Electronic Archives*, 16(1). <https://doi.org/10.36560/16120231654>
- Silveira Neto, S.; Monteiro, R. C.; Zucchi, R. A. y Moraes, R. C. B. D. (1995). Uso da análise faunística de insetos na avaliação do impacto ambiental. *Scientia Agrícola*, 52(1), 9-15. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000100003>
- Skendžić, S.; Zovko, M.; Živković, I. P.; Lešić, V. y Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Soares, A. S.; Boas, J. C. V. y Silva, R. J. da. (2018). Análise faunística e flutuação populacional de eucoilíneos na cultura de abacaxi em araguatins - To. *Revista de Estudos Ambientais*, 20(1). <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2018v20n1p6-20>
- Sparks, A. (2024). NASA POWER. Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Tahir, M. (2023). *Climate change and insect biodiversity: Challenges and implications*. <https://doi.org/10.1201/9781003382089>
- Torretta, J. P. y Poggio, S. L. (2013). Species diversity of entomophilous plants and flower-visiting insects is sustained in the field margins of sunflower crops. *Journal of Natural History*, 47(3-4), 139-165. <https://doi.org/10.1080/00222933.2012.742162>
- Triplehorn, C. A. y Johnson, N. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (7th ed.). Thomson Brooks.
- Valarezo Beltrón, C. O.; Saldarriaga Lucas, V. A.; Vera Montenegro, L.; Julca Otiniano, A. y Rodríguez Berrio, A. (2022). Diversidad de insectos en el cultivo de *Citrus aurantiifolia* y vegetación aledaña en dos localidades ecológicas de Ecuador. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 44-51. <https://doi.org/10.53287/cgcj2651ps25z>
- Vásquez Ortiz, R.; Noriega Cantú, D. H.; Morales Guerra, M.; Contreras Hinojosa, J. R.; Salinas Cruz, E. y Martínez Sánchez, J. (2021). Rentabilidad del sistema de producción manejo integrado de limón mexicano en Copalillo, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1247-1257. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.1908>

Preferencia de oviposición y manejo de huevos de *Tetranychus urticae* Koch en rosas de corte (*Rosa hybrida*)

Oviposition preference and egg management of *Tetranychus urticae* Koch in cut roses (*Rosa hybrida*)

Rosita Graciela Espinoza Gavilánez ^{1,2}, Edwin Geovanny Cualchi Cuascota ^{1,3}, Gladys Margarita Tocagón Quishpe ^{1,4}.

¹Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. ²✉ gespinozag@ups.edu.ec; ³✉ ecualchi@est.ups.edu.ec; ⁴✉ gtocagon@est.ups.edu.ec



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.116653>

2024 | 73-2 p 126-132 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-09-24 Acep.: 2025-04-25

Resumen

Tetranychus urticae Koch es una de las principales plagas del cultivo de rosas de corte para exportación. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue identificar el comportamiento de la oviposición de *T. urticae* en 4 cultivares de rosas (*Rosa x hybrida*), así como evaluar el efecto de un biopesticida sobre los huevos de este ácaro. Los cultivares en estudio fueron: Brighton, High Magic, Freedom y Hot Explorer. El biopesticida evaluado fue un producto comercial a base de *Ruta graveolens* L al 10 %. Se realizaron unidades de cría para la evaluación de los 2 experimentos. En las variables número de huevos y periodo de oviposición se observaron diferencias estadísticas significativas entre cultivares ($p < 0.0110$) y ($p = 0.0358$) respectivamente. Freedom fue el cultivar en el que menos huevos de *T. urticae* se observaron, con una mediana de 7.00 y en el que se obtuvo el periodo más corto de oviposición (4.00 días). En la evaluación del biopesticida no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, el tratamiento con la mayor cantidad de huevos no viables fue el del extracto de *R. graveolens* a una dosis de 3 cc/l, con una mediana de 4.00 huevos. Se concluye que *T. urticae* muestra preferencia de oviposición por los cultivares de colores frente al cultivar rojo. En el cultivar Freedom (color rojo) se observó la menor cantidad de huevos, el menor periodo de oviposición y la menor duración del periodo de sobrevivencia. El extracto de *Ruta graveolens* al 10 % presenta potencial como biopesticida.

Palabras clave: ácaro, biopesticida, manejo integrado de plagas, *Ruta graveolens*, sobrevivencia.

Abstract

Tetranychus urticae Koch is a major pest of cut roses destined for export. This study aimed to identify the oviposition behavior of *T. urticae* on four rose cultivars and to evaluate the effect of a biopesticide on its eggs. The rose cultivars studied were Brighton, High Magic, Freedom, and Hot Explorer. The biopesticide under evaluation was a commercial product based on *Ruta graveolens* L. Breeding units were utilized for the two experiments. Significant statistical differences were observed between cultivars for number of eggs and the oviposition period ($p < 0.0110$ and $p = 0.0358$, respectively). Freedom was the cultivar with the lowest number of *T. urticae* eggs, with a median of 7.00, and also exhibited the shortest oviposition period (4.00 days). The evaluation of the biopesticide showed no significant statistical differences between treatments. However, the treatment with the highest number of non-viable eggs was *R. graveolens* extract at 3 cc/l, with a median of 4.00 eggs. In conclusion, the oviposition preference of *T. urticae* was observed for the colored cultivars over the red cultivar. The Freedom cultivar (red color) had the lowest number of eggs, the shortest oviposition period, and the shortest survival time. The 10 % *R. graveolens* extract has the potential to be developed as a biopesticide.

Keywords: Biopesticide, integrated pest management, *Ruta graveolens*, survivability, two-spotted red mite.

Introducción

La rosa (*Rosa* sp.) es un arbusto leñoso que pertenece a la familia de las Rosáceas y es el cultivo de flor de corte de mayor importancia económica en todo el mundo (Hashemabadi *et al.*, 2021). En Suramérica la producción de rosa de corte para exportación (*Rosa x hybrida*) se localiza principalmente en Ecuador y Colombia (Ramírez *et al.*, 2023), mientras los principales clientes están ubicados en Norteamérica y Europa (Vega *et al.*, 2020). A pesar de la importancia de este cultivo, no es ajeno a problemas fitosanitarios, así, dentro de las plagas se destaca *Tetranychus urticae* como la de mayor importancia económica para este cultivo (Chacón *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2022), por los daños que provoca en la planta y en la flor cosechada, lo que genera disminución de su valor comercial (Yong, 2004).

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es uno de los ácaros herbívoros generalistas más destructivos (Golan *et al.*, 2021), ya que ataca a más de 1100 especies vegetales, de las cuales unas 150 son de importancia económica (Bidarnamani *et al.*, 2015); dichas especies son cultivadas tanto a campo abierto como en invernadero (Jakubowska *et al.*, 2022; Rajaei *et al.*, 2022).

Este ácaro desarrolla adaptaciones genómicas que facilitan que se alimente de una amplia diversidad de plantas (Hata *et al.*, 2020), lo que, sumado a su gran resistencia, representa una grave amenaza para una amplia gama de cultivos (Zhu *et al.*, 2024). Esta plaga, en su ciclo biológico, cuenta de manera general con 4 fases: huevo, un estado conocido como larva, ninfa y adulto. Las infestaciones de esta plaga se presentan prácticamente en todo el desarrollo productivo de la planta; prefieren las hojas de edad intermedia, y además, tanto los estadios inmaduros como los adultos causan daños en las plantas (Kirisik *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2023).

Las hembras fecundadas producen hembras cuando las condiciones climáticas son favorables, mientras que las hembras que no fueron fecundadas producen únicamente machos (Reséndiz y Castillo, 2018). Los primeros huevos depositados por las hembras de esta plaga son difíciles de detectar en campo y los daños no son considerables, por lo cual la mayoría de los productores suelen tomar medidas demasiado tarde (Damos *et al.*, 2023). Por otro lado, el tamaño de la población de *T. urticae* de la siguiente generación se puede disminuir con la reducción del periodo de oviposición; acortar el periodo de vida no solo restringirá la fecundidad sino también el daño potencial que causa la plaga de ácaros a sus hospedadores (Shang *et al.*, 2022).

Este ácaro reduce el tamaño y la calidad de las cosechas (Jakubowska *et al.*, 2022), además, el incremento de las poblaciones causa manchado, amarillamiento, rizado y, finalmente con el secado de hojas, reduce la productividad (Keskin *et al.*, 2020).

A escala mundial, se reporta que *T. urticae* provoca pérdidas de entre el 10 % y el 50 % de la producción en el caso del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Al-Zahrani *et al.*, 2023; Mahmoud *et al.*, 2025). La capacidad reproductiva de los ácaros es muy alta, ya que ponen numerosos huevos (Yanar *et al.*, 2011); de acuerdo con Reséndiz y Castillo (2018) cada hembra copulada coloca un promedio superior a 100 huevos durante su periodo activo. A esto se suma que las plantas hospedadoras de *T. urticae*, como mecanismo de defensa contra la pérdida de agua, emiten tricomas, los cuales a su vez aceleran la oviposición de las hembras de esta plaga (Shibuya *et al.*, 2016).

El empleo de cultivares resistentes constituye una herramienta auxiliar en el manejo integrado de plagas (MIP), ya que aporta al mantenimiento de poblaciones en niveles inferiores al daño económico; también permiten minimizar el impacto ambiental que provoca el uso de plaguicidas y no implican un coste adicional para el productor (Karlec *et al.*, 2017). El desarrollo de *T. urticae* en los cultivos de rosa está influenciado tanto por factores ambientales así como por el uso de distintos cultivares, los cuales presentan mecanismos naturales de defensa ante la plaga (Vázquez *et al.*, 2016), de ahí que la identificación y el posterior uso de cultivares que presenten resistencia o que sean parcialmente resistentes puede mejorar la eficacia del control biológico y químico contra las plagas, como uno de los componentes más importantes de una estrategia de MIP (Maleknia *et al.*, 2016). Como parte del manejo de esta plaga también es importante reducir el número de huevos viables para que el daño económico esté por debajo del nivel de poblaciones de ácaros.

Por otra parte, los metabolitos secundarios presentes en otras plantas se han utilizado para el control de plagas (Veronez *et al.*, 2012), es así que se han formulado varias decenas de productos basados en diversos extractos de plantas de las familias Rutaceae, Lamiaceae, Meliaceae y Asteraceae (Pavela, 2009). Estos plaguicidas de origen vegetal son un grupo importante de compuestos de origen natural –a menudo de acción lenta– que suelen ser más seguros para el ser humano y el medio ambiente que los plaguicidas convencionales (Pavela, 2009; Yanar *et al.*, 2011). De igual manera, los plaguicidas botánicos se consideran una alternativa prometedora como posibles sustitutos de los acaricidas sintéticos en el control de plagas agrícolas (De Araújo *et al.*, 2017).

En el Ecuador no hay estudios que evalúen cuál es la preferencia de oviposición de araña roja o ácaro de 2 manchas, o el efecto de productos derivados de plantas sobre los huevos de *T. urticae* en rosas de exportación. Con base en estos antecedentes se propuso la presente investigación con el objetivo de identificar el comportamiento de la oviposición de *T. urticae* en 4 cultivares de rosas, así como de evaluar el efecto de un biopesticida sobre los huevos de este ácaro.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de sanidad vegetal de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), sede Quito, extensión Cayambe, que está ubicado a 0°02'42"N 78°08'43"W.

Recolección y mantenimiento de los ácaros

Hojas de rosa (*Rosa x hybrida*) que presentaron síntomas de daños de *T. urticae* fueron recolectadas en diferentes invernaderos que se dedican a la exportación de este tipo de flores y que están ubicados a 0°03'55.7"N 78°09'39.8"W. El material vegetal fue colocado en fundas de polietileno debidamente selladas y fueron llevadas al laboratorio de la UPS, donde se revisaron al estereomicroscopio y se seleccionaron los ácaros adultos. Por otra parte, con base en la metodología sugerida por Karlec *et al.* (2017), se sembraron plantas de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en macetas; los ácaros adultos recolectados en campos de rosas fueron liberados en estas plantas. De la cría realizada en *P. vulgaris* se obtuvieron especímenes hembras y machos adultos para establecer unidades de cría y obtener adultos de edad conocida que fueron posteriormente empleados en los bioensayos correspondientes.

Unidades de cría de *T. urticae*

De acuerdo con la metodología recomendada por Pazmiño *et al.* (2018) se establecieron unidades de cría conocidas también como arenas. Las unidades de cría fueron instaladas en cajas de Petri de 9 cm con discos de algodón humedecido en agua destilada para evitar la deshidratación de las hojas. Para estas unidades de cría se utilizaron hojas del cultivar de rosa Mondial. En las cajas de Petri se colocaron 3 discos de hoja de 2 cm de diámetro y alrededor de cada disco se colocó algodón para evitar la salida de los ácaros. Sobre cada una de las hojas se colocaron hembras de *T. urticae* provenientes de la cría realizada en las plantas de fréjol. Estas unidades de cría sirvieron para obtener hembras adultas de edad conocida.

Número de huevos, sobrevivencia de la hembra y preferencia de oviposición

En cajas de Petri de 9 cm de diámetro se instalaron unidades de cría con discos de algodón humedecido en la base. Se colocaron discos de hoja de 2 cm de diámetro de los cultivares de rosas (*Rosa x hybrida*): Brighton, High Magic, Freedom y Hot Explorer. En cada unidad de cría se colocó una hembra adulta de *T. urticae*, en el envés de la hoja de cada cultivar de *R. hybrida* evaluado, siguiendo el hábito del ácaro. Se registró diariamente el número de huevos

colocados en cada uno de los discos evaluados. Luego se contabilizó el número de días de oviposición de *T. urticae* y los días de sobrevivencia de la hembra. Finalmente, se determinó la preferencia de oviposición en cada uno de los cultivares evaluados.

Evaluación del biopesticida

Unidades de cría con 10 hembras adultas de *T. urticae* fueron instaladas, con base en la metodología recomendada por Tello *et al.* (2014). Las hembras fueron mantenidas por 24 horas con la finalidad que cada hembra colocara huevos; al transcurrir este periodo las hembras fueron descartadas y se conservaron 10 huevos en cada disco.

El producto utilizado como biopesticida fue un extracto de hojas y tallos de *Ruta graveolens* en una concentración de 100 g/l mediante el producto comercial Rutinal, que es una marca registrada de la empresa Safer de Colombia (Safer, 2023). Las dosis evaluadas fueron 2 cc/l y 3 cc/l respectivamente. Para la aspersión se utilizó un atomizador con un aforo de gota total de 500 μ l y una distancia de 15 cm del disco de hoja que contiene los huevos en la unidad de cría.

Condiciones de evaluación

La presente investigación se desarrolló en condiciones semicontroladas con una temperatura media de 19 ± 2.9 °C, una temperatura mínima de 12.3 °C y una máxima de 36.1 °C. La HR de 50 ± 5 % y un fotoperíodo de 12/12 horas luz/oscuridad.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para la evaluación de la preferencia de oviposición se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 25 repeticiones. El factor en estudio fueron los cultivares de rosas de exportación Brighton, High Magic, Freedom y Hot explorer. Las variables evaluadas fueron: número de huevos colocados en cada uno de los cultivares en estudio, contabilizados durante todo el periodo de vida de la hembra de *T. urticae*; periodo de oviposición determinado como el número de días desde que la hembra colocó el primer huevo hasta que colocó el último huevo; y sobrevivencia de la hembra de *T. urticae*, entendida como el número de días de sobrevivencia desde que la hembra llegó a adulta hasta que se murió.

Para la evaluación del biopesticida se utilizó un Diseño completamente al Azar (DCA). El factor en estudio fue el biopesticida en 2 dosis: dosis 1 (2cc/l) y dosis 2 (3cc/l). El diseño experimental tuvo 3 tratamientos y 10 repeticiones. La variable evaluada fue la mortalidad entendida como la no viabilidad de los huevos de *T. urticae*, es decir, aquellos que no logran dar lugar a "larvas", una vez que ha concluido su periodo de incubación.

Debido a que no se observó una distribución normal en los datos de las variables evaluadas, se procedió a realizar un análisis de varianza no paramétrico, en este caso se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Todos los análisis fueron realizados con el *software* estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Resultados

Número de huevos de *T. urticae* colocados en los 4 cultivares evaluados

En la variable número de huevos colocados por las hembras de *T. urticae* se observaron diferencias estadísticas significativas entre cultivares ($p < 0.0110$) (Tabla 1). El cultivar Freedom (rojo) presentó el menor número de huevos con una mediana de 7.00, mientras los demás cultivares no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos. Las medianas de los huevos colocados en los cultivares de colores oscilaron entre 21.00 y 25.50 en Hot Explorer y High Magic, respectivamente.

Periodo de oviposición de *Tetranychus urticae*

En la variable de periodo de oviposición se observaron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares de rosas evaluados ($p = 0.0358$) (Tabla 1). El cultivar Freedom fue el que presentó el menor periodo de oviposición, con una mediana de 4.00 días, mientras que en los cultivares Brighton y High Magic no se observaron diferencias significativas, pues tuvieron medianas de 7.50 y 9.00 días, respectivamente.

Preferencia de oviposición de *T. urticae* en *Rosa x hybrida* L.

El análisis de la preferencia de oviposición de *Tetranychus urticae* mostró que la hembra de este ácaro presenta preferencia por los cultivares de rosas de colores en lugar del cultivar de color rojo (Figura 1). La escala cualitativa de preferencia de oviposición de la hembra de *T. urticae* se observó así: cultivar High Magic > Brighton > Hot Explorer > Freedom. Estos resultados son respaldados por la variable número de huevos de *T. urticae* colocados en cada cultivar de rosa evaluado (Tabla 1).

Tabla 1. Comportamiento de oviposición de *Tetranychus urticae* en 4 cultivares de *Rosa hybrida*

Cultivares de rosa	Número de huevos				Periodo de oviposición			
	N.º	Media	DE	Mediana	N	Media	DE	Mediana
Brighton	100	26.78	19.53	22.50 b	60	7.40	1.96	7.50 b
High Magic	100	27.28	19.20	25.50 b	60	8.10	2.69	9.00 b
Freedom	100	10.56	11.17	7.00 a	54	4.78	2.59	4.00 a
Hot Explorer	100	22.44	17.35	21.00 b	72	6.33	2.31	7.00 ab

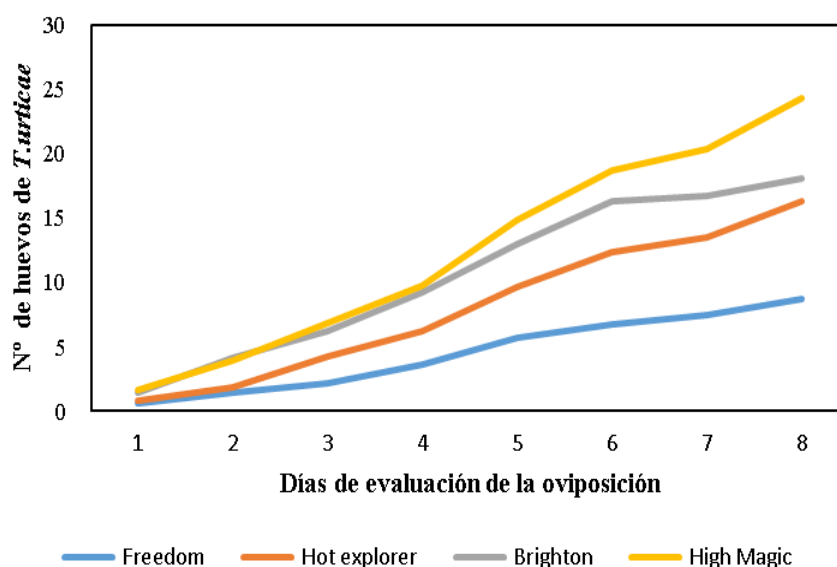


Figura 1. Preferencia de oviposición de *Tetranychus urticae* en 4 cultivares de *Rosa hybrida*.

Sobrevivencia de la hembra adulta de *T. urticae*

Para la variable sobrevivencia de la hembra adulta de *T. urticae* no se observaron diferencias significativas entre los cultivares de rosas evaluados ($p=0.0588$) (Tabla 2). Sin embargo, se observó que el menor valor de sobrevivencia de la hembra se presentó en el cultivar Freedom (cultivar rojo) con una mediana de 6.50 días; mientras en los cultivares de colores (Brighton y Hot Explorer) el periodo de sobrevivencia fue más alto y osciló entre 10.00 y 11.00 días, respectivamente.

Evaluación del biopesticida a base de *Ruta graveolens*

En la variable huevos no viables de *T. urticae* aplicados el extracto de *Ruta graveolens* no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p= 0.2752$) (Tabla 3). Desde el punto de vista numérico el tratamiento de la aplicación de *Ruta graveolens* a 3 cc/l fue el que presentó el mayor valor de huevos no viables con una mediana de 4.00 huevos.

Discusión

La resistencia de la planta huésped suele ser específica de cada cultivar y está definida por factores como las defensas químicas y/o físicas que presentan las plantas (Scott *et al.*, 2021). El estudio muestra cómo el comportamiento de *T. urticae* varía en los cultivares de rosas de corte evaluados. Respecto al número de huevos de esta especie, a similares resultados llegaron Chacón *et al.* (2020), sobre 4 cultivares de rosas de los que reportaron diferencias significativas en el número de huevos de *T. urticae* en el cultivar Samuray (rosa de color rojo) con una mediana de 3 huevos, mientras en los 3 cultivares restantes no se observaron diferencias significativas entre ellos. Por su parte, también Golizadeh *et al.* (2017) informaron que hubo diferencias significativas entre cultivares en esta misma variable; Pink Promise fue el cultivar en el que se observó la mayor cantidad de huevos (125.20 ± 10.10) mientras en los demás cultivares no se observaron diferencias significativas entre ellos.

Ahora bien, la variación en los parámetros observados puede estar relacionada con las propiedades fisicoquímicas de los hospederos evaluados, tal como lo manifestan Flores *et al.* (2011) quienes en un estudio con 13 cultivares de rosas observaron una correlación positiva entre la tasa de desarrollo de la población de *T. urticae* y la cantidad de terpenos, grosor de la hoja y contenido de nitrógeno. De tal manera, las propiedades físico-químicas de las plantas son rasgos genéticos que confieren resistencia y desempeñan un importante papel defensivo en respuesta a la infestación de la plaga (Puspitarini *et al.*, 2021).

Con respecto al periodo de oviposición, los resultados corresponden con los reportados por Golizadeh *et al.* (2017), quienes observaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.01$) en la variable periodo de oviposición en un estudio realizado con 10 cultivares de rosas. *T. urticae* es una plaga cosmopolita que afecta a una gran cantidad de especies vegetales y presenta parámetros que se comportan de manera similar en varios cultivos, es así que Pazmiño *et al.* (2018), en un estudio comparativo entre 2 cultivares de fresa en el Ecuador encontraron diferencias significativas en la duración del periodo de oviposición. Por su parte, Karlec *et al.* (2017), en un estudio realizado con 16 cultivares de fresa, concluyeron que existe un efecto distintivo de cada tipo de cultivar sobre el desarrollo de *T. urticae*. Un mayor valor nutritivo del hospedador, especialmente en el contenido de proteínas, podría favorecer el desarrollo del ácaro (Puspitarini *et al.*, 2021). La densidad de población y la fecundidad de *T. urticae* dependerán del tipo de plantas hospedadoras (Abou y Abdel, 2020); a similar conclusión llegaron Assouguem *et al.* (2022), quienes estudiaron variedades de cítricos y observaron que la variedad puede inducir un impacto en la evolución de las plagas, así como de sus enemigos naturales. La resistencia varietal es una estrategia importante dentro de un programa de manejo integrado de plagas (De Resende *et al.*, 2020).

Respecto a la preferencia de oviposición, los resultados concuerdan con lo manifestado por Monteiro *et al.* (2014), quienes reportaron que existe un efecto de los cultivares sobre los parámetros

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis para los huevos no viables en la preferencia de oviposición y manejo de huevos de *T. urticae* en 4 cultivares de rosas de exportación

Variable	Tratamientos	N.º	Medianas	H	p
Huevos no viables	Agua	40	3	2.52	0.275 NS
Huevos no viables	Ruda 2cc/l	40	3		
Huevos no viables	Ruda 3cc /l	40	4		

Tabla 2. Sobrevivencia de hembras adultas de *T. urticae* en *Rosa hybrida*

Cultivares de rosa	Sobrevivencia de <i>T. urticae</i>			
	N.º	Media	DE	Mediana
Brighton	12	8.92	2.91	10.00 a
High Magic	12	9.08	2.78	10.50 a
Freedom	12	7.08	2.35	6.50 a
Hot Explorer	12	10.17	2.48	11.00 a

biológicos de *T. urticae*. La calidad de la planta huésped influye en los parámetros biológicos de este ácaro, lo que es un factor a tener en cuenta en el manejo integrado de esta plaga (Hossain et al., 2017; Fahim et al., 2020). En cuanto a la sobrevivencia de la hembra adulta de *T. urticae* los resultados coinciden con los observados por Puspitarini et al. (2021), quienes reportaron que no hubo diferencias significativas en la variable longevidad de las hembras de esta plaga en 3 cultivares de fresa. En el mismo frutal Hossain et al. (2017) reportaron que no hubo diferencias significativas en la longevidad de las hembras de *T. urticae*, pues obtuvieron medias que oscilaron entre 15.33 ± 0.81 y 16.42 ± 0.84 .

Sobre la evaluación del biopesticida a base de *Ruta graveolens* Potenza et al. (2006) reportaron que el extracto acuoso de *R. graveolens* presentó una reducción significativa de la población de adultos de *T. urticae* (83.95 %) presente en plantas de fréjol evaluadas en condiciones de laboratorio. Por su parte Ghabbari et al. (2018), en un estudio realizado con *Ceratitis capitata* (Wiedemann) conocida como la mosca mediterránea de la fruta, observaron que los extractos etanólicos de *R. graveolens* al 3.6 y 6 % provocaron una mortalidad del 100 % de individuos adultos de esta plaga.

Conclusiones

La hembra de *Tetranychus urticae* mostró preferencia de oviposición por los cultivares de rosas de colores, particularmente High Magic, seguido de Brighton y Hot Explorer, mientras que el cultivar rojo (Freedom) fue el menos seleccionado para la oviposición. El biopesticida a base de *Ruta graveolens* al 10 % sobre huevos de *T. urticae* no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Referencias

- Abou, G. y Abdel, A. (2020). Biology and life table analysis of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on different common pea and bean cultivars. *Persian Journal of Acarology*, 9(2), 181-192.
- Al-Zahrani, J.; Al-Abdalall, A.; Osman, M.; Aldakheel, L.; AlAhmady, N.; Aldakeel, S.; AbdulAzeez, S.; Borgio, J.; ElNaggar, M.; Alabdallah, N. y Almस्ताfa, M. (2023). Entomopathogenic fungi and their biological control of *Tetranychus urticae*: Two-spotted spider mites. *Journal of King Saud University - Science*, 35(8), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102910>
- Assouguem, A.; Farah, A.; Ullah, R.; Korkmaz, Y.; Almeer, R.; Sayed, A.; Najda, A. y Lazraq, A. (2022). Evaluation of the varietal impact of two citrus species on fluctuations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and beneficial phytoseiid mites. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su14053088>
- Bidarnamani, F.; Sanatgar, E. y Shabanipoor, M. (2015). Spatial distribution pattern of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on different *Rosa* cultivars in greenhouse Tehran. *Journal of Ornamental Plants*, 5(3), 175-182.
- Chacón, J.; Cerna, E.; Aguirre, L.; Ochoa, Y.; Ail, C. y Landeros, J. (2020). Resistance of four rose varieties to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) under greenhouse conditions. *Florida Entomologist*, 103(3), 404-407. <https://doi.org/10.1653/024.103.0315>
- Damos, P.; Papathanasiou, F.; Tsikos, E.; Kyriakidis, T. y Louta, M. (2023). Predicting the occurrence and risk damage caused by the Two-Spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Koch) in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) combining rate and heat summation models for digital decisions support. *Agriculture (Switzerland)*, 13(4), 1-18. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040756>
- De Araújo, M.; Oliveira, K.; De Souza, A.; Da Silva, J.; De Moraes, J.; De Cassia, R. y Gonçalves, G. (2017). Bioactivity of the organic extracts of *Annona vepretorum* on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52(9), 707-714. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900002>
- De Resende, J.; De Lima, R.; Ribeiro, L.; Wosniak, J.; De Goes, C. y Youssef, K. (2020). Strawberry genotypes with resistance to *Tetranychus urticae* mediated by leaf trichomes. *Ciencia e Agrotecnologia*, 44, 1-9. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044006920>
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. (2020). *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- Fahim, S.; Momen, F. y El-Saiedy, E. (2020). Life table parameters of *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) on four strawberry cultivars. *Persian Journal of Acarology*, 9(1), 43-56. <https://www.biotaxa.org/pja/article/view/202014>
- Flores, R.; Mendoza, R.; Landeros, J.; Cerna, E.; Robles, A. y Isiordia, N. (2011). Caracteres morfológicos y bioquímicos de *Rosa x hybrida* contra *Tetranychus urticae* Koch en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 473-482.
- Ghabbari, M.; Guarino, S.; Caleca, V.; Saiano, F.; Sinacori, M.; Baser, N.; Mediouni, J. y Lo Verde, G. (2018). Behavior-modifying and insecticidal effects of plant extracts on adults of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Journal of Pest Science*, 91(2), 907-917. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0952-6>
- Golan, K.; Garrido, I.; Kot, I.; Górska, E.; Kmieć, K.; Łagowska, B.; Skwaryło, B.; Kopacki, M. y Jamiolkowska, A. (2021). Defense responses in the interactions between medicinal plants from Lamiaceae family and the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Agronomy*, 11(3), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030438>
- Golizadeh, A.; Ghavidel, S.; Razmjou, J.; Fathi, S. y Hassanpour, M. (2017). Comparative life table analysis of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on ten rose cultivars. *Acarologia*, 57(3), 607-616. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20174176>
- Hashemabadi, D.; Kaviani, B.; Nekouyari, N.; Ezzatpazhoh, S. y Zaredoost, F. (2021). Effect of warm water on postharvest quality of cut rose (*Rosa hybrida* L.) flowers. *Ornamental Horticulture*, 27(3), 351-356. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i3.2336>
- Hata, F.; Béga, V.; Ventura, M.; Dos Santos, F.; Da Silva, J.; Machado, R. y Sousa, V. (2020). Plant acceptance for oviposition of *Tetranychus urticae* on strawberry leaves is influenced by aromatic plants in laboratory and greenhouse intercropping experiments. *Agronomy*, 10(2), 1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020193>
- Hossain, A.; Uddin, M.; Ruba, S.; Rabbi, A.; Basunia, A. y Al Bachchu, A. (2017). Fitness of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on three strawberry varieties: Biology and

- fertility life-tables. *International Journal of Acarology*, 35(4), 122-129. <https://doi.org/10.1080/01647950903074733>
- Jakubowska, M.; Dobosz, R.; Zawada, D. y Kowalska, J. (2022). A review of crop protection methods against the two spotted spider mite –*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)—with special reference to alternative methods. *Agriculture*, 12(7), 1-21. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070898>
- Karlec, F.; Da Fonseca, A.; Barneche, A. y Silva, U. (2017). Development of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in different strawberry cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017171>
- Keskin, G.; Kumral, N. y Kacar, O. (2020). A laboratory study of the acaricidal, repellent and oviposition deterrent effects of three botanical oils on *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae). *Turkiye Entomoloji Dergisi*, 44(3), 305-318.
- Kirisik, M.; Erler, F.; Boyaci, F. y Bayram, Y. (2020). Evaluation of resistance in 16 eggplant genotypes to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Phytoparasitica*, 49(2), 275-285. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00856-x>
- Kumar, D.; Kaur, P. y Bhullar, M. (2023). Estimated crop loss due to *Tetranychus urticae* Koch on Brinjal. *Agricultural Research Journal*, 60(6), 848-852. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2023.00122.9>
- Lee, S.; Shin, J.; Kwon, D.; Xu, J.; Kim, J.; Ahn, C.; Jang, S.; Kwon, O.; Lee, H. y Kim, W. (2022). Preventing scattering of *Tetranychus urticae* in *Rosa hybrida* through dsCOPB2 expression. *Scientia Horticulturae*, 301, 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111113>
- Mahmoud, A.; Mabrouk, A.; Afifi, A.; Abdellatif, A.; Osman, N. y Ahmed, M. (2025). Grafting Tomato 'Nairouz F1' onto interspecific hybrids for induced antibiosis and antixenosis resistance to *Tetranychus urticae* Koch via chlorogenic acid synthesis. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06257-8>
- Maleknia, B.; Fathipour, Y. y Soufbaf, M. (2016). How greenhouse cucumber cultivars affect population growth and two-sex life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 42(2), 70-78. <https://doi.org/10.1080/01647954.2015.1118157>
- Monteiro, L.; Kuhn, T.; Mogor, A. y Da Silva, E. (2014). Biology of the two-spotted spider mite on strawberry plants. *Neotropical Entomology*, 43(2), 183-188. <https://doi.org/10.1007/s13744-013-0184-7>
- Pavela, R. (2009). Effectiveness of some botanical insecticides against *Spodoptera littoralis* Boisduval (Lepidoptera: Noctuidae), *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Plant Protection Science*, 45(4), 161-167. <https://doi.org/10.17221/16/2009-pps>
- Pazmiño, P.; Lema, G.; Mendoza, D.; Velástegui, G. y Vásquez, C. (2018). Parámetros biológicos de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) alimentado sobre dos cultivares de fresa en Ecuador. *Bioagro*, 30(3), 229-234.
- Potenza, M.; Gomes, R.; Jocys, T.; Takematsu, A. y Ramos, A. (2006). Avaliação de produtos naturais para o controle do ácaro rajado *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) em casa de vegetação. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 73(4), 455-459. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v73p4552006>
- Puspitarini, R.; Fernando, I.; Rachmawati, R.; Hadi, M. y Rizali, A. (2021). Host plant variability affects the development and reproduction of *Tetranychus urticae*. *International Journal of Acarology*, 47(5), 1-6. <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1915377>
- Rajae, F.; Ghane, M.; Maroofpour, N. y Sedartarian, A. (2022). Sublethal effects of spiromesifen on life table traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia*, 62(3), 772-785. <https://doi.org/10.24349/uja8-5ks2>
- Ramírez, D.; Erazo, P.; Quijia, J.; Llerena, S.; Barriga, N.; Jones, C. y Leon, A. (2023). Influence of grafting on rootstock rhizosphere microbiome assembly in *Rosa* sp. 'Natal Brier.' *Biology*, 12(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/biology12050663>
- Reséndiz, B. y Castillo, O. (2018). Biología del ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) en laboratorio en Chapingo, Estado de México. *Entomología Mexicana*, 5, 40-45.
- Safer. (2023). Rutinal. Ficha técnica. <https://safer.com.co/product/rutinal/>
- Scott, I.; McDowell, T.; Renaud, J.; Krolkowski, S.; Chen, L. y Dhaubhadel, S. (2021). Soybean (*Glycine max* L Merr) host-plant defenses and resistance to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *PLoS ONE*, 16(10), 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258198>
- Shang, S.; Chang, Y.; Li, W.; Qing, W. y Cheng, N. (2022). Effects of B-azolemiteacrylic on life-history traits and demographic parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 86(1), 61-71. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00678-4>
- Shibuya, T.; Itagaki, K.; Ueyama, S.; Hirai, N. y Endo, R. (2016). Atmospheric humidity influences oviposition rate of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) through morphological responses of host *Cucumis sativus* Leaves. *Journal of Economic Entomology*, 109(1), 255-258. <https://doi.org/10.1093/jee/fov312>
- Tello, V.; Chung, S. y Vargas, R. (2014). Estudio preliminar del efecto acaricida de seis extractos metanólicos sobre la araña bimaclada, *Tetranychus urticae* Koch. *IDESIA (Chile)*, 32(2), 37-45. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200006>
- Vázquez, G.; Sabás, C.; González, A.; Aguilar, S.; Vázquez, L. y Mejía, J. (2016). Efecto de *Tetranychus urticae* Koch en la calidad del tallo floral de 15 cultivares de rosa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 833-844. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400833
- Vega, K.; Ochoa, S.; Patiño, L.; Herrera, J.; Gómez, J. y Quijano, J. (2020). UV-C radiation for control of gray mold disease in postharvest cut roses. *Journal of Plant Protection Research*, 60(4), 351-361. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133957>
- Veronez, B.; Sato, M. y Nicastro, R. (2012). Toxicidade de compostos sintéticos e naturais sobre *Tetranychus urticae* e o predador *Phytoseiulus macropilis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 511-518. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400006>
- Yanar, D.; Kadioğlu, I. y Gökçe, A. (2011). Ovicidal activity of different plant extracts on two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) (Acari: Tetranychidae). *Scientific Research and Essays*, 6(14), 3041-3044. <https://surl.li/cncxid>
- Yong, A. (2004). El cultivo del rosal y su propagación. *Cultivos Tropicales*, 25(2), 53-67.
- Zhu, Y.; Wu, T.; Hu, Q.; He, W.; Zheng, Y.; Xie, Y.; Rao, Q. y Liu, X. (2024). Plant essential oils: Dual action of toxicity and egg-laying inhibition on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), unveiling their potential as botanical pesticides. *Plants*, 13(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/plants13060763>

Indicadores de calidad del suelo en cafetales con aplicación de técnicas de agricultura ecológica en San Francisco, Cundinamarca, Colombia

Soil quality indicators in coffee plantations managed with ecological farming techniques in San Francisco, Cundinamarca, Colombia

Mileidy Gabriela Reyes Zubieta ^{1,3}, Mariana Calderón Vargas ^{1,4}, Lizeth Manuela Avellaneda-Torres ^{2,5}.

¹Universidad Libre. Bogotá, Colombia. ²Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá, Colombia. ³ ✉ mileidyg-reyesz@unilibre.edu.co; ⁴ ✉ mariana-calderonv@unilibre.edu.co; ⁵ ✉ lmavellanadat@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.112428>

2024 | 73-2 p 133-142 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-01-11 Acep.: 2025-04-01

Abstract

Ecological farming (EF) is a sustainable agricultural production system that promotes customized technologies tailored to the specific needs of each agroecosystem. By optimizing available resources, EF aims to enhance the quality of cultivated soil. The objective of this research was to assess the impact of scheduled EF techniques, including biofertilizers, liquid and solid humus, effective microorganisms, phosphites, composted chicken manure, polycultures, and green fertilizers, on soil properties in coffee plantations of varying ages in San Francisco, Cundinamarca, Colombia. Samples were collected from coffee plantations of different ages (less than one year old, two, and four years) bimonthly over a 10-month period. Various soil quality indicators were evaluated, including physicochemical parameters (pH, gravimetric moisture, cation exchange capacity (CEC), organic carbon (OC), total nitrogen, and available phosphorus), abundance of functional groups of microorganisms (phosphate solubilizers, cellulolytics, and nitrogen fixers), and enzymatic activities (urease, protease, acid and alkaline phosphatase, and β -glucosidase). The results showed significant changes in soil quality indicators as a result of the application of EF techniques. These changes included a notable increase in carbon (from 9.0 % to 17.4 %), nitrogen (from 0.4 % to 0.9 %), and phosphorus content (from 9.3 to 40.4 ppm), as well as a substantial increase in the abundance of phosphate-solubilizing fungi (from 6.0 to 9.0 CFU/g) and cellulolytic fungi (from 5.6 to 9.2 CFU/g). Conversely, significant decreases were observed in soil pH (from 5.5 to 5.1) and β -glucosidase activity (from 55.8 to 10.7 $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ dm } 2\text{h}^{-1}$), indicating shifts in nutrient dynamics and biological processes in response to ecological management.

Keywords: Enzymatic activity, functional groups of microorganisms, soil health, soil macronutrients.

Resumen

La agricultura ecológica (EF) es un sistema de producción agrícola sostenible que promueve tecnologías personalizadas adaptadas a las necesidades específicas de cada agroecosistema. Mediante la optimización de los recursos disponibles, la agricultura ecológica pretende mejorar la calidad del suelo cultivado. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de técnicas programadas de agricultura ecológica (incluyendo biofertilizantes, humus líquido y sólido, microorganismos efectivos, fosfitos, gallinaza compostada, policultivos y abonos verdes) en las características del suelo en cafetales de diferentes edades en San Francisco, Cundinamarca, Colombia. Se recolectaron bimensualmente muestras de cafetales de diferentes edades (menos de un año, dos y cuatro años), durante un período de 10 meses. Con base en estas muestras, se evaluaron varios indicadores de calidad del suelo, incluyendo parámetros fisicoquímicos (pH, humedad gravimétrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible), abundancia de grupos funcionales de microorganismos (solubilizadores de fosfato, celulolíticos y fijadores de nitrógeno) y actividades enzimáticas (ureasa, proteasa, fosfatasa ácida y alcalina y β -glucosidasa). Los resultados evidenciaron cambios significativos en el comportamiento de los indicadores de calidad del suelo tras la aplicación de las técnicas de agricultura ecológica. Estos cambios incluyen un aumento notable en el contenido de carbono (de 9.0 % a 17.4 %), nitrógeno (de 0.4 % a 0.9 %) y fósforo (de 9.3 a 40.4 ppm), así como un incremento considerable en la abundancia de hongos solubilizadores de fosfato (de 6.0 a 9.0 UFC/g) y hongos celulolíticos (de 5.6 a 9.2 UFC/g). En contraste, se observaron disminuciones significativas en el pH del suelo (de 5.5 a 5.1) y en la actividad de la enzima β -glucosidasa (de 55.8 a 10.7 $\mu\text{g N } \cdot \text{g}^{-1} \text{ dm } \cdot 2\text{h}^{-1}$), lo cual indica un cambio en la dinámica de nutrientes y los procesos biológicos en respuesta al manejo ecológico.

Palabras claves: actividad enzimática, grupos funcionales de microorganismos, macronutrientes del suelo, salud del suelo.

Introduction

Conventional agriculture has become a major contributing factor to the current environmental crisis due to its reliance on monoculture and high-input techniques promoted by the capitalist system. These practices have led to the degradation of natural resources (Chávez-Caiza and Burbano-Rodríguez, 2021) and have had significant negative social and economic consequences (Oteros-Rozas *et al.*, 2019). A clear example is the Green Revolution, which aimed to standardize and increase agricultural production but ultimately resulted in reduced energy efficiency, a decline in soil productivity, and increased dependence on agrochemicals (Chávez-Caiza and Burbano-Rodríguez, 2021). In response to these outcomes, many farmers are actively seeking sustainable alternatives. Therefore, it is crucial to develop and evaluate ecological agricultural techniques that enhance productivity without the adverse effects associated with conventional practices.

In this regard, ecological farming (EF) offers an alternative to conventional agriculture by prioritizing biodiversity conservation and promoting natural renewal processes and ecosystem services to enhance and regulate agricultural production (Chávez-Caiza and Burbano-Rodríguez, 2021). EF is a comprehensive science that draws knowledge from multiple disciplines; however, it still faces challenges, including social and political issues associated with this model (Domené-Painenao and Herrera, 2022). In this context, Moneva Roca (2020) highlights the potential and responsibility of agroecology in promoting sustainable agriculture to meet the Sustainable Development Goals proposed by the UN. However, further research is required to examine the interaction between EF techniques and various components of agroecosystems, as well as their effects on soil and quality indicators.

Soil quality indicators provide information about changes in soil properties resulting from its manipulation and management. These indicators are not only essential to conserve natural ecosystems but also provide valuable information on the state of soil, as well as the impact of land use on biodiversity (Basantes Cárdenas and Lemache Rivera, 2023). Soil is a complex, living, heterogeneous, and dynamic system composed of physical, chemical, and biological components, along with their interactions (Ortega Rodríguez, 2023). Therefore, it is necessary not only to analyze the physicochemical properties of the soil but also to evaluate the abundance of microorganisms and the enzymatic activities involved in the cycles of the three primary macronutrients essential for plant growth: carbon, nitrogen, and phosphorus (C, N, and P, respectively).

Physical indicators are properties associated with the size, arrangement, and organization of soil particles, while chemical indicators reflect

the chemical conditions that affect soil-plant interactions, water quality, buffering capacity, and the availability of water and nutrients for both plants and microorganisms (Nuñez-Peñaloza *et al.*, 2023). The abundance of microorganisms influences nutrient availability in the soil, as they contribute to the energy flow within this living system. Furthermore, microorganisms serve as integral indicators of soil health and respond rapidly to changes in soil management due to their adaptability to environmental conditions (Tajik *et al.*, 2020). Enzymatic activity plays a fundamental biochemical role in organic matter decomposition in soil, since it is closely related to physical, chemical, and biological properties of soil and is essential for catalyzing reactions necessary for the life microorganisms, stabilizing soil structure, and contributing to the biogeochemical cycling of nutrients (C, N, and P) (Vélez *et al.*, 2024).

Research on EF plays a pivotal role in promoting and expanding sustainable agriculture (Intini *et al.*, 2019), while also advancing knowledge and generating results through a holistic approach (Domené-Painenao and Herrera, 2022), which requires a two-way learning process. Therefore, considering the interest of farmers from San Francisco, Cundinamarca (Colombia), in more sustainable agriculture techniques, particularly regarding coffee production—the region's primary agricultural product (Rocha Aldana, 2017)—, this study aims to evaluate the response of soil quality indicators (pH, gravimetric moisture, cation exchange capacity (CEC), organic carbon (OC) content, total nitrogen, and available phosphorus) associated with the C, N, and P cycles, before and during the implementation of EF techniques tailored to the needs and conditions of existing coffee plantations of varying ages. Based on this premise, the working hypothesis is that the scheduled implementation of ecological farming practices induces statistically significant changes in soil quality indicators — including physicochemical properties, microbial functional groups, and enzymatic activity— in coffee plantations of different ages in the region of San Francisco in Cundinamarca.

Materials and methods

Description of the research location

The study was conducted in the municipality of San Francisco, located in northwestern Cundinamarca, in the central region of Colombia. The municipality is situated on the western slope of the Eastern Range of the Andes, with its main town located at coordinates 04°58'38" N, 74°1'32" W, at an elevation of 1500 m a. s. l. It is a tropical region, whose climate is determined mainly by variations in altitude, the topography of the landforms, and two rainy and two dry seasons interspersed throughout the year: one

rainfall period from February to May, and a second one of more intense rainfall between September and November (Rocha Aldana, 2017).

According to IGAC (2017), the studied soils are classified as Humic Dystrudepts and Typic Hapludands, which, according to Rodríguez Albarracín (2017), are associated with mountain soils characterized by crest-type landforms and intercalations of classic silty clay rocks and carbonates in some areas, along with volcanic ash deposits, variable parent material, and differing pH levels.

Experimental design and soil sampling

Soil samples were taken bimonthly (at months zero, two, four, six, eight, and ten) from three coffee plantations of different ages: a recently established coffee plantation less than one year old (referred to as C0A), a two-year-old plantation (C2A), and a four-year-old plantation (C4A). The same ecological farming techniques were uniformly applied to all plots, with plantation age serving as the basis for analysis over a ten-month observation and application period.

Three samples were drawn from each plot, each composed of 12 soil sub-samples taken in a zigzag pattern at a depth of 0-0.20 m—a layer corresponding to the zone with the highest concentration of active coffee roots and the most intense biological and chemical activity. Samples were then homogenized, labeled, and stored at different temperatures according to their intended analysis: samples for physicochemical analysis were kept at room temperature, those for microorganism abundance at 4 °C, and those for enzymatic activity at -20 °C. The samples were processed within 24 hours after collection. Altogether, there were three soil samples for every land plot (C0A, C2A, and C4A), over six sampling times (zero, two, four, six, eight, and ten months), for a total of 54 soil samples.

The ecological farming techniques applied during the study were: 1. solid humus produced through composting with Californian red worms (*Eisenia foetida*) in plastic bins, using organic waste generated on the farm (Román *et al.*, 2013); 2. liquid humus generated from the same process as the previous one; 3. biopreparation of effective microorganisms applied in solid form by mixing nine parts of soil with one part of the solid preparation: leaf litter and soil collected from the surroundings of the farm and mixed with rice semolina, water and molasses, fermented in an airtight container for one month (Tencio, 2015); 4. composted chicken manure acquired in the local market; 5. phosphites (bone meal) acquired in the local market; 6. liquid biofertilizer (biol) prepared with chicha, cow dung, wood ash, milk, water, green leaves, yeast, and molasses, following the proportions indicated in FONCODES (2014); 7. corn (*Zea mays*), beans (*Phaseolus vulgaris*), and yucca (*Manihot esculenta*),

which were also sown among the coffee plants to promote polyculture and functional diversification; and 8. red clover (*Trifolium pratense*) seeds sown randomly to serve as green manure.

Table 1 summarizes the periods during which each technique was applied, corresponding to the sampling months. All techniques were applied simultaneously and uniformly across the plots. The species sown around the coffee crops, intended to accompany the main crop and improve soil conditions, remained in place throughout the study period. Inputs were applied superficially through manual incorporation.

Physicochemical soil parameters

The physicochemical parameters evaluated in the samples included the following, according to IGAC (2006): pH in water (1:1 soil-to-water ratio) measured by the potentiometric method (Bernal Figueroa and Forero Ulloa, 2014); gravimetric moisture content determined by the gravimetric method (Shukla *et al.*, 2014); cation exchange capacity (CEC) assessed by the ammonium acetate 1N and neutral method;

Table 1. Ecological agriculture techniques applied per month during the study

Month	EF technique	Sampling
0	Initial sampling	Yes
	After sampling seeds were sown randomly to serve as green manure (<i>Trifolium pratense</i>)	
	Polyculture sowing (<i>Zea mays</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Manihot esculenta</i>)	
1	Solid humus	No
	Composted chicken manure	
2	Liquid humus	Yes
	Solid humus	
	Liquid humus	
3	Composted chicken manure	No
	Biopreparation of effective microorganisms	
	Liquid humus	
4	Biopreparation of effective microorganisms	Yes
	Composted chicken manure	
	Solid humus	
5	Liquid humus	No
	Biopreparation of effective microorganisms	
	Composted chicken manure	
6	Liquid biofertilizer	Yes
	Liquid humus	
	Solid humus	
7	Phosphites	No
	Liquid biofertilizer	
	Composted chicken manure	
8	Liquid humus	Yes
	Biopreparation of effective microorganisms	
	Phosphites	
9	Liquid biofertilizer	No
10	Phosphites	Yes

organic carbon quantified by wet digestion using the Walkley-Black method (Vela *et al.*, 2012); total nitrogen measured by the modified Kjeldahl method (Jarquín-Sánchez *et al.*, 2011); and available phosphorus determined by the modified Bray II method (García Galvis and Ballesteros, 2006).

Abundance of microorganisms

To evaluate the abundance of microorganisms associated to the C, N, and P cycles, the sowing and plate counting methods were applied on different media types, according to Fernández *et al.* (2020). To quantify colony-forming units (CFU) of phosphate-solubilizing bacteria and fungi, researchers followed an adapted version of Sundara and Sinha's method (1963), incubating bacterial cultures at 28 °C for 40 hours and fungal cultures at 20 °C for six days. The count of cellulolytic microorganisms (bacteria and fungi) was conducted using a medium with 1 % carboxymethylcellulose as the sole carbon source (Avellaneda-Torres *et al.*, 2014, with bacteria incubated at 28 °C for 48 hours and fungi at 20 °C for six days. Finally, a modified version of Rennie's (1981) selective medium lacking nitrogen was used to evaluate nitrogen-fixing bacterial populations, incubated at 28 °C for 48 hours (Avellaneda-Torres *et al.*, 2020).

Enzymatic activity

To determine the enzymatic activity, enzymes associated with the C, N, and P cycles were analyzed. For those related to nitrogen, urease and protease activities were evaluated. Urease activity was measured by the colorimetric determination of ammonia released from samples incubated with urea solution at 37 °C for two hours. Protease activity was assessed using casein as the substrate, with soil samples incubated at 50 °C and pH 8.1 for two hours. For phosphorus-related enzymes (acid and alkaline phosphatase), activity was measured by determining the amount of p-nitrophenol released after the incubation of soil samples with a p-nitrophenyl phosphate solution at 37 °C for one hour. Finally, β -Glucosidase activity, corresponding to carbon-related enzymes, was assessed by measuring the p-nitrophenol released after incubation of soil with a p-nitrophenyl glycoside solution under the same conditions (37 °C for one hour). All procedures followed the methodology described by Avellaneda-Torres *et al.* (2018).

Statistical analysis

The results obtained for each parameter were subjected both to univariate and multivariate statistical analyses to compare values and evaluate their evolution over the ten-month observation period. These tests were used to evaluate whether the

hypotheses derived from the research questions were supported. As part of the analysis, the assumptions of normality and homogeneity of variances were verified. The Kolmogorov-Smirnov test was used to assess normality, while Bartlett's test was used to evaluate homogeneity of variances. To determine significant differences among treatments, Kruskal-Wallis tests were applied, followed by post-hoc analysis using the Mann-Whitney test. All statistical tests were performed using the stats package in R, and the Principal Component Analysis (PCA) was conducted using the factextra package (Kassambara, 2017). All analyses were performed using R statistical software, version 3.5.3. (R Core Team, 2021).

Results and discussion

According to Núñez *et al.* (2021), the dynamic and interactive nature of soil processes prevents a single, direct relationship between functions and indicators, as multiple properties can influence several attributes simultaneously. Consequently, each EF technique used, despite having a specific function, can impact multiple soil indicators. These variations provide a comprehensive perspective on soil development, which is essential for understanding its appropriate management.

This research aimed to determine whether the application of EF techniques significantly affects soil quality. Each parameter was analyzed using univariate and multivariate statistical methods, including PCA, to identify tendencies and statistically significant changes ($p < 0.05$). Significant differences are denoted by superscript letters in the tables and explained in the corresponding footnotes.

The results from Table 2 show increases in organic carbon (OC), total nitrogen (N), and available phosphorus (P) throughout then ten months of EF-technique application. Organic carbon increased progressively in all three plantations (in C0A from 4.6 % to 9.0 %, in C2A from 9.0 % to 17.4 %, and in C4A from 10.3 % to 17.1 %). Similarly, total nitrogen increased from 0.3 % to 0.5 % in C0A, from 0.4 % to 0.9 % in C2A, and from 0.5 % to 0.9 % in C4A. Available phosphorus also showed significant increases: from 22.1 ppm to 47.5 ppm in C0A, from 9.3 ppm to 40.4 ppm in C2A, and from 17.8 ppm to 45.7 ppm in C4A. All increases were statistically significant and may be attributed to fertilization with organic amendments, which is consistent with the findings of Yan *et al.* (2018). Additionally, the initial values of OC show that older coffee plantations tend to have higher OC content.

When organic fertilizers are used regularly, there is greater availability of macronutrients such as nitrogen and phosphorus due to the medium and long-term increase in the content of organic matter (OM), which positively affects nutrient availability in the soil

(Velasco Orea *et al.*, 2023). Approximately 98 % of the N present in soil originates from organic compounds; therefore, the nitrogen content is closely linked to the soil's OM content (Quisimalin *et al.*, 2024).

In line with this, a comparison of the initial and final nitrogen content in the soils revealed significant increases across all coffee plantations, despite some fluctuations over time, which may be related to seasonal climate dynamics in the study place. During periods with higher precipitation, such as in September (month 6), nitrogen losses due to leaching are more likely, particularly in younger coffee plantations where root systems are less developed. Mastrocicco *et al.* (2019) demonstrated that intense rainfall events significantly increase nitrogen leaching, particularly in soils with limited plant uptake. This may explain the temporary decreases in total nitrogen observed in this study, followed by recoveries during drier or more moderate rainfall periods, when mineralization of organic matter resumes and nutrient retention improves.

The addition of OM may increase plants' phosphorus uptake by decreasing the apparent density and increasing the porosity, which in turn enhances root development and their nutrient intake efficiency. This may also contribute to the observed changes in available phosphorus, which showed a significant increase across all coffee plantations as the application of EF techniques went on, with similar behavior observed regardless of plantation age. In this sense, Guillén *et al.* (2020) explain that the organic phosphorus pool in soil increases due

to OM, and some compounds can mineralize during their decomposition, having a significant influence on the availability of P in soil for future crops.

Regarding macronutrients, Álvarez Moreno (2019) affirms that there is a positive correlation between nitrogen and phosphorus, where nitrogen may play a critical role in the assimilation of phosphorus, enhancing plant absorption capacity. This fact may explain the increase in the values of these two macronutrients in the present study.

The physicochemical indicators also made it possible to compare the three coffee plantations of different ages. This comparison revealed that both OC and CEC levels were generally higher in older plantations, confirming the findings of Calixto and Kheffnir (2014), who reported a positive correlation between soil development and the longevity of perennial crops. In this study, the average CEC in the youngest plantation (C0A) was 27.6 cmol(c)·kg⁻¹, while values in older plantations reached 42.0 cmol(c)·kg⁻¹ (in C2A), and 45.5 cmol(c)·kg⁻¹ (in C4A). Similarly, OC values in C0A peaked at 9.0 %, whereas they reached 17.4 % and 17.1 % in C2A and C4A, respectively. These results highlight the relationship between plantation age and the accumulation of organic matter and key soil fertility indicators.

In contrast, pH values showed a statistically significant decrease in all plots (from 6.7 to 5.7 in C0A, from 5.5 to 5.1 in C2A, and from 6.4 to 5.9 in C4A) throughout the months of application of the EF techniques. Beltrán (2024) states that the high content of OM in soils leads to greater presence

Table 2. Physicochemical parameters for the three coffee plantations

CP	Month	pH	θg	CEC	OC	Nitrogen	Phosphorus
C0A	0	6.7a	30.3ac	27.0ac	4.6a	0.3a	22.1a
	2	5.9b	46.9b	35.0b	4.8a	0.5b	21.9a
	4	5.8c	27.4c	28.1c	5.6b	0.7b	31.5b
	6	5.7c	32.3a	22.2d	5.6b	0.3a	34.4c
	8	5.3d	48.9b	25.6a	7.7c	0.6b	34.8c
	10	5.7c	29.7ac	25.6a	9.0d	0.5b	47.5d
C2A	0	5.5a	49.0ab	35.5c	9.0a	0.4a	9.3a
	2	5.5a	67.1c	39.3ab	7.9b	0.9b	10.9a
	4	5.6b	32.2b	38.6ab	9.6c	0.7c	4.3b
	6	5.5ab	45.7a	42.0b	8.6ab	0.4a	20.3c
	8	5.8c	88.1d	41.8ab	11.4d	1.0b	42.1d
	10	5.1d	38.9ab	38.0a	17.4e	0.9bc	40.4e
C4A	0	6.4c	44.6ab	45.4a	10.3a	0.5a	17.8c
	2	6.0d	81.0c	32.5d	11.9a	0.8b	30.1a
	4	5.9a	40.3b	45.5ab	12.7a	0.4c	19.4d
	6	5.8b	56.9a	38.3c	13.5a	1.3d	27.8b
	8	5.9ab	65.6d	37.9c	13.6a	0.4ac	28.6ab
	10	5.9ab	54.1a	48.0b	17.1a	0.9b	45.7e

*Within each property, non-matching letters denote significant statistical differences ($p > 0.05$).

θg: gravimetric humidity; CEC: cation exchange capacity (in cmol(c)·kg⁻¹); OC: organic carbon (in %); N: nitrogen (in %); P: phosphorus (in ppm).

of carboxyl groups, which increases the density of deionized sites and promotes the release of H^+ ions. This release of hydronium ions from decomposing OM causes a decrease in pH, therefore, the decrease in pH values observed in this study can be attributed to the application of organic fertilizers. This can be seen in the PCA, which demonstrates an inverse relationship between soil pH and the levels of OC, N, and P. Also, when comparing the results with the literature, it is observed that the initial pH values were above the optimal range recommended for coffee cultivation, which, according to Martinez *et al.* (2019), range between 5.0 and 5.4. Throughout the period of EF technique application, soil tended to move toward this optimal range.

With regard to the biological indicators (Table 3), the results for phosphate-solubilizing bacteria in the soils did not show a consistent trend, and no significant differences were observed between the initial and tenth month of EF technique application. However, phosphate-solubilizing fungi (PSF) increased from 6.0 to 9.0 log CFU/g in C2A, and cellulolytic fungi (CF) increased from 5.6 to 9.2 log CFU/g in C4A; both increases were statistically significant. This finding aligns with the research conducted by Fernández *et al.* (2020), who established a correlation between the abundance of cellulolytic fungi and the application of organic matter (OM). Additionally, the increases in phosphate-solubilizing fungi support the findings of Rahmann *et al.* (2017), who demonstrated that the use of organic inputs positively stimulates microbial activity and promotes the mobilization of phosphorus in the soil. The authors further argue that EF techniques enhance various indicators of the biological phosphorus cycle, and that the incorporation of OM, along with the preservation of microorganisms associated with this macronutrient, helps prevent phosphorus from remaining in inorganic forms that are inaccessible to plants.

Furthermore, the increase in phosphate-solubilizing fungi may be attributed to decreased pH values, consistent with the findings of Moratto *et al.* (2005), who reported that the strains exhibiting the highest phosphorus solubilization also recorded lower pH values. They concluded that the production of organic acids is the primary mechanism employed by these microorganisms for the solubilization of phosphates, and that pH is inversely related to the amount of phosphorus solubilized by phosphate-solubilizing fungi. On the other hand, cellulolytic bacteria showed no single trend in relation to the time of the technique application; in contrast, cellulolytic fungi showed an increasing statistically significant tendency throughout the months of application of EF techniques, which is corroborated by Fernández *et al.* (2020), who, based on the results of their research, suggest that the application of organic matter and biological preparations favors the proliferation of cellulolytic fungi.

Table 3. Microorganisms count in the three coffee plantations

CP	Month*	PSB	PSF	CB	CF	NB
C0A	0	6.6a	6.4b	6.9b	6.7b	10.0a
	2	6.0b	6.1c	7.3c	8.8a	8.6b
	4	7.9c	8.8a	6.4a	8.9a	7.9c
	6	7.5d	8.7a	5.2d	8.7c	8.7b
	8	7.0e	5.1d	8.3e	9.6d	7.5d
	10	5.7f	9.2e	6.5a	9.8e	10.0a
C2A	0	7.2a	6.0a	6.5b	7.8c	9.7a
	2	5.9b	7.1b	6.3c	5.1d	6.6b
	4	7.8c	8.6c	5.4a	7.7a	7.8c
	6	6.4d	8.7d	6.1a	7.6a	9.5d
	8	4.8e	5.7e	7.8d	9.2b	7.2e
	10	7.4a	9.0f	7.5e	9.5b	9.8f
C4A	0	7.1a	6.0a	7.8c	5.6a	9.8b
	2	5.1b	6.2a	8.1a	5.9b	5.5c
	4	7.7c	7.7b	5.2b	7.3c	7.8d
	6	6.4d	8.6c	5.2b	6.4d	9.5a
	8	7.0a	4.9d	8.0a	9.5e	9.6e
	10	7.0a	8.8e	5.8d	9.2f	9.5a

*Month of application of EF techniques. PSB: phosphate solubilizing bacteria; PSF: phosphate solubilizing fungi; CB: cellulolytic bacteria; CF: cellulolytic fungi; NB: nitrogen fixing bacteria. The units of the microorganism counts are in log (CFU/g). Within each property, non-matching letters denote significant statistical differences ($p > 0.05$)

Regarding the results of the enzymatic activity (Table 4), a statistically significant decrease was observed only in β -glucosidase activity over the ten-month period. In the youngest plantation (C0A), β -G dropped from 55.8 to 10.7 $\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot \text{h}^{-1}$, while in C2A, it dropped from 40.8 to 10.2 $\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot \text{h}^{-1}$, and in C4A, from 30.9 to 6.3 $\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot \text{h}^{-1}$. This trend was statistically significant ($p > 0.05$) and was further supported by the multivariate analysis (Figure 1), which highlights the relationship between this enzyme and soil pH. These results are consistent with Naranjo Pérez (2019), who stated that soil acidity can influence the enzymatic activity, and that, in general, enzymatic activity increases when soil acidity decreases—that is, as pH increases.

Multivariate analysis

The principal component analysis (PCA) integrates data from all parameters analyzed across the three plots, covering the period from month zero to month ten of EF technique application. The cumulative variance of the PCA is 71.1 % (Figure 1), indicating a low level of stress in the analysis. The PCA shows that, by the last month of application of the EF techniques, there is an increase in the levels of phosphorus, organic carbon, cellulite fungi, and nitrogen. This trend is inversely related to the behavior of soil pH, highlighting significant changes in soil indicators after the application of EF techniques.

Table 4. Enzyme activity in the three coffee plantations

CP	Month	P	U	Ac. P	Ak. P	β-G
COA	0	4.5ab	2.36ac	82.2a	45.8a	55.8a
	2	1.5b	5.88b	82.2a	139.0b	55.5abcd
	4	1.1abc	2.08ac	36.9ab	42.6ab	2.5c
	6	0.0c	8.84cb	71.2ab	107.8b	5.1bc
	8	7.8a	4.01b	39.8ab	59.1ab	20.1d
	10	8.1a	3.05a	149.7a	79.9ab	10.7b
C2A	0	2.6ab	6.42ab	86.9abc	145.0ac	40.8e
	2	1.4ab	4.00b	346b	38.8bcd	14.3abcd
	4	2.0ab	1.65a	339.6d	472.9e	2.5b
	6	4.9a	8.33ab	179.6ac	132.4c	14.7c
	8	1.5ab	2.93b	30.3b	17.8d	19.4d
	10	0.8b	7.86ab	129.9ac	82.5abc	10.2a
C4A	0	7.3a	5.61c	43.7ab	34.0a	30.9c
	2	1.5b	5.69a	20.1b	22.5a	16.0d
	4	2.0b	3.21d	83.0abc	88.7b	7.5a
	6	1.1b	1.27ab	132.6c	53.4ab	7.1ab
	8	6.3a	1.25b	77.7ac	28.2a	8.8a
	10	6.3a	1.60b	57.5ab	30.2a	6.3b b

P: protease activity (in $\mu\text{g tyr} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot 2\text{h}^{-1}$); U: urease activity (in $\mu\text{g N} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot 2\text{h}^{-1}$); Ac. P: acid phosphatase; Ak. P: alkaline phosphatase; β-G: β-Glucosidase. The activity of the last three enzymes is expressed in $\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot \text{h}^{-1}$. Within each property, non-matching letters denote significant statistical differences ($p > 0.05$)

Other inverse relationships were observed between cellulolytic bacteria and gravimetric humidity, and solubilizing bacteria and alkaline phosphatase activity. Direct correlations were found between cellulolytic bacteria and gravimetric humidity, phosphorus and nitrogen, the enzymatic activity of acid phosphatase and urease, and cellulolytic fungi and organic carbon.

From this analysis, it is possible to establish a correlation between the decrease in pH and the increase in cellulolytic fungi. This relationship is reinforced by the fact that fungi have a greater capacity to proliferate at acidic pH levels, whereas bacteria exhibit a lower tolerance to such conditions (pH = 6-7.5). Therefore, they develop better in soils with neutral and basic pH values (Rojas Rivero, 2024). This is also confirmed in Table 2, where initial measurements showed higher bacterial counts than fungi for a functional group; however, over time, fungi became predominant.

Finally, the influence of EF techniques on soil quality is evident, as shown by the significant increases in soil carbon, nitrogen, and phosphorus content, along with the abundance of phosphate-solubilizing and cellulolytic fungi. A notable decrease in the pH and β-glucosidase activity was also observed. While the reduction in pH suggests an environment favorable to certain microbial processes

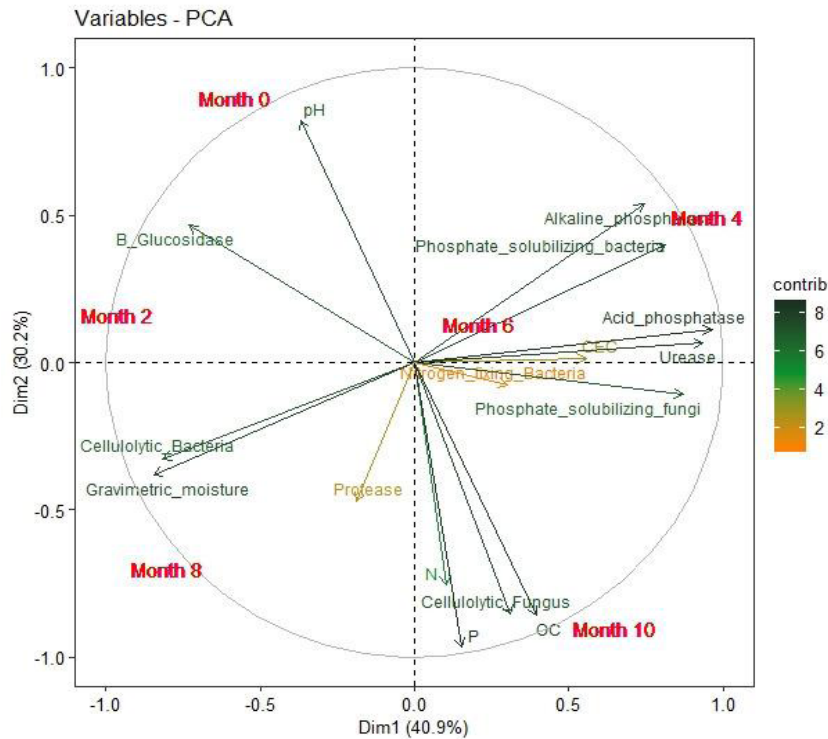


Figure 1. Principal component analysis for the three coffee plantations.
N: nitrogen; P: phosphorus; OC: organic carbon; CEC: cation exchange capacity.

and organic matter mineralization, it is important to note that it could also lead to the loss of essential base cations, potentially affecting long-term soil fertility. These findings highlight how the correct and consistent use of ecological farming resources produces significant changes in soil quality, reflecting a shift in nutrient dynamics due to the replacement of agrochemicals with ecological inputs.

Conclusions

The research findings revealed that the application of EF techniques positively influenced various parameters of agricultural soil quality, including organic carbon, available phosphorus, total nitrogen, and the abundance of phosphate-solubilizing and cellulolytic fungi. Additionally, a significant trend was observed in β -glucosidase activity. These improvements occurred regardless of the age of the coffee plantation, suggesting that EF techniques can offer broad benefits across different stages of crop establishment.

Based on the study, it can be concluded that EF techniques effectively modify microbial and enzymatic activities in the soil. However, predicting their response to different stimuli remains challenging due to the complexity of their nature and their interactions within the soil environment.

In summary, this research provides evidence of the positive impact of EF techniques on agricultural soil quality parameters. The improvements observed in organic carbon, available phosphorus, total nitrogen, and the abundance of phosphate-solubilizing and cellulolytic fungi, as well as the decrease in β -glucosidase activity and soil pH, highlight the complex nature of soil biochemical responses to organic amendments. While microbial abundance and nutrient availability were enhanced, enzymatic activity showed greater variability, reflecting the influence of pH, organic matter quality, and environmental conditions.

This research contributes to the understanding of how EF techniques influence the biological and chemical functioning of agricultural soils, while also emphasizing the complexity of soil systems. It also highlights the need for further investigation to better understand their behavior under varying conditions.

Acknowledgments

This research was financed by the Universidad Libre (Bogotá) as part of the Project Code 11030132, titled “Response of quality indicators and sustainable soil management regarding the application of ecological agriculture techniques in coffee plantations under different environmental contexts in Colombia”. The authors would like to thank Ms. Mercedes Zambrano

and Mr. Julián Castellanos for their support in the development of this research.

References

- Álvarez Moreno, M. G. (2019). *Estequiometría ecológica de carbono, nitrógeno y fósforo y su reabsorción en hojas de especies de plantas del desierto sonorense* [Master's thesis]. Universidad de Sonora. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/6660>
- Avellaneda-Torres, L. M., Guevara Pulido, C. P., & Torres Rojas, E. (2014). Assessment of cellulolytic microorganisms in soils of Nevados Park, Colombia. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(4), 1211–1220. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000400011>
- Avellaneda-Torres, L. M.; León-Sicard, T. E. and Torres-Rojas, E. (2018). Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of Neotropical high Andean Páramo ecosystem soils. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1600–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.137>
- Avellaneda-Torres, L. M.; León-Sicard, T.; Guerra-Castro, E. and Torres-Rojas, E. (2020). Potato cultivation and livestock effects on microorganism functional groups in soils from the neotropical high Andean Páramo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0190122. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190122>
- Basantes Cárdenas, D. R. and Lemache Rivera, J. F. (2023). *Evaluación de la calidad del suelo mediante el uso de indicadores edáficos en las estercoleras de las vicuñas ubicadas en la reserva de producción de fauna Chimborazo* [Research work]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21335>
- Beltrán, J. G. (2024). *Cultivo orgánico de tres especies medicinales nativas del Valle de México: Asclepias curassavica L., Agastache mexicana (Kunth) Lint & Epling y Agave tuberosa (L.) Thiede & Eggl* [Doctoral dissertation]. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000850891/3/0850891.pdf>
- Bernal Figueroa, A. A. and Forero Ulloa, F. E. (2014). Evaluation of plant species for use in the control of acid sulfated soils in Paipa, Boyacá. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 229–236. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num2_art:362
- Calixto, L. and Kheffinir, X. (2014). *Carbono almacenado en la biomasa aérea por gradiente altitudinal en plantaciones de café (Coffea arabica) en el Distrito de Hermilio Valdizán* [Master's thesis]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://library.co/document/y91929rq-universidad-nacional-facultad-naturales-renovables-departamento-acad%C3%A9mico-ambientales.html>
- Chávez-Caiza, J. P. and Burbano-Rodríguez, R. T. (2021). Climate change and agro-ecological, organic and conventional production systems in the Cantons of Cayambe and Pedro Moncayo. *Letras Verdes - Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 29, 149–166. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4751>
- Domené-Painenao, O. and Herrera, F. F. (2022). La agroecología en Venezuela, una historia por contar. In O. Domené-Painenao and F. F. Herrera (Eds.), *Agroecologías insurgentes en Venezuela. Territorios, luchas y pedagogías en revolución*. Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología (MINCYT). https://www.researchgate.net/publication/360574371_Introduccion_La_agroecologia_en_Venezuela_una_historia_por_contar

- García Galvis, J. and Ballesteros, M. (2006). Quality parameters evaluation for the determination of available phosphorous in soils. *Revista Colombiana de Química*, 35(1), 81-89. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/840/1337>
- Guillén, S. C.; Grancelli, S. M.; Corbella, R. D.; Canelada-Lozzia, M. I.; Vidal, J. P. and Plasencia, A. (2020). Alert indexes for the sustainable management of chemical fertility in agrosystem with soybean-wheat sequence and direct sowing in Tucumán, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 40(2), 107-110. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2020000200107&lng=es&nrm=iso
- Fernández, A.; Perdomo, L. P. and Avellaneda-Torres, L. M. (2020). Effect of management (ecological and conventional) on functional groups of soil microorganisms in coffee agroecosystems with different resilience to climate variability, Colombia. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 42(2), e48620. <https://www.redalyc.org/journal/1871/187163790018/html/>
- FONCODES. (2014). *Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus*. Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES). <https://issuu.com/bleu.veris/docs/foncodes>
- IGAC. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6th ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- IGAC. (2017). *Mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000. Datos abiertos agrología*, Departamento de Cundinamarca, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- Intini, J.; Jacq, E. and Torres, D. (2019). *Transformar los sistemas alimentarios para alcanzar los ODS. 2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe*, n.º 12. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5130es>
- Jarquín-Sánchez, A.; Salgado-García, S.; Palma-López, D. J.; Camacho-Chiu, W. and Guerreto-Peña, A. (2011). Analysis of total nitrogen in tropical soils with near-infrared spectroscopy (NIRS) and chemometrics. *Agrociencia*, 45(6), 653-662. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000600001&lng=es&tlng=es
- Kassambara, A. (2017). *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses* [R package]. URL <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Martínez, H. E. P.; Neves, J. C. L.; Alvarez V. V. H. and Shuler, J. (2019). Mineral nutrition and fertilization. In A. Farah (Ed.), *Coffee: production, quality and chemistry* (pp. 163-201). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782622437>
- Mastrocicco, M., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., & Castaldelli, G. (2019). Intense rainfalls trigger nitrite leaching in agricultural soils depleted in organic matter. *Science of the Total Environment*, 665, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.306>
- Moneva Roca, J. (2020). *Análisis y evaluación actual del abono tipo bocashi como alternativa ecológica ante los agroquímicos* [Master's thesis]. Universidad Miguel Hernández de Elche. <http://hdl.handle.net/11000/5930>
- Moratto, C.; Martínez, L. J.; Valencia, H. and Sánchez, J. (2005). The effect of land use on phosphate solubilising fungi and diazotrophic bacteria on the bleak uplands of páramo of Guerrero Cundinamarca department. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 299-309. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652005000200015&lng=en&nrm=iso
- Naranjo Pérez, J. M. (2019). *Actividad β -glucosidasa de un suelo de dehesa en un escenario de cambio climático* [Bachelor's thesis]. Universidad de Sevilla. <http://hdl.handle.net/10261/209604>
- Núñez, P.; Colacho, J. and Encina, A. (2021). Breve visión sobre el suelo: rol, importancia, funciones, calidad e indicadores. *Revista Agropecuaria y Forestal*, 9(1), 97-114. <https://sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/118>
- Núñez-Peñaloza, J. L.; Pérez-Nieto, J. and Prado-Hernández, J. V. (2023). Analysis of soil quality indicators and indices in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Ortega Rodríguez, A. A. M. (2023). *Propiedades físico-químicas del suelo y su influencia sobre morera (Morus alba, Linn) en arbolado de alineación y espacios verdes en los departamentos de Rivadavia, Capital y Santa Lucía, San Juan* [Master's thesis]. Universidad Nacional de San Juan. <http://huru.unsj.edu.ar/handle/123456789/337>
- Oteros-Rozas, E.; Ravera, F. and García-Llorente, M. (2019). How does agroecology contribute to the transitions towards social-ecological sustainability? *Sustainability*, 11(16), 4372. <https://doi.org/10.3390/su11164372>
- Quisimalin, A.; Cazorla, X.; Ortega, M.; Quintuña, P. and Cornejo, J. (2024). Soil evaluation through quality indicators. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 3(2), 55-71. <https://doi.org/10.18502/espoch.v4i1.15801>
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rahmann, G.; Reza Ardakani, M.; Bärberi, P.; Boehm, H.; Canali, S.; Chander, M.; David, W.; Dengel, L.; Erisman, J. W.; Galvis-Martínez, A. C.; Hamm, U.; Kahl, J.; Köpke, U.; Kühne, S.; Lee, S. B.; Løes, A. K.; Moos, J. H.; Neuhof, D.; Nuutila, J. T.; Olowe, V.; Oppermann, R.; Rembiałkowska, E.; Riddle, J.; Rasmussen, I. A. and Zanolli, R. (2017). Organic Agriculture 3.0 is innovation with research. *Organic Agriculture*, 7, 169-197. <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0171-5>
- Rennie, R. J. (1981). A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. *Canadian Journal of Microbiology*, 27(1), 8-14. <https://doi.org/10.1139/m81-002>
- Rocha Aldana, E. T. (2017). *Formulación del plan municipal de gestión del riesgo de desastres municipio de San Francisco Cundinamarca* [Doctoral thesis]. Universidad de Cundinamarca. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/620/Autorizacion%20Repositorio%20Institucional0001.pdf?sequence=1>
- Rodríguez Albarracín, H. S. (2017). *Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca* [Doctoral dissertation]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62944>
- Rojas Rivero, J. M. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de compostaje de lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Empresa LAFAR SA* [Doctoral dissertation]. Universidad Mayor de San Andrés. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/35768>
- Román, P.; Martínez, M. M. and Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Shukla, A.; Panchal, H.; Mishra, M.; Patel, P. R.; Srivastava, H. S.; Patel, P. and Shukla, A. K. (2014). Soil moisture estimation using gravimetric technique and FDR probe technique: A comparative analysis. *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*, 8(1), 89-92.

- Sundara Rao, W. V. B., & Sinha, M. K. (1963). Phosphate dissolving micro-organisms in the soil and rhizosphere. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 33(4), 272-278.
- Tajik, S.; Ayoubi, S. and Lorenz, N. (2020). Soil microbial communities affected by vegetation, topography and soil properties in a forest ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 149, 103514. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103514>
- Tencio, R. (2015). *Reproducción y aplicación de los microorganismos de montaña (MM) en la actividad agrícola y pecuaria*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Región Central Oriental. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1847.pdf>
- Vela, G.; López, J. and Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 77, 18-30. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a3.pdf>
- Velasco Orea, J. C.; Sandoval Rangel, A.; Díaz Vázquez, F. A.; Camposeco Montejó, N. and Cabrera de la Fuente, M. (2023). *Liberación de lones de la gallinaza aplicada al suelo cultivado con chile habanero* [Bachelor's Thesis]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49802>
- Vélez, A.; Vera, M.; Valdez, S.; Martínez, D. and Cutipa, F. (2024). Methods to determine enzymatic activity in contaminated soils. *South Sustainability*, 5(1), e092. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/1692>
- Yan, Z.; Chen, S.; Dari, B.; Sihi, D. and Chen, Q. (2018). Phosphorus transformation response to soil properties changes induced by manure application in a calcareous soil. *Geoderma*, 322, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.035>.

Efecto de fitohormonas sintéticas y un extracto vegetal en el cultivo *in vitro* de *Fragaria x ananassa* Duch.

Effect of phytohormones and a plant extract on *in vitro* culture of *Fragaria x ananassa* Duch.

Stefanía Giselle Venegas Tarancón ^{1,2,3}, María Victoria Usandivaras ^{1,4}, Alicia Inés Mamani de Marchese ^{1,5},
María Paula Filippone ^{1,2,6}.

¹Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina. ²Consejo Nacional de Investigaciones científicas y técnicas. Tucumán, Argentina.

³ ✉ svtarancon92@gmail.com; ⁴ ✉ victoriausandivara@gmail.com; ⁵ ✉ al_mam@yahoo.com.ar; ⁶ ✉ paulafilippone2018@gmail.com



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.113496>

2024 | 73-2 p 143-150 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-03-15 Acep.: 2025-05-04

Resumen

Las hormonas sintéticas son las más comúnmente empleadas en el cultivo de tejidos vegetales, sin embargo, las fuentes naturales de reguladores de crecimiento son una alternativa poco extendida y estudiada. En este trabajo se evaluó el efecto de diferentes fitohormonas sintéticas y de un extracto de hojas de frutilla (EHF) en la implantación de ápices meristemáticos y en la capacidad para estimular el desarrollo *in vitro* de plantas completas del cultivar Camino Real de *Fragaria ananassa*. Para la implantación de meristemas se utilizó el medio MS (Murashige y Skoog) suplementado con bencilaminopurina (BAP), ácido indolbutírico (AIB), ácido giberélico (AG) y el EHF. Una implantación de ápices del 100 % se obtuvo en los tratamientos con AG aplicados individualmente (0.1 y 0.05 mg·L⁻¹), así como en las combinaciones AG 0.1 mg·L⁻¹+BAP 0.5 mg·L⁻¹ y AG 0.05 mg·L⁻¹+BAP 1 mg·L⁻¹, y con las 3 concentraciones del EHF en combinación con 0.5 mg·L⁻¹ de BAP. Los tratamientos con EHF y EHF+BAP presentaron menor porcentaje de contaminación y oxidación, respectivamente. El EHF mejoró el efecto del BAP tanto en micropropagación como en enraizamiento. El enraizamiento directo en sustrato aceleró el desarrollo de raíces y permitió obtener vitroplantas en menor tiempo.

Palabras clave: compuestos fenólicos, frutilla, hormonas vegetales, meristema, micropropagación.

Abstract

Synthetic hormones are commonly used in plant tissue culture, but natural sources of growth regulators are a less studied alternative. This study evaluated the effect of different synthetic phytohormones and a strawberry leaf extract (EHF) on the implantation of meristematic apices and the *in vitro* development of whole plants of the Camino Real cultivar of *Fragaria ananassa*. Meristem implantation was carried out using MS medium (Murashige and Skoog) supplemented with benzylaminopurine (BAP), indolbutyric acid (IBA), gibberellic acid (GA), and EHF. A 100 % apex implantation rate was achieved in treatments where GA was applied individually at concentrations of 0.1 and 0.05 mg·L⁻¹. The same result was observed in the following combinations: GA (0.05 mg·L⁻¹) + BAP (0.5 mg·L⁻¹), GA (0.1 mg·L⁻¹) + BAP (0.5 mg·L⁻¹), and GA (0.05 mg·L⁻¹) + BAP (1 mg·L⁻¹), as well as in all treatments combining the three concentrations of EHF with 0.5 mg·L⁻¹ of BAP. EHF improved the effect of BAP in both micropropagation and rooting. Direct rooting in the substrate accelerated root development and allowed the production of vitroplants in less time.

Keywords: Meristem, micropropagation, phenolic compounds, phytohormones, strawberry.

Introducción

La frutilla o fresa (*Fragaria x ananassa*) es uno de los *berries* con mayor valor económico a nivel mundial por su calidad organoléptica y nutricional, por lo que es un cultivo de alta relevancia en Tucumán y en Argentina en general (Tomas-Grau *et al.*, 2020). La propagación comercial es agámica a partir de estolones, lo que favorece la acumulación de patógenos sistémicos que deterioran el cultivo (Valliath y Mondal, 2023). Por ello, el saneamiento mediante el cultivo *in vitro* de las células meristemáticas es una alternativa para obtener plantas sanas, vigorosas y en grandes cantidades (Bello-Bello *et al.*, 2022). El meristema aislado se cultiva en un medio salino artificial y en condiciones especiales optimizadas para cada genotipo (Dhukate *et al.*, 2021).

La contaminación y la oxidación del explanto son factores importantes a controlar, especialmente durante las primeras etapas del cultivo *in vitro* (Neri *et al.*, 2022), aunque el éxito de esta técnica se debe a sustancias reguladoras del crecimiento o fitohormonas. Las citoquininas, las auxinas y las giberelinas son los 3 reguladores del crecimiento más utilizados (Saridaş *et al.*, 2021), y la determinación del tipo, concentración y balance resulta determinante para cada genotipo y objetivo perseguido con el cultivo *in vitro*. Como una alternativa más ecológica y económica, existen reportes del uso de fuentes naturales, como extractos vegetales o de microorganismos (Kulus y Miler, 2021). Estos pueden tener metabolitos con actividad hormonal, pero también pueden contribuir en la nutrición o en protección contra el estrés oxidativo y/o la contaminación (Nardi *et al.*, 2016).

Previamente hemos purificado e identificado metabolitos bioactivos de hojas de frutilla (*Fragaria ananassa*) con capacidad antioxidante, antimicrobiana e inductora del crecimiento vegetal. 2 de los compuestos pertenecen al grupo de los taninos hidrolizables denominados HeT y HgT (Mamani *et al.*, 2012), y el tercer compuesto es un éster de ácido graso trisacárido (SAGs) con actividad sobre la vía de respuesta a las auxinas (Grellet-Bournonville *et al.*, 2020). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de diferentes reguladores de crecimiento sintéticos y de un extracto de hojas de frutilla (EHF), en el cultivo *in vitro* de una variedad comercial de frutilla (cultivar, cv. Camino Real de *Fragaria ananassa*).

Materiales y métodos

Material vegetal y desinfección del explanto

Se colectaron estolones de 1-2 cm de plantas de la variedad Camino Real de *Fragaria ananassa*, de la colección de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de

la Universidad Nacional de Tucumán (FAZ-UNT). Los estolones fueron lavados con agua corriente (10 min), y desinfectados con 70 % (v/v) de etanol (1 min), 5 % de hipoclorito de sodio (5 min), y 3 enjuagues con agua destilada estéril.

Obtención del EHF

La preparación del EHF se realizó de acuerdo con Grellet-Bournonville *et al.*, (2021); 10 g de hojas secas molidas se maceraron con 100 ml de metanol 80 % (v/v), durante 24 h a 25 °C y en agitación. El homogenato hidroalcohólico se filtró y se concentró en un evaporador rotatorio al vacío a 50 °C. El extracto concentrado fue mantenido a 4 °C hasta el momento de su utilización. Posteriormente, fue diluido con agua destilada estéril de acuerdo con las concentraciones utilizadas.

Implantación

Los medios utilizados se prepararon a partir de medio basal MS (Murashige y Skoog, 1962) con vitaminas y mioinositol (Neolab, Argentina), sacarosa 30 g.L⁻¹ y phytigel 4 g.L⁻¹ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), pH 5.8. Los medios fueron suplementados con bencilaminopurina (BAP), ácido giberélico (AG), ácido indol-butírico (AIB) y el extracto vegetal de hojas de frutilla (EHF). Los meristemas apicales se sembraron en tubos de vidrio de 40 cc y fueron mantenidos en condiciones controladas (25±2 °C, 16 hs de luz, de 45 µ mol.m⁻²s⁻¹). A las 4 semanas se evaluó: contaminación (%), oxidación (%), implantación (%), coloración, diámetro (< de 0.5 cm, entre 0.5 y 1 cm, > a 1 cm) y morfología del brote.

El índice de verdor se midió utilizando un medidor de clorofila Minolta SPAD-502 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japón), estos datos se expresaron como valores SPAD (valor numérico proporcional a la cantidad de clorofila en la hoja), tomando 10 hojas por tratamiento y con 3 repeticiones. La intensidad de color se clasificó en 3 categorías (pálido, medio e intenso), para los valores de SPAD menores de 40, entre 40 y 50 y mayores de 50, respectivamente. Para la evaluación de la morfología del brote se establecieron 2 categorías: *normal* y *fuera de tipo*. En la primera se ubicaron aquellos brotes con la morfología tipo de la especie y un crecimiento homogéneo, y en la segunda, brotes con crecimiento fuera de tipo, como hojas deformadas o desarrollo no uniforme en altura y diámetro (Figura 1).

Tratamientos

Ensayo 1. Bencilaminopurina (BAP): 0.5, 1 y 2 mg.L⁻¹.

Ensayo 2. Ácido giberélico (AG): 0.05 y 0.1 mg.L⁻¹, solo y en combinación con BAP 0.5, 1 y 2 mg.L⁻¹.

Ensayo 3. Ácido indol-butírico (AIB): 0.05, 0.2 y 0.5 mg.L⁻¹, solo y en combinaciones con BAP 0.5 mg.L⁻¹.

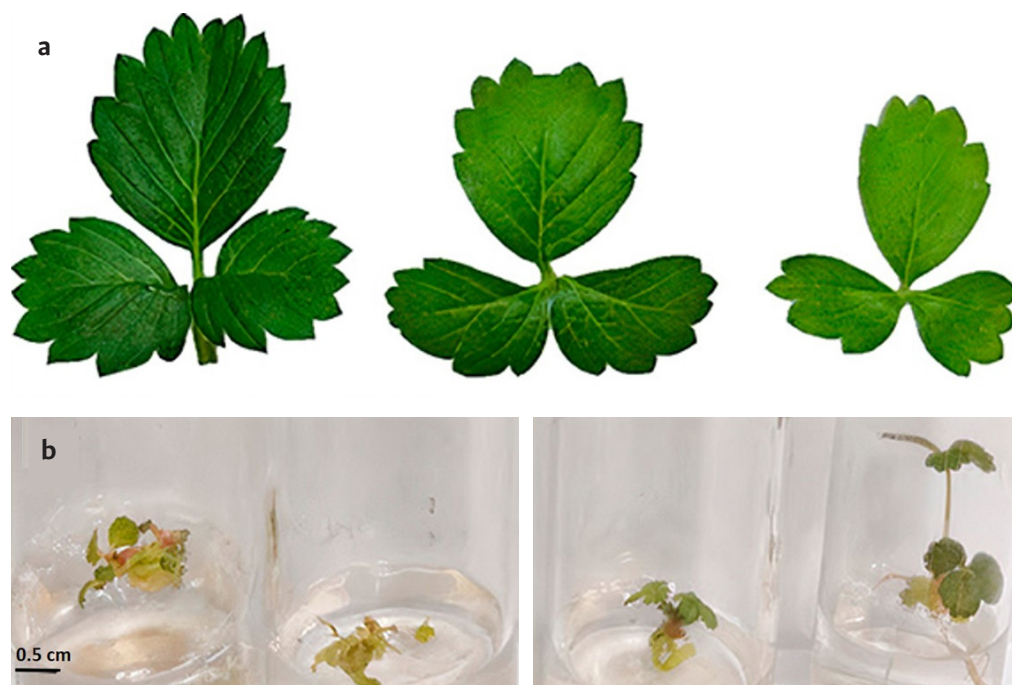


Figura 1. a. Escala de color intenso, normal, pálido (de izquierda a derecha). b. Escala de desarrollo: fuera de tipo (izquierda) y normal (derecha). La barra en la parte inferior izquierda corresponde a 0.5 cm de longitud.

Ensayo 4. Extracto de hojas de frutilla (EHF): 0.01, 0.1 y 1 mg.PF.mL⁻¹, solo y en combinación con 0.5 mg.L⁻¹ de BAP. Se implantaron 10 meristemas por tratamiento con 3 réplicas.

Multiplicación

Se evaluaron medios que consistieron en el medio basal MS, suplementado con 0.5 mg.L⁻¹ de BAP (M1) y 0.5 mg.L⁻¹ de BAP+ 0.05 mg.L⁻¹ de AG (M2). Se realizaron 3 ciclos de multiplicación cada 4 semanas de cultivo. Se evaluó altura y número de brotes.

Enraizamiento

El enraizamiento se realizó en: 1- en medio de cultivo *in vitro* con sales MS diluidas al 50 %, sacarosa 15 g.L⁻¹ y phytagel 4 g.L⁻¹ con el agregado de 0.75 mg.L⁻¹ de AIB y sin AIB; y 2- en sustrato estéril (*ex vitro*) (GrowMix Multipro, Terrafertil, Argentina). Los parámetros evaluados fueron: brotes enraizados, número y longitud de raíces, número de hojas, altura de plántula y días a rusticación.

Aclimatación y rusticación

Los brotes enraizados *in vitro* se colocaron en sustrato estéril (GrowMix Multipro, Terrafertil, Argentina), protegidos con la cobertura plástica para su aclimatación durante 10 días. En ambos casos las vitroplantas fueron mantenidas en condiciones controladas de 24 °C, 70 % de HR, 16 h de luz.

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA) y posteriormente se aplicó la prueba de separación de medias mediante Test de Tukey a $\alpha = 0.05$, utilizando el software informático Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Resultados

Implantación de meristemas de frutilla

a. Efecto de hormonas sintéticas

El número de meristemas implantados fue inversamente proporcional a la concentración de BAP (0.5, 1 y 2 mg.L⁻¹). El 100 % de los brotes desarrollados con BAP 0.5 mg.L⁻¹ presentaron morfología normal y cerca del 60 % un diámetro mayor a 0.5 cm, mientras que el 100 % de los brotes en BAP 2 mg.L⁻¹ presentaron morfología fuera de tipo, presencia de callos (Tabla 1) y el 51.1 % resultó inferior a 0.5 cm de diámetro (Tabla 2). En los ensayos con AG, ambas concentraciones aplicadas individualmente y las combinaciones de AG 0.1 mg.L⁻¹+BAP 0.5 mg.L⁻¹ y AG 0.05 mg.L⁻¹ y BAP 1 mg.L⁻¹ lograron un 100 % de implantación (Tabla 1).

Los tratamientos con AG 0.05 mg.L⁻¹ y la combinación AG 0.05 mg.L⁻¹ y BAP 1 mg.L⁻¹ presentaron el mayor porcentaje de brotes color verde intermedio y desarrollaron brotes de mayor

Tabla 1. Efecto de diferentes concentraciones de hormonas/extracto vegetal (EHF) en la implantación de brotes y la proliferación de callos del cv. Camino Real de *Fragaria ananassa*

T	E	Hormonas/ Extracto	Implantación (%)	Presencia de callos (%)
T1	E1	BAP 0	68 ^C	0 ^B
T2	E1	BAP 0.5	89.10 ^A	0 ^B
T3	E1	BAP 1	73.74 ^B	0 ^B
T4	E1	BAP 2	66.21 ^C	100 ^A
T5	E2	AG 0.05	100 ^A	0 ^A
T6	E2	AG 0.1	100 ^A	0 ^A
T7	E2	BAP 0.5+AG 0.05	90.90 ^C	0 ^A
T8	E2	BAP 0.5+AG 0.1	100 ^A	0 ^A
T9	E2	BAP 1 + AG 0.05	100 ^A	0 ^A
T10	E2	BAP 1+AG 0.1	92.90 ^B	0 ^A
T11	E2	BAP 2 + AG 0.05	90.90 ^C	0 ^A
T12	E2	BAP 2 + AG 0.1	88.20 ^D	0 ^A
T13	E3	AIB 0.05	71.40 ^A	100 ^A
T14	E3	AIB 0.2	42.90 ^C	100 ^A
T15	E3	AIB 0.5	57.10 ^B	100 ^A
T16	E3	BAP 0.5 + AIB 0.05	14.30 ^D	100 ^A
T16	E3	BAP 0.5 + AIB 0.2	71.40 ^A	100 ^A
T17	E3	BAP 0.5 + AIB 0.5	14.30 ^D	100 ^A
T18	E4	EHF 1	81.78 ^D	0 ^A
T19	E4	EHF 0.1	88.89 ^C	0 ^A
T20	E4	EHF 0.01	94.12 ^B	0 ^A
T21	E4	BAP 0.5+EHF 1	100 ^A	0 ^A
T22	E4	BAP 0.5+EHF 0.1	94.44 ^B	0 ^A
T23	E4	BAP 0.5+EHF 0.01	100 ^A	0 ^A

T: tratamientos evaluados y E: ensayos realizados. El análisis estadístico se realizó por ensayos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

tamaño. Morfológicamente se observó menor proliferación de brotes y desarrollo de raíces en los tratamientos solo con AG, mientras que en la combinación con BAP se produjo una multiplicación masiva de brotes, con una estructura “arrosetada” típica de la frutilla (Tabla 2).

En el medio adicionado con AIB los porcentajes superiores de implantación fueron con AIB 0.05 mg.L⁻¹ y la combinación AIB 0.2 mg.L⁻¹+BAP 0.5 mg.L⁻¹, lo cual alcanzó un 71.4 % en ambos casos (Tabla 1). En las tres concentraciones de AIB el 100 % de los brotes presentó una coloración verde pálida y, además, en la mayor concentración (0.5 mg.L⁻¹), el 100 % de los brotes presentó una morfología fuera de tipo y desarrollo de brotes mayor o igual a 1 cm (Figura 2). En todos los tratamientos con AIB y AIB+BAP se produjo desarrollo de callos, y a excepción de AIB 0.2+BAP 0.5 mg.L⁻¹, los brotes fueron iguales o menores a 1 cm (Tabla 2).

b. Efecto de un extracto de hojas de frutilla (EHF)

Los porcentajes de implantación fueron inversos a la concentración del extracto, desde 94.12 a 81.78 % para 0.01 y 1 mg.PF.mL⁻¹, respectivamente, lo que se incrementó en todos los casos en la combinación con 0.5 mg.L⁻¹ de BAP (Tabla 1). En el medio suplementado solo con EHF, se obtuvieron brotes más pequeños, pero con morfología normal en comparación con la combinación con BAP (Tabla 2).

En los tratamientos con EHF (solo y en combinación con BAP) no se observó contaminación, comparado con el ensayo con BAP, en el que se produjo entre un 5.41 y 10.53 % de contaminación. El porcentaje de explantos oxidados fue del 5.88 %, 11.11 % y 18.75 %, para las concentraciones de 0.01, 0.1 y 1 mg. PF.mL⁻¹, respectivamente. Estos valores de oxidación fueron similares a los observados en el ensayo solo con BAP, pero superiores a los observados en BAP + EHF (Tabla 3).

Multiplicación

En función de los resultados obtenidos en la etapa de implantación de meristemas, se seleccionaron los brotes implantados en los medios con BAP 0.5; BAP 0.5 + EHF 0.01 y EHF 0.01. A las 4 semanas de cultivo, los brotes que provenían de implantación en EHF+BAP generaron mayor número de brotes en los 2 medios de multiplicación evaluados, sin presentar diferencias significativas entre los medios de multiplicación (Tabla 4).

Enraizamiento y rusticación

Para evaluar el enraizamiento se tomaron los brotes del medio BAP 0.5 mg.L⁻¹ manteniendo el origen de implantación (BAP, BAP+EHF y EHF), sin considerar los tratamientos. A las 4 semanas, el enraizamiento en sustrato directo fue del 100 %, independientemente del origen del brote, mientras que en los medios con AIB el enraizamiento fue bajo. En sustrato, el número de raíces y la longitud del sistema radicular fue superior y el inicio del enraizamiento fue más rápido que en el medio *in vitro* (Tabla 5). En ambos sistemas de enraizamiento, la longitud y número de raíces por brote fue superior en los brotes con EHF (solo y con BAP). El número de hojas y altura de plantas también resultaron superiores en los brotes enraizados en sustrato (Figura 3). La aclimatación de las vitroplantas fue superior al 95 %, en un lapso promedio de 10 días.

Discusión

El tipo, concentración y combinación de fitohormonas más adecuada para la propagación *in vitro* debe ser determinado para cada genotipo. La bibliografía destaca la importancia de las fitohormonas, en

Tabla 2. Efecto de diferentes concentraciones de hormonas/extracto vegetal (EHF) en el desarrollo de los brotes del cv. Camino Real de *Fragaria ananassa*

T	E	Color de brote			Diámetro de brote (cm)			Morfología del brote	
		P	N	I	>1	1-0.5	<0.5	Normal	Fuera de tipo
T1	E1	88 ^B	0 ^C	11 ^A	0 ^C	35.50 ^C	64.50 ^A	77.77 ^B	22.22 ^B
T2	E1	40 ^D	60 ^A	0 ^B	9.10 ^B	59 ^A	31.90 ^D	100 ^A	0 ^C
T3	E1	100 ^A	0 ^C	0 ^B	27.30 ^A	34.10 ^C	38.60 ^C	100 ^A	0 ^C
T4	E1	50 ^C	50 ^B	0 ^B	0 ^C	48.90 ^B	51.10 ^B	0 ^C	100 ^A
T5	E2	29.40 ^F	70.60 ^A	0 ^B	35.30 ^B	17.60 ^G	47 ^B	64.70 ^D	35.30 ^B
T6	E2	60 ^D	30 ^D	10 ^A	10 ^F	20 ^F	70 ^A	90 ^B	10 ^D
T7	E2	70 ^C	30 ^D	0 ^B	30 ^D	30 ^E	40 ^C	100 ^A	0 ^E
T8	E2	100 ^A	0 ^F	0 ^B	23.10 ^E	61.50 ^A	15.40 ^E	78.80 ^C	21.20 ^C
T9	E2	46.70 ^E	53.30 ^B	0 ^B	50.10 ^A	45.90 ^D	7.14 ^F	100 ^A	0 ^E
T10	E2	61.50 ^D	38.50 ^C	0 ^B	23.10 ^D	61.50 ^A	15.40 ^E	100 ^A	0 ^E
T11	E2	100 ^A	0 ^F	0 ^B	0 ^G	60 ^B	40 ^C	0 ^E	100 ^A
T12	E2	93.30 ^B	6.70 ^E	0 ^B	33.30 ^C	50.70 ^C	25 ^D	0 ^E	100 ^A
T13	E3	100 ^A	0 ^B	0 ^A	0 ^A	39.3 ^C	60.5 ^B	100 ^A	0 ^B
T14	E3	100 ^A	0 ^B	0 ^A	0 ^A	0 ^D	100 ^A	100 ^A	0 ^B
T15	E3	100 ^A	0 ^B	0 ^A	0 ^A	100 ^A	100 ^A	0 ^B	100 ^A
T16	E3	100 ^A	0 ^B	0 ^A	0 ^A	0 ^D	100 ^A	0 ^B	100 ^A
T16	E3	0 ^B	100 ^A	0 ^A	0 ^A	60.4 ^B	39.6 ^C	100 ^A	0 ^B
T17	E3	0 ^B	100 ^A	0 ^A	0 ^A	100 ^A	0 ^D	0 ^B	100 ^A
T18	E4	85.71 ^B	14.28 ^E	0 ^A	0 ^A	15.55 ^F	81.9 ^A	91.90 ^A	7.60 ^D
T19	E4	97.35 ^A	6.66 ^F	0 ^A	0 ^A	50 ^D	50 ^C	68.80 ^B	31.30 ^C
T20	E4	43.75 ^D	56.25 ^C	0 ^A	0 ^A	37.50 ^E	62.50 ^B	64.30 ^B	35.70 ^C
T21	E4	33.33 ^E	66.67 ^B	0 ^A	0 ^A	73.34 ^A	26.7 ^F	60 ^C	40 ^B
T22	E4	64.70 ^C	29.41 ^D	0 ^A	0 ^A	58.82 ^C	41.2 ^D	58.8 ^D	41.90 ^B
T23	E4	6.25 ^F	93.75 ^A	0 ^A	0 ^A	68.35 ^B	31.20 ^E	31.30 ^E	68.40 ^A

T: tratamientos; E: ensayo. Color del brote: P, pálido; N, normal e I, intenso. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

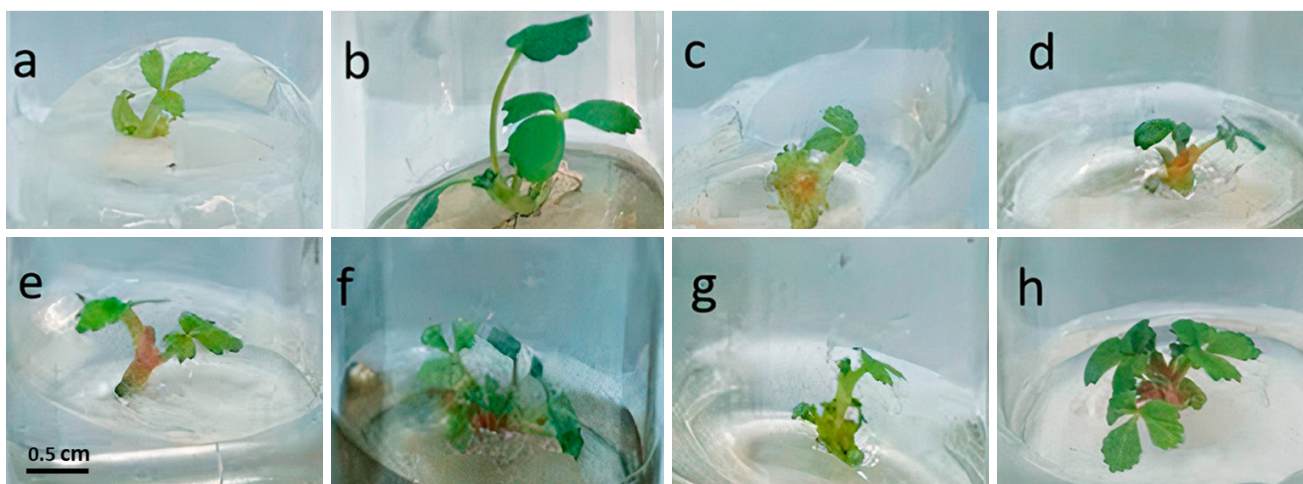


Figura 2. Efecto de un extracto vegetal (EHF) en la implantación de meristemas de estolones de frutilla. Aspecto del brote desarrollado a las 4 semanas de cultivo en medio Murashige y Skoog (MS) sin suplementar (a), suplementado con EHF1, 0.1 y 0.01 mg.PF.mL⁻¹ (b, c y d, respectivamente); 0.5 mg.L⁻¹ de 6-benzylaminopurina (BAP) (e), y BAP+EHF 1, 0.1 y 0.01 mg.PF.mL⁻¹ (f, g y h, respectivamente). La barra ubicada en extremo inferior izquierdo corresponde a 0.5 cm de longitud.

Tabla 3. Concentraciones y combinaciones de BAP y EHF (ensayos 1 y 4). Porcentajes de contaminación y oxidación

T	E	Regenerados (%)	Oxidados (%)	Contaminados (%)
T2	E1	89.19 ^B	5.41 ^D	5.41 ^A
T3	E1	78.95 ^D	15.79 ^B	5.26 ^A
T4	E1	73.68 ^D	15.79 ^B	10.53 ^B
T18	E4	78.78 ^D	18.75 ^A	0 ^A
T19	E4	88.89 ^C	11.11 ^C	0 ^A
T20	E4	94.12 ^B	5.88 ^D	0 ^A
T21	E4	100 ^A	0 ^E	0 ^A
T22	E4	94.44 ^B	1.25 ^E	0 ^A
T23	E4	100 ^A	0 ^E	0 ^A

T: tratamientos evaluados; E: ensayos considerados. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Tabla 4. Multiplicación *in vitro* de brotes del cv. Camino Real de *Fragaria ananassa*

Medio de multiplicación	Origen del brote	Brotes por explantes	Altura (cm)		
			>1	1-0.5	<0.5
	EHF	3.85 ^{ABC}	55.84 ^A	14.54 ^E	29.61 ^C
BAP (0.5 mg. L ⁻¹)	BAP	3.78 ^{ABC}	36.77 ^C	34.39 ^C	28.83 ^C
	EHF+BAP	4.44 ^{AB}	43.69 ^B	25.45 ^D	30.85 ^B
	EHF	3.38 ^C	21.59 ^D	60.84 ^A	17.45 ^E
BAP+ AG (0.5 y 0.05 mg. L ⁻¹)	BAP	3.44 ^{BC}	22.38 ^D	56.39 ^B	21.22 ^D
	EHF+ BAP	4.66 ^A	21.88 ^D	34.76 ^C	43.34 ^A

Los brotes provenientes de la implantación de meristemas en medios suplementados con EHF, BAP+EHF y BAP fueron multiplicados 3 veces en M1 y M2. Los datos de la tabla corresponden al primer ciclo de multiplicación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Tabla 5. Enraizamiento de brotes del cv. Camino Real de *Fragaria ananassa*

Medio de enraizado	Origen del bote	BR (%)	NR		LR (cm)		NH		A		DA
			7d	14d	7d	14d	7d	14d	7d	14d	
Sustrato	BAP	100 ^A	1.02 ^B	16.44 ^C	0.50 ^B	2.80 ^B	7.48 ^A	8.8 ^A	1.62 ^A	3.54 ^B	25 ^A
	EHF	100 ^A	4.40 ^A	33.36 ^C	1.79 ^A	3.20 ^B	6 ^C	8 ^B	2.23 ^A	6.29 ^A	14 ^B
	BAP+EHF	100 ^A	3.00 ^C	47.10 ^A	1.04 ^B	5.20 ^A	5 ^C	7 ^C	2.30 ^A	6.50 ^A	14 ^B
Medio de enraizado	Origen del bote	BR (%)	NR		LR (cm)		NH		A		DA
			21d	28d	21d	28d	21d	28d	21d	28d	
MS	BAP	16.70 ^D	3.10 ^C	8.75 ^D	0.33 ^A	1.50 ^{BC}	3.90 ^A	7 ^A	1.20 ^B	2.40 ^D	40 ^C
	EHF	100 ^A	3.50 ^C	11.20 ^C	0.66 ^A	1.70 ^{BC}	4.20 ^{BC}	6 ^B	1.82 ^{AB}	3.73 ^B	30 ^F
	BAP+EHF	80.40 ^B	4.30 ^B	12.60 ^A	0.82 ^A	2.10 ^{AB}	4.30 ^{BC}	6 ^B	1.60 ^B	3.40 ^C	35 ^E
AIB (0.75 mg. L ⁻¹)	BAP	12.90 ^E	3.00 ^A	9.00 ^{CD}	0.34 ^A	1.20 ^C	4.80 ^A	6.80 ^{AB}	1.15 ^B	3.20 ^{BC}	47 ^A
	EHF	48.60 ^C	6.00 ^A	11.60 ^B	0.54 ^A	1.80 ^{ABC}	4.80 ^A	60 ^B	2.40 ^A	2.80 ^{DC}	42 ^B
	BAP+EHF	48.70 ^C	5.00 ^B	12.20 ^{AB}	0.77 ^A	2.50 ^A	4.65 ^A	6.20 ^{AB}	1.60 ^B	4.80 ^A	37 ^D

Efecto del enraizamiento directo en sustrato y del AIB en el enraizamiento *in vitro* de brotes micropropagados después de 3 ciclos de multiplicación. BR: porcentaje de brotes enraizados; NR: número de raíces por brote; LR: longitud radicular (cm); NH: número de hojas; A: altura de planta; DA: días transcurridos hasta la aclimatación. Por la diferente velocidad de enraizamiento, los datos de los brotes enraizados en sustrato se tomaron a los 7 y 14 días, y en el caso del enraizamiento *in vitro* se tomaron a los 21 y 28 días. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

especial el balance auxina/citoquinina. La citoquinina mayormente utilizada en frutilla es el BAP, a concentraciones cercanas a 0.5 mg.L⁻¹ (Madumali *et al.*, 2021; Kulus y Tymoszek, 2024), lo que coincide con los resultados de este trabajo, en el que se obtuvo el mayor porcentaje promedio de implantación de meristemas con BAP 0.5 mg.L⁻¹ y mejor desarrollo del brote, respecto a las 2 concentraciones evaluadas. Este efecto fue también observado por Shelepova *et al.* (2021), quienes determinaron que elevadas concentraciones de citoquininas producían una disminución en el número de brotes micropropagados.

El uso de fuentes naturales de reguladores de crecimiento producidos por plantas y/o microorganismos es una alternativa sustentable para favorecer el crecimiento en las plantas y tolerar situaciones de estrés (Furio *et al.*, 2019; Iparraguirre *et al.*, 2020; Lami *et al.*, 2020; Delisle-Houde *et al.*, 2022). Por otro lado, la aplicación de fuentes naturales

permite reducir los costos e incrementar la eficiencia de los protocolos de micropropagación (Navarro *et al.*, 2023, Velázquez-Kú *et al.*, 2016). Además, la suplementación con sustratos orgánicos promueve la implantación exitosa y, por su parte, el desarrollo de brotes cultivados funciona como fuente de aminoácidos, vitaminas, hidratos de carbono, ácidos grasos y hormonas de crecimiento (Carranza-Álvarez *et al.*, 2021; Faize *et al.*, 2021).

En este trabajo, el efecto benéfico del EHF en la implantación de meristemas fue inversamente proporcional a la concentración, lo cual podría relacionarse con un efecto inhibitorio de los compuestos del EHF cuando se encuentran en elevadas concentraciones. Efectos similares fueron determinados por Kulus y Miler (2021), quienes reportaron un efecto inhibitorio de extractos de sésamo asociado a su elevada concentración de compuestos fenólicos, en comparación con

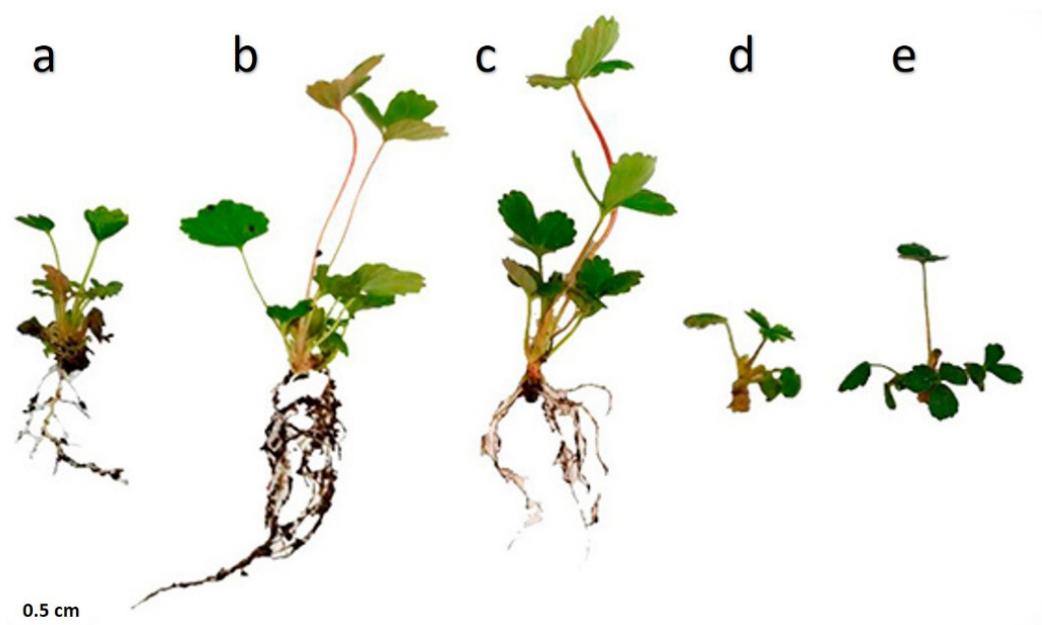


Figura 3. Efecto de un extracto vegetal (EHF) en el enraizamiento *in vitro* de brotes de frutilla. Aspecto de la plántula a los 14 días del enraizamiento en sustrato directo (a, b y c), y en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) (d y e, con el agregado de 0.75 mg.L⁻¹ AIB y sin AIB, respectivamente). En sustrato directo se observó el efecto de brotes provenientes de la multiplicación con 0.5 mg.L⁻¹ de BAP (a), EHF (b) y BAP + EHF (c), respectivamente. La barra ubicada en extremo inferior izquierdo corresponde a 0.5 cm de longitud.

extractos de avena, arroz o coco. La combinación con BAP mejoró el efecto del EHF o de BAP aplicados individualmente, lo que podría indicar un efecto sinérgico que abriría potenciales posibilidades para mejorar la micropropagación de frutilla u otras especies vegetales. Los brotes generados a partir de meristemas implantados en medios suplementados con EHF (solo y con BAP) mejoraron el comportamiento en los ciclos de multiplicación y enraizamiento. El sistema de enraizamiento directo en sustrato resultó más eficiente al incrementar la velocidad de enraizamiento. En forma similar a lo observado en implantación y multiplicación, los brotes provenientes de meristemas implantados en EHF y BAP+EHF mostraron en forma significativa una mayor cantidad y longitud de raíces que los brotes BAP, lo que indicaría que el efecto “inducido” por el EHF en la implantación de meristemas se podría conservar hasta el final del proceso de multiplicación.

Conclusiones

El comportamiento del cv. Camino Real de *Fragaria ananassa* en la multiplicación *in vitro* depende del tipo, concentración y combinación de BAP, AIB, AG y el extracto de hojas de frutilla (EHF), reportado por primera vez como suplemento en el cultivo *in vitro*. Los resultados obtenidos indican que el EHF, solo y/o en combinación con BAP, tiene efectos positivos en el cultivo *in vitro* de la frutilla, lo cual mejora los efectos del BAP, controlando la contaminación y la oxidación de los explantos, lo que, a su vez, alienta a seguir investigando sobre dichos efectos en este y otros genotipos de frutilla u otras especies vegetales.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) y la Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina por el financiamiento.

Referencias

- Bello-Bello, J. y Spinoso Castillo, J. (2022). Utilización de nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-14e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69692>
- Carranza-Álvarez, C.; Trinidad-García, K. L.; Reyes-Hernández, H.; Castillo-Pérez, L. J. y Fortanelli-Martínez, J. (2021). Efecto de extractos orgánicos naturales sobre la micropropagación de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews (Orchidaceae). *Biotechnia*, 23(1), 5-12. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.805>
- Delisle-Houde, M.; Dubé, P.; Barro, A.; Tremblay, V. y Tweddell, R. J. (2022). Silver maple (*Acer saccharinum* L.) leaf: A potential source of antibacterial compounds to control phytopathogenic bacteria in horticulture crops. *HortScience*, 57(12), 1529-1533. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/57/12/article-p1529.xml> journals.ashs.org
- Dhukate, M. R.; Kher, M. M.; Vadawale, A. V. y Giri, P. (2021). Protocol for micropropagation of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. 'Sweet Charlie' and 'Winter Dawn'). *Environmental and Experimental Biology*, 19(1), 1-6. <https://doi.org/10.22364/eeb.19.01>
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. (2020). *InfoStat* (versión 2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>

- Faize, M.; Faize, L.; Burgos, L.; Critchley, A. T. y Albuquerque, N. (2021). Application of *Ascophyllum nodosum*-based soluble extract on micropropagation and regeneration of *Nicotiana benthamiana* and *Prunus domestica*. *Plants*, 10(07), 1354. <https://doi.org/10.3390/plants10071354>
- Furio, R. N.; Salazar, S. M. y Martínez-Zamora, G. M. (2019). Brassinosteroids promote growth, fruit quality and protection against *Botrytis* on *Fragaria × ananassa*. *European Journal of Plant Pathology*, 154, 801-810. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01704-3>
- Grellet Bournonville, C.; Filippone, M. P.; Di Peto, P. D. L. Á.; Trejo, M. F.; Couto, A. S.; Mamani de Marchese, A. y Castagnaro, A. P. (2020). Strawberry fatty acyl glycosides enhance disease protection, have antibiotic activity and stimulate plant growth. *Scientific Reports*, 10(1), 8196. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65125-7>
- Grellet-Bournonville, C. F.; Di Peto, P. D. L. Á.; Cervino Dowling, A. M.; Castagnaro, A. P.; Schmeda-Hirschmann, G.; Díaz Ricci, J. C. y Filippone, M. P. (2021). Seasonal variation of plant defense inductor ellagitannins in strawberry leaves under field conditions for phytosanitary technological applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(42), 12424-12432. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03810>
- Iparraguirre, J.; Masciarelli, O.; Llanes, A. y Luna, V. (2020). Biofertilization with *Macrocystis pyrifera* algae extracts combined with PGPR-enhanced growth in *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of Applied Phycology*, 32, 4361-4371. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02202-4>
- Kulus, D. y Miler, N. (2021). Application of plant extracts in micropropagation and cryopreservation of bleeding heart: An ornamental-medicinal plant species. *Agriculture*, 11(6), 542. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060542>
- Kulus, D. y Tymoszek, A. (2024). Advancements in in vitro technology: A comprehensive exploration of micropropagated Plants. *Horticulturae*, 10(1), 88. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010088>
- Lami, M. J.; Adler, C.; Caram-Di Santo, M. C.; Zenoff, A. M.; Cristobal, R. E.; Espinosa-Urgel, M. y Vincent, P. A. (2020). *Pseudomonas stutzeri* MJL19, a rhizosphere-colonizing bacterium that promotes plant growth under saline stress. *Journal of Applied Microbiology*, 129(5), 1321-1336. <https://doi.org/10.1111/jam.14692>
- Madumali, H. K. C.; Abeythilakarathna, P. D. y Seran, T. H. (2021). Rooting performance of in vitro microshoots of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) as influenced by plant growth regulators. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*, 15(2), 69-73. <https://doi.org/10.4038/agriest.v15i2.79>
- Mamani, A.; Filippone, M. P.; Grellet, C.; Welin, B.; Castagnaro, A. P. y Díaz Ricci, J. C. (2012). Pathogen-induced accumulation of an ellagitannin elicits plant defense response. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 25(11), 1430-1439. <https://doi.org/10.1094/MPMI-12-11-0306>
- Murashige, T. y Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Schiavon, M. y Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73, 18-23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
- Navarro, Q. R.; De Oliveira Corrêa, D. y Behling, A. (2023). Effect of microalga *Desmodesmus subspicatus* and plant growth regulators on the in vitro propagation of *Cattleya warneri*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 153, 77-89. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02442-x>
- Neri, J. C.; Meléndez-Mori, J. B.; Tejada-Alvarado, J. J.; Vilca-Valqui, N. C.; Huaman-Huaman, E.; Oliva, M. y Goñas, M. (2022). An optimized protocol for micropropagation and acclimatization of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) variety 'Aroma'. *Agronomy*, 12(4), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040968>
- Sarıdaş, M. A.; Baktemur, G.; Taşkın, H. y Kargı, S. P. (2021). Effect of plant hormones on micropropagation potential of superior strawberry genotypes and their parents via shoot-tip culture. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 20(3), 63-75. <https://doi.org/10.24326/asphc.2021.3.7>
- Shelepova, O. V.; Dilovarova, T. A.; Gulevich, A. A.; Olekhovich, L. S.; Shirokova, A. V.; Ushakova, I. T.; Zhuravleva, E.; Konovalova, L. y Baranova, E. N. (2021). Chemical components and biological activities of essential oils of *Mentha × piperita* L. from field-grown and field-acclimated after in vitro propagation plants. *Agronomy*, 11(11), 2314. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112314>
- Tomas-Grau, R. H.; Hael-Conrad, V. y Requena-Serra, F. J. (2020). Biological control of strawberry grey mold disease caused by *Botrytis cinerea* mediated by *Colletotrichum acutatum* extracts. *BioControl*, 65, 461-473. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10003-4>
- Valliath, A. S. y Mondal, R. (2023). Micropropagation of strawberry crop (*Fragaria × ananassa*): A review. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 38(1), 41-44. <https://doi.org/10.18805/BKAP529>
- Velázquez-Kú, N. V.; Quijano-Ávila, J. D. C. y Rodríguez-Ávila, N. L. (2016). Análisis de diferentes sustratos en la germinación y multiplicación in vitro de orquídeas silvestres del estado de Campeche. *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, 31(63), 27-31. <https://www.researchgate.net/publication/312054411>

Effect of citric acid and calcium on quality and shelf-life of fresh-cut banana (*Musa paradisiaca* L.)

Efecto del ácido cítrico y calcio en la calidad y vida útil del banano (*Musa paradisiaca* L.) mínimamente procesado

Saúl Dussán Sarria ^{1,3}, José Igor Hleap Zapata ^{1,4}, Jesús Hernán Camacho Tamayo ^{2,5}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Colombia. ²Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Bogotá, Colombia. ³ ✉ sdussan@unal.edu.co; ⁴ ✉ jihleapz@unal.edu.co; ⁵ ✉ jhcamachot@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.115097>

2024 | 73-2 p 151-157 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-06-18 Acep.: 2025-03-12

Abstract

The objective of this study was to evaluate the quality attributes and respiratory activity of banana slices during storage at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % relative humidity (RH), simulating marketing conditions. The bananas were selected, washed, sanitized, and cut into slices. Then, they were divided into four groups to which different treatments were applied: 1 % (w/v) calcium chloride (CaCl_2) + 0.92 % citric acid (abbreviated as CaAc); 1 % (w/v) CaCl_2 (abbreviated as Ca) alone; 0.92 % (w/v) citric acid (abbreviated as Ac) alone; and fruit without application of calcium chloride and citric acid as control (C). Physicochemical analyses were performed using standard methodologies, such as ICONTEC norms. pH values, titratable acidity, color, total soluble solids, weight loss, firmness, and respiration rate were evaluated every 2 days until Day 17. The combined treatment of 1 % (w/v) CaCl_2 + 0.92 % citric acid (w/v) significantly decreased respiration rate, weight loss, and browning, and preserved quality attributes during storage. The combination of refrigeration and the application of 1 % (w/v) CaCl_2 + 0.92 % (w/v) Ac can extend the shelf life of banana slices up to 9 days.

Keywords: Antioxidant, banana, cold storage, post-harvest, respiration rate.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de los atributos de calidad y la actividad respiratoria de rodajas de banano almacenadas a 13 ± 2 °C y 92 ± 2 % de humedad relativa (HR), simulando las condiciones de comercialización. Los bananos fueron seleccionados, lavados, higienizados y cortados en rodajas, después se dividieron en cuatro grupos a los que se les aplicaron diferentes tratamientos: 1 % (p/v) cloruro de calcio (CaCl_2) + 0.92 % (p/v) ácido cítrico; 1 % (p/v) CaCl_2 solo; 0.92 % (p/v) ácido cítrico solo; y fruta sin ácido cítrico ni CaCl_2 denominada control. Se utilizaron métodos de análisis fisicoquímicos bajo metodologías consagradas como las normas ICONTEC. Se evaluaron valores de pH, acidez titulable, color, sólidos solubles totales, pérdida de peso, firmeza e intensidad respiratoria, cada dos días y hasta el día 17. Se encontró que el tratamiento combinado de 1 % (p/v) CaCl_2 + 0.92 % (p/v) ácido cítrico disminuyó considerablemente la intensidad respiratoria, la pérdida de peso y el pardeamiento, y permitió conservar los atributos de calidad durante el almacenamiento. La combinación de refrigeración y la aplicación de 1 % (p/v) CaCl_2 + 0.92 % (p/v) ácido cítrico puede alargar hasta 9 días la vida útil de las rodajas de banano.

Palabras clave: antioxidante, almacenamiento refrigerado, banano, intensidad respiratoria, poscosecha.

Introduction

Banana (*Musa acuminata*) of the Cavendish variety is a fruit of significant importance in the global market due to its high content of vitamins and other nutrients, antioxidant properties, and benefits for human health in disease prevention (Chang *et al.*, 2022). Banana pulp consists of approximately 70 % water, is rich in easily digestible carbohydrates, contains low percentage of proteins and fats, and serves as a good source of vitamins A, B1, B2, and C (Zahra *et al.*, 2021). Approximately 15 million tons of bananas are exported each year, making them the fifth most important agricultural product in global trade after cereals, sugar, coffee, and cocoa (Sarifudin *et al.*, 2021). Colombia is one of the world's largest producers of the *Musa* genus, ranking fifth in total production and second in exports after Ecuador, with a production volume of 2 554 287 tons in 2020 (FAO, 2023). Bananas are a strategic crop for Colombian food security and are also of great economic importance in the market. Therefore, the deterioration of whole or cut bananas can have a significant economic impact.

Globally, approximately 14 % of food—with an estimated value of USD 400 billion—is lost between harvest and distribution, and another 17 % is wasted during distribution and among final consumers (FAO, 2023). Fresh-cut fruits are emerging as a response to consumer demand for fresh, healthy, high-quality products that require little preparation time while maintaining their original organoleptic (color, flavor, and aroma) and nutritional (vitamins, minerals, and nutrients) properties.

Banana is a climacteric fruit, and its natural ripening process is rapid. This factor affects the quality of the fruit and the long-term storage conditions (Yildiz, 2018). It undergoes post-harvest alterations in both the fresh and fresh-cut state. In the case of fresh-cut bananas, softening and darkening occur due to the polyphenol oxidase (PPO) enzyme, whose activity increases when plant tissues are cut and exposed to oxygen (Yildiz, 2018). Various agents, such as ascorbic acid, tartaric acid, calcium chloride, and citric acid, are commonly applied to prevent these alterations in plant tissues, as they are considered safe for human consumption (Arora *et al.*, 2021).

Studying the biochemical and physiological changes that occur during the ripening of fresh-cut fruits enables the development of appropriate handling procedures, operational strategies, equipment, and packaging systems to prevent or delay the senescence of the product. The research question is: Does the application of calcium and citric acid to banana slices affect the physicochemical

properties, color, and respiration rate of the fruit during cold storage? Therefore, the objective of this research was to evaluate the quality attributes and physiological responses of fresh-cut bananas subjected to various post-harvest treatments with calcium chloride and citric acid during storage under commercial conditions.

Materials and methods

Local and raw material

The experimental process was developed in the Laboratory of Fruits and Vegetables at the Universidad Nacional de Colombia, Palmira campus, at an average temperature of 23 °C, a relative humidity of 89 %, and an altitude of 1000 m. a. s. l. Banana fruits of the Cavendish variety (*Musa acuminata*), sourced from the village of El Bolo Arsenal in Pradera (Valle del Cauca), were used at ripening stage 5, corresponding to yellow fruits with green tips, as defined by Guzmán-Bortolini (2021). The fruits were transported to the laboratory in 20 kg plastic baskets.

Fruit selection and classification

The initial quality of the fruits was defined in accordance with the norm NTC 1190 (ICONTEC, 1999). Therefore, medium-sized bananas weighing approximately 110 to 129 g, classified as extra quality—without stains, cracks or deep stripes—were selected and classified. It was also ensured that the bananas did not have signs of pest infestation, disease, rotting, or bruising.

Minimal processing

The fruits were washed by immersion in potable water, and subsequently disinfected using a sodium hypochlorite solution at 200 µL/L1 for 2 minutes. After disinfection, the fruits were peeled and manually cut into slices with a diameter of 40 mm and a thickness of 3 mm. These slices were then divided into four groups corresponding to the treatments described in Table 1. Citric acid and calcium chloride were applied by immersing the slices in 20 L of the solution for 2 minutes.

Table 1. Different treatments for fresh-cut bananas

Abbreviation	Treatment
CaAc	1 % calcium chloride (CaCl ₂) (w/v) + 0.92 % citric acid (w/v)
Ca	CaCl ₂ 1 % (w/v)
Ac	Citric acid 0.92 % (w/v)
C	Control (without application of calcium chloride and citric acid)

Fruit packaging and storage

The banana slices were packed in polystyrene trays (15 cm × 1.3 cm) and sealed with a 16 µm thick polyvinyl chloride film, thus creating a modified atmosphere. Approximately 500 g of fresh-cut bananas was packed in each tray. The samples were stored for 17 days at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % relative humidity (RH), simulating refrigeration conditions on supermarket shelves. Quality attributes were evaluated every two days and analyzed in triplicate.

Physicochemical analysis

Weight loss (Δ) was determined gravimetrically by calculating the difference between the initial weight (i) and the final weight (f) of the fruit at the end of storage (Equation 1). The results are expressed as the cumulative weight loss (%) during refrigerated storage.

$$\%PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

The pH was measured using a potentiometer following the NTC 4592 standard (ICONTEC, 1999). Titratable acidity was determined by titration with 0.1 N sodium hydroxide (NaOH), according to the method established in NTC 4623 (ICONTEC, 1999), and expressed as a percentage of malic acid per gram of banana pulp juice (% malic acid/g). Total soluble solids (TSS) of banana juice at a 2:1 water-to-fruit ratio were measured using a manual refractometer, following NTC 4624 (ICONTEC, 1999). TSS values were corrected by the dilution factor and are presented in degrees Brix (° Brix). Firmness was assessed as the force required to penetrate the center of the banana slices using the piston of a Wagner penetrometer (model POB 1217, stainless steel punch Φ = 6 mm).

Color evaluation

The color of the samples was evaluated using a photographic comparison method. In the following equations, the L, a, and b values were obtained using Adobe Photoshop PCS4, following the methodology reported by Yam and Papadakis (2004). These values were then used to calculate the CIE L* a* CO₂ color coordinates according to Equations 2, 3, and 4. The browning index (BI) (Equation 5) and the total color difference (Equation 6) were calculated according to the procedures of Aimi-Azira *et al.* (2021) and Pathare *et al.* (2013).

$$L^* = \frac{L}{255} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$a^* = \frac{240a}{255} - 120 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$b^* = \frac{240b}{255} - 120 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$BI = \frac{100(x - 0.31)}{0.17}; x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 0.3012b^*} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Subscript 1 corresponds to the sample at Day 1, and subscript 2 corresponds to Day 17 of storage of the banana slices.

Respiration rate

The respiration rate was determined using a respirometer titration method, based on the reaction of carbon dioxide (CO₂) with a basic sodium hydroxide (NaOH) solution. A compressor was adapted to supply external air for 30 minutes through the initial CO₂ trap, ensuring the elimination of CO₂ present in the air. This CO₂-free air was first passed through a moisture trap to remove water vapor, and then directed into desiccators containing previously weighed banana samples. The desiccators were hermetically sealed to prevent the air from escaping from the respiration of the fruits. After 30 minutes, airflow was stopped, and the secondary CO₂ traps were removed from the system and sealed immediately. A 20 mL aliquot from each CO₂ trap was mixed with 10 % w/v BaCl₂ and four drops of phenolphthalein. The solution was immediately titrated with 0.1 N HCl. The respirometer was equipped with a refrigeration system to maintain the refrigeration temperature (13 ± 2 °C). Finally, calculations were performed using Equation 7.

$$IR \left(\frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} * \text{h}} \right) = \frac{(V_b - V_m) * N_{HCl} * 22 * f}{w * t}; f = \frac{V_{NaOH \text{ en frasco}}}{V_{aliquota}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Where is the volume (mL) of HCl used in the titration of the blank; is the volume (mL) of HCl used in the titration of the sample; is the standard normality of HCl; is the weight of the sample; is the duration (h); 22 is the equivalent weight of CO₂ (g-meq); and is the sample factor.

Experimental design

A completely randomized design was employed, consisting of four treatments, each analyzed in triplicate. Different physicochemical parameters were assessed every 2 days during cold storage (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, and 17 days). Data are presented as means. The results obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) to determine significant

differences among treatments. Mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test ($p < 0.05$) applying the MEANS procedure of the SAS[®] statistical software version 9.1 (USA).

Results and discussion

Physicochemical properties

Figure 1 shows the cumulative weight loss of the banana slices stored for 17 days. Weight loss is primarily associated with increased respiratory activity and moisture loss during storage (Shehata *et al.*, 2020). The highest percentages of cumulative weight loss were observed in treatments C and Ac. In contrast, the lowest accumulated weight loss was recorded in samples treated with Ca and CaAc. These results showed that the cell wall integrity of the samples treated with CaCl_2 was preserved due to the formation of crossed bridges between the carboxylic groups of pectic acid and the divalent cation of calcium (Shehata *et al.*, 2020).

Calcium can also contribute to the stabilization of protein-pectin complexes in the middle lamina (Huang, 2023). In a study on banana fruit, Elbagoury *et al.* (2021) reported that calcium accumulation in tissues not only helps maintain firmness but also slows down weight loss. In addition, treatments with calcium salt may promote the formation of calcium pectate hydrogels that retain water and increase cellular hardness.

In banana slices, TSS showed an increasing trend along all treatments, with values rising until Day 7 of storage and remaining relatively stable until Day 17 (Figure 2). The increase in TSS may be due to the hydrolysis of starch into sugars like glucose, fructose, and sucrose during banana ripening (Deori *et al.*, 2020; Moreno *et al.*, 2021). Likewise, the sudden increase in TSS content observed in the samples from treatment C may be directly associated with rapid moisture loss, and consequently, a reduction in weight (Shehata

et al., 2020). Pleșoianu and Nour (2022) reported that, due to the application of coatings, the increase in solid concentration was reduced, since these treatments can slow down respiration and metabolic activity.

Figure 3 shows that the pH of the banana slices remained nearly constant throughout the investigation, ranging approximately from 5.25 to 5.70, with no significant decreases or increases. Similar results were reported by Siqueira *et al.* (2018) for 'Prata-Anã' banana pulp stored at 23 °C under different controlled and modified atmospheres. The pH was also a relevant factor, as it reflects an acidic medium suitable for microbial growth. Aimi-Azira *et al.* (2021) observed that minimal variations in pH are associated with reduced respiration rates, which may reflect the effectiveness of the treatments.

Regarding titratable acidity, a slight increase was observed in banana slices during the first three days of storage. This was followed by a decrease over the next two days, after which values remained relatively stable until Day 13 of storage (Figure 4), when a second decline was recorded, consistent with the findings by Deori *et al.* (2020). The increase in titratable acidity at the end of the storage period may be associated with microbial proliferation in the fresh-cut fruit. Additionally, there were no significant differences ($p < 0.05$) between the different treatments after the application of CaCl_2 and citric acid, who did not affect the acidity of the banana slices.

CaCl_2 effectively maintained the firmness of the banana slices until Day 11 of refrigerated storage (Figure 5). This effect is attributed to the interaction between calcium and pectin, leading to the formation of calcium pectate, which strengthens plant tissue texture (Deori *et al.*, 2020). In contrast, the application of citric acid alone had no influence on fruit firmness. On the other hand, Figure 5 shows that the combined treatment of citric acid and calcium chloride exhibited better results. Mirshekari *et al.*

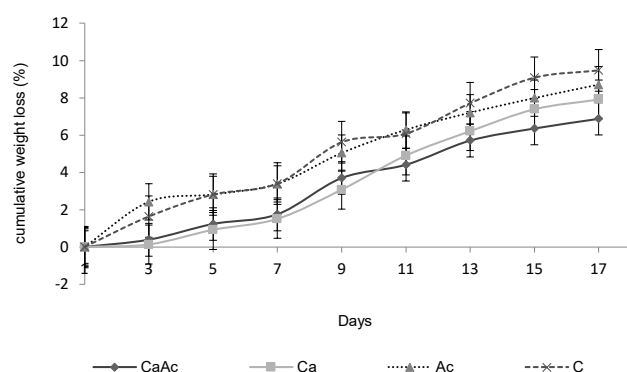


Figure 1. Changes in the cumulative weight loss percentage of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

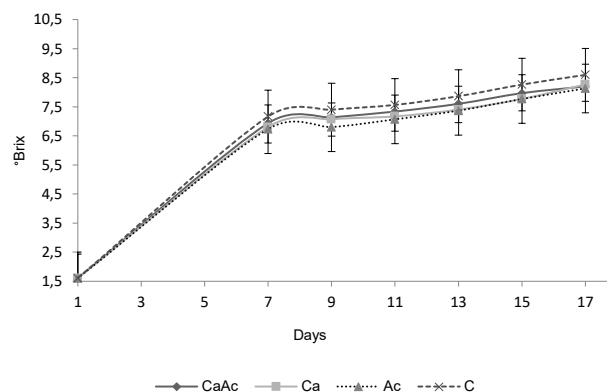


Figure 2. Changes in total soluble solid content (°Brix) of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

(2017) reported that a combined treatment with 1 % chitosan and 1 % calcium propionate maintained the firmness of 'Berangan' bananas over five days of storage at 5 °C, whereas bananas treated only with 1 % calcium propionate exhibited noticeable softening.

The incorporation of calcium into fruit tissues can delay color changes and reduce the activity of enzymes responsible for cell wall degradation, thereby helping to preserve fruit firmness. Furthermore, calcium contributes to reducing the incidence of certain physiological disorders (Jaime-Guerrero *et al.*, 2024).

Color parameters

The browning index (BI) is calculated from the CIE L* a* CO₂ coordinates and serves as an indicator of browning in foods. It is directly associated with the activity of the PPO enzyme (Pathare *et al.*, 2013). As shown in Figure 6, at the beginning of storage, BI values were lower for the samples treated individually and combined with citric acid. However, at the end of storage, these values increased markedly across all treatments. This

increase is related to elevated PPO enzyme activity during the storage period due to intensified metabolic processes and the onset of senescence, consisted with observations by Yildiz (2018).

The a* parameter of the banana slices showed a slight increase during storage due to the emergence of brownish tones. From Day 11 onward, a* values began to approach the threshold associated with red hues (Figure 7). According to Pathare *et al.* (2013), the increase in a* values, and thus in orange or red pigments, is associated with the accelerated ripening and browning processes. Significant statistical differences ($p < 0.05$) were observed between a* values of samples from the Ca treatment and those of the other treatments. Banana slices subjected to the combined treatment of citric acid and calcium chloride exhibited the highest a* values during the storage period, indicating a tendency towards reddish tones. In contrast, the highest b* values, that is, the ability to maintain the yellow hue, were observed in banana slices from the Ac and CaAc treatments (Figure 8).

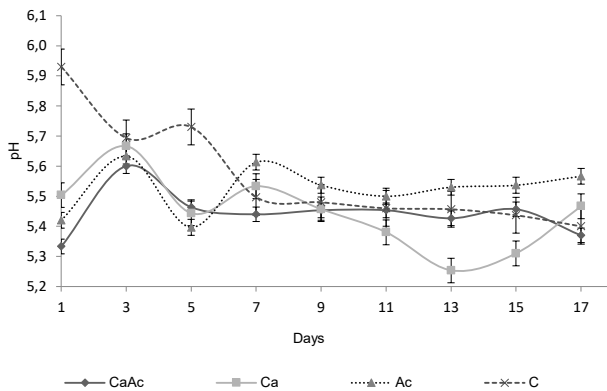


Figure 3. Changes in the pH values of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

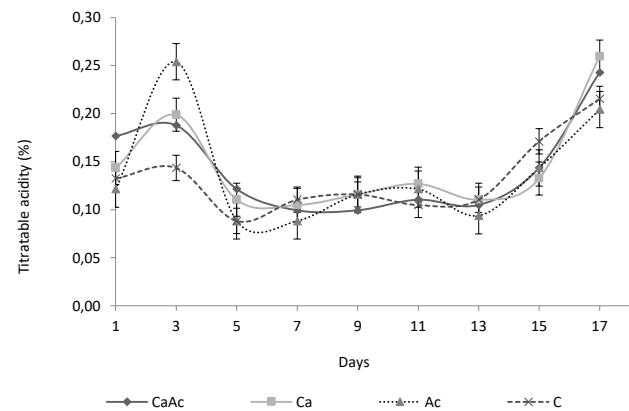


Figure 4. Increase in titratable acidity (%) of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

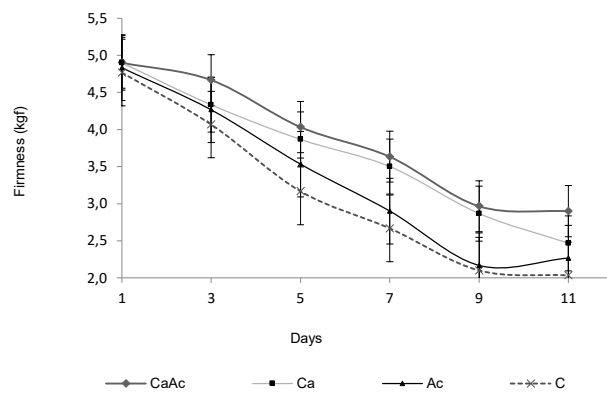


Figure 5. Increase in firmness (kgf) values of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

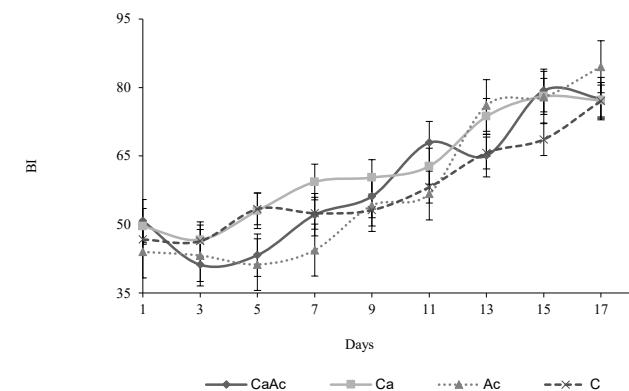


Figure 6. Increase in browning index (BI) values of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

Overall, the CO_2 levels of banana slices increased slightly during storage. The highest CO_2 values were recorded in samples treated with Ac, while the lowest values were observed in those treated with Ca (Figure 9). No statistically significant differences were found between the CO_2 values of the CaAc, Ac, and C treatments ($p < 0.05$). Higher CO_2 levels were associated with the presence of yellow tones in the banana slices. In contrast, the rapid increase in CO_2 observed in the samples treated with Ac can be associated with accelerated maturation. The decrease in CO_2 may be attributed to the darkening of the fruit (Pathare *et al.*, 2013).

Regarding color parameters (L^* , a^* , and CO_2), noticeable color changes in the banana slices were observed throughout the storage period. The control (C) samples exhibited significant color variation over time ($p < 0.05$). The Ca-treated samples showed the highest total color difference (ΔE) during storage, which was associated with a greater degree of browning. As reported by Yildiz (2018), CaCl_2 is not as effective as ascorbic acid in inhibiting the PPO enzyme in banana slices. Similarly, Pathare *et al.* (2013) reported significant differences ($p < 0.05$) in color between the CaAc and Ac-treated samples compared to the control. The Ca-treated samples exhibited major differences in color in respect to the control. However, the combined treatment (CaAc) preserved the surface color characteristics of the banana slices.

Respiration rate

As shown in Figure 9, the respiration rate of banana slices during the first 6 days of storage was relatively constant or exhibited small variations. From Day 7, a marked increase in the respiration rate was observed, reaching a maximum peak before subsequently declining. This peak corresponded with the onset of senescence, characterized by the development of dark spots and the appearance of microorganisms. Overall, the respiration rate of banana slices tends to be elevated due to the cutting process, which is related to an acceleration of tissue metabolism caused by the stress induced by this operation (Yildiz, 2018).

The increase in respiration rate in the fresh-cut samples is attributed to the larger contact of the surface area of the slices with the surrounding atmosphere, which facilitates greater gas exchange during the experimental period. This response can also be influenced by endogenous ethylene production and the climacteric nature of the fruit (Shehata *et al.*, 2020). According to Figure 9, the climacteric peak of the banana slices occurred near Day 9 of storage. Although no statistical differences ($p < 0.05$) were found in respiration rate among treatments, the samples treated with CaCl_2 presented the lowest values.

Considering the physicochemical properties, color attributes, and physiological behavior under simulated storage conditions, the applied treatments demonstrate potential for commercial application at the supermarket level.

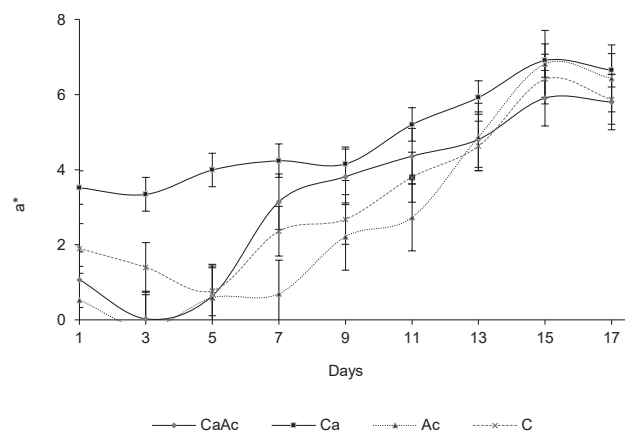


Figure 7. Increase in a^* color values of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

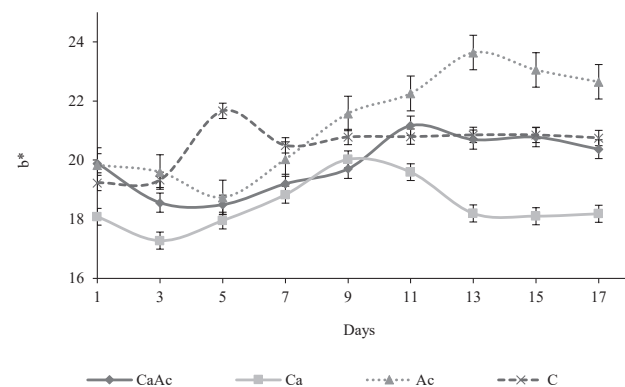


Figure 8. Increase in b^* color values of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

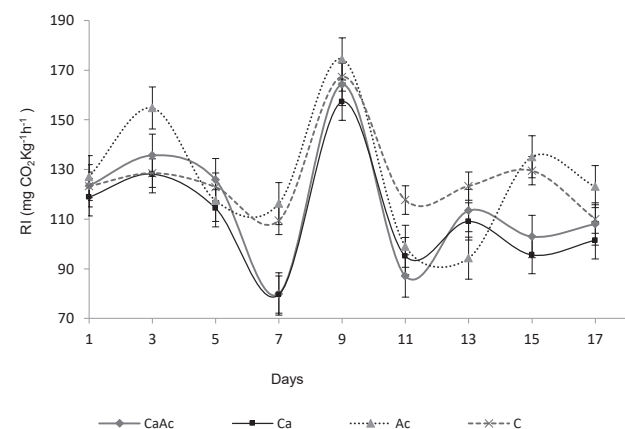


Figure 9. Increase in the respiration rate values (in $\text{mg CO}_2 \text{Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) of fresh-cut bananas stored at 13 ± 2 °C and 92 ± 2 % RH.

Conclusions

The treatments with CaCl_2 and citric acid effectively reduced firmness loss by 41 % and weight loss by 2 % in fresh-cut bananas by the ninth day of cold storage, since it acts as a barrier to transpiration. In addition, citric acid reduced browning and helped preserve the color characteristics of the banana slices. The combination of CaCl_2 and citric acid is suggested as the most effective treatment to extend the shelf life of fresh-cut bananas up to 9 days under simulated commercial conditions ($13 \pm 2^\circ\text{C}$ and $92 \pm 2\%$ RH).

References

- Aimi Azira, S.; Wan Zunairah, W. I.; Nor Afizah, M.; Nor-Khaizura, M. A. R.; Radhiah, S.; Ismail Fitry M. R. and Nur Hanani, Z. A. (2021). Prevention of browning reaction in banana jam during storage by physical and chemical treatments. *Food Research*, 5(5), 55-62. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(5\).046](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(5).046)
- Arora, S.; Goraya, R. K.; Siddiqui, S. and Gehlot, R. (2021). Influence of anti-browning treatments on enzymatic browning, distinctive properties, and microbiological characteristics of banana pulp during short-term frozen storage, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15259. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15259>
- Chang, L.; Yang, M.; Zhao, N.; Xie, F.; Zheng, P.; Simbo, J.; Yu, X. and Du, S. (2022). Structural, physicochemical, antioxidant and *in vitro* digestibility properties of banana flours from different banana varieties (*Musa* spp.). *Food Bioscience*, 47, 101624. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101624>
- Deori, G. D.; Langthasa, S.; Hazarika, D. N.; Goswami, R. K. and Kalita, M. K. (2020). Effect of pre-treatment on quality of minimally processed culinary banana cv. Kachkal (ABB group). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 2256-2262. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i1a1.10807>
- Elbagoury, M. M.; Turoop, L.; Runo, S. and Sila, D. N. (2021). Regulatory influences of methyl jasmonate and calcium chloride on chilling injury of banana fruit during cold storage and ripening. *Food Science & Nutrition*, 9(2), 929-942. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2058>
- FAO. (2023). Datos sobre alimentación y agricultura. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Guzmán Bortolini, N. (2021). Aplicación post-cosecha del ácido giberélico como agente retardante de la maduración de banano proveniente del Trópico de Cochabamba. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Sp. Num.), 75-85. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iEspecial.8>
- Huang, W.; Shi, Y.; Yan, H.; Wang, H.; Wu, D.; Grierson, D. and Chen, K. (2023). The calcium-mediated homogalacturonan pectin complexation in cell walls contributes the firmness increase in loquat fruit during postharvest storage. *Journal of Advanced Research*, 49, 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.09.009>
- ICONTEC. (1999). *Fruit and vegetable products*. Colombian Institute of Technical Standards and Certification (ICONTEC). <https://www.icontec.org/>
- Jaime-Guerrero, M.; Álvarez-Herrera, J. G. and Fischer, G. (2024). Effect of calcium on fruit quality: A review. *Agronomía Colombiana*, 42(1), e112026. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v42n1.112026>
- Mirshekari, A.; Madani, B. and Golding, J. B. (2017). Suitability of combination of calcium propionate and chitosan for preserving minimally processed banana quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3706-3711. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8231>
- Moreno, J. L.; Tran, T.; Cantero-Tubilla, B.; López-López, K.; Becerra López, L. A. L. and Dufour, D. (2021). Physicochemical and physiological changes during the ripening of banana (*Musaceae*) fruit grown in Colombia. *International Journal of Food Science + Technology*, 56(3), 1171-1183. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14851>
- Pathare, P. B.; Opara, U. L. and Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pleşoianu, A. M. and Nour, V. (2022). Pectin-based edible coating combined with chemical dips containing antimicrobials and antibrowning agents to maintain quality of fresh-cut pears. *Horticulturae*, 8(5), 449. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050449>
- Sarifudin, A.; Afifah, N.; Indrianti, N.; Desnilasari, D.; Kristanti, D.; Ratnawati, L. and Ekafitri, R. (2021). Optimization of banana bar formulation to provide a nourishing snack for toddlers using response surface methodology. *Food Science and Technology*, 41(suppl. 1), 21-28. <https://doi.org/10.1590/fst.07620>
- Shehata, S. A.; Abdeldaym, E. A.; Ali, M. R.; Mohamed, R. M.; Bob, R. I. and Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical quality of strawberries during cold storage. *Agronomy*, 10(10), 1466. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101466>
- Siqueira, M.; Barbosa, N.; Cordenunsi, B.; Hassimotto, N. and Resende, E. (2018). Chemical changes in Prata-Anã banana stored under reduced O_2 and increased CO_2 Levels. *Acta Scientiarum*, 40, e39788. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.39788>
- Yam, K. L. and Papadakis S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00195-X)
- Yildiz, G. (2018). The effect of different chemical agents on the prevention of enzymatic browning in banana. *Journal of Food Science and Engineering*, 7, 91-96. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2018.02.005>
- Zahra, F.; Khalid, S.; Aslam, M. and Sharmeen, Z. (2021). Health benefits of banana (*Musa*): A review study. *International Journal of Biosciences*, 18(4), 189-199. <https://doi.org/10.12692/ijb/18.4.189-199>

Effectiveness of pre-sowing fungicide treatment of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) seeds

Eficacia del tratamiento de semillas de soja (*Glycine max* [L.] Merr.) con fungicidas previo a la siembra

Yulia Holiachuk ^{1,2}, Halyna Kosylovych ^{1,3}, Victor Ivaniuk ^{1,4}.

¹Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv. Lviv, Ukraine. ²  holiachuk_y@lnup.edu.ua;

³  kosylovychgo@lnup.edu.ua; ⁴  ivanyukvy@lnup.edu.ua



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.116342>

2024 | 73-2 p 158-166 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-08-23 Acep.: 2025-04-25

Abstract

A study conducted at Lviv National Environmental University in 2023 examined the effects of nine fungicidal seed treatments on soybean (Ambella® variety) germination, root rot development, and yield. Seed germination energy and capacity were measured using the between-paper method at 5 and 8 days, respectively. Seed-borne infections and root rot pathogens were identified using the blotter method. Root rot incidence was assessed at soybean growth stages BBCH 12, BBCH 13, and BBCH 61. The data were analyzed using Statistica software. The best results were obtained with treatments containing fluxapyroxad (250 g L⁻¹) + pyraclostrobin (250 g L⁻¹) at rates of 0.4 ml kg⁻¹ and 0.8 ml kg⁻¹, and fludioxonil (25 g L⁻¹) + metalaxyl-M (10 g L⁻¹) at a rate of 1.0 ml kg⁻¹, which led to high seed germination energy (90.5 % - 95.5 %), and capacity (95.5 % - 99.5 %), and yields of 3.53 - 3.59 tons per hectare. Soybean yield for seed treatment with thiophanate methyl (250 g L⁻¹) + pyraclostrobin (25 g L⁻¹) + fipronil (225 g L⁻¹) at rates of 1.0 ml kg⁻¹ and 1.5 ml kg⁻¹ reached 3.52 tons and 3.75 tons per hectare, respectively. Overall, fungicide treatments improved both root health and yield of soybean compared to untreated seeds.

Keywords: Disease severity and incidence, root rot, seed germination, seed capacity, yield.

Resumen

Un estudio realizado en 2023 en la Universidad Nacional Ambiental de Lviv examinó los efectos de nueve tratamientos fungicidas en la germinación, el desarrollo de la pudrición de las raíces y el rendimiento de la soja (variedad Ambella®). El estudio comparó semillas tratadas con un grupo de control. Se identificaron infecciones transmitidas por semillas y patógenos de la pudrición de la raíz utilizando el método del papel secante, y la energía y capacidad de germinación de las semillas se midieron a los 5 y 8 días, respectivamente. La incidencia de la pudrición de la raíz se evaluó durante las etapas BBCH 12, BBCH 13 y BBCH 61 de crecimiento de la soja. Los datos fueron analizados utilizando el software Statistica. Los mejores resultados se observaron con tratamientos que contenían fluxapyroxad (250 g L⁻¹) + piraclostrobina (250 g L⁻¹) a tasas de 0.4 ml kg⁻¹ y 0.8 ml kg⁻¹, y fludioxonil (25 g L⁻¹) + metalaxil-M (10 g L⁻¹) a una tasa de 1.0 ml kg⁻¹, lo que llevó a una alta tasa de energía (90.5 % - 95.5 %) y capacidad (95.5 % - 99.5 %) de germinación, y rendimientos de 3.53 - 3.59 toneladas por hectárea. El rendimiento de la soja de semillas tratadas con metiltiofanato (250 g L⁻¹) + piraclostrobina (25 g L⁻¹) + fipronil (225 g L⁻¹) a tasas de 1.0 ml kg⁻¹ y 1.5 ml kg⁻¹ alcanzó 3.52 y 3.75 toneladas por hectárea, respectivamente. En general, los tratamientos fungicidas mejoraron tanto la salud de las raíces como el rendimiento de la soja en comparación con las semillas no tratadas.

Palabras clave: capacidad de germinación, germinación, podredumbre radicular, rendimiento, severidad e incidencia de la enfermedad.

Introduction

Soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) is a critical crop for global food security due to its rich protein content, serving as a sustainable alternative to animal protein. The production of plant-based proteins has a significantly lower carbon footprint compared to animal-based ones, reducing emissions by 3 to 80 times, depending on the type of protein and the life cycle assessment methodology used (Thrane *et al.*, 2017). Additionally, soybean, as a leguminous crop, fixes atmospheric nitrogen, making it an excellent preceding crop in rotation systems (Gomes *et al.*, 2017; Nyandoro *et al.*, 2019).

Large-scale cultivation of soybean in Ukraine began after 2010. According to Ukraine's State Statistics Service (UKRSTAT) (2023), soybean planting areas expanded from 0.06 million hectares in 2000 to 1.04 million hectares in 2010, a 17-fold increase. By 2023, this had increased to 1.73 million hectares, a value similar to 2018. This expansion made Ukraine one of the top 10 global soybean exporters (Feed and Grain Staff, 2024). However, the expansion of planting areas and the shortening of crop rotation cycles have contributed to deteriorating phytosanitary conditions in the fields. While soybean cultivation in Ukraine initially required no chemical protection against diseases, today, numerous pathogens have been identified, leading to significant losses in both yield and quality (Pikovskiy and Solomiichuk, 2022).

The main sources of infection that contribute to reduced soybean yields include diseased seeds, infected plant debris, and contaminated soil (Gupta and Kumar, 2020). Therefore, healthy seeds are essential to maintaining high yields, as various biotic and abiotic factors can affect seed quality (Tsedaley, 2015; Gebeyaw, 2020). Chemical plant protection is typically applied in two ways: pre-sowing seed treatment and fungicide spraying during the vegetative stage. Pre-sowing fungicide treatment is widely used worldwide due to its lower environmental impact compared to field spraying, as it reduces the number of fungicide applications. Seed treatment, unlike spraying plants with fungicides, allows for the protection of seeds and seedlings from soil-borne and seed-borne infections (Lamichhane *et al.*, 2020).

Fungicidal treatment of soybean seeds protects them against both seed-borne and soil-borne fungal pathogens during the early stages of plant development (Navi *et al.*, 2019; Ayesha *et al.*, 2021). Fungicides used in seed treatment, such as pyraclostrobin, metalaxyl, and carbendazim, are primarily absorbed by the cotyledons, with about 15 % being absorbed by the roots, stems, and leaves (Sartori *et al.*, 2020). In soils with low organic matter, fungicide absorption by seedlings increases. These treatments can protect germinating seeds and seedlings for up to 4-5 weeks after sowing (Kazda

et al., 2005, as cited in Lamichhane *et al.*, 2020). Pre-sowing seed treatment is particularly beneficial in no-till systems, short crop rotation cycles, and when planting in cold, wet soils (Lamichhane *et al.*, 2020). Gowda *et al.* (2020) demonstrated in their research the effectiveness of soybean seed treatment with fungicides for long-term storage (over 9 months) under high temperatures.

Despite the benefits, some pesticides may have negative effects on plant growth. For example, Kyrychenko *et al.* (2022) found that treatments with fipronil, thiophanate-methyl, and pyraclostrobin inhibited early plant growth, although they did not affect seed germination. Soybeans are susceptible to various fungal diseases, including sudden death syndrome (*Fusarium* spp.), root rot (caused by a complex of fungi) (Kandel *et al.*, 2023), seedling damping-off (*Pythium* spp.) (Navi *et al.*, 2019), downy mildew (*Peronospora manshurica* [Naum.] Syd.), as well as white mold (*Sclerotinia sclerotiorum* de Bary), gray mold (*Botryotinia fuckeliana* Whetzel.), and other molds like *Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp., and *Rhizopus* spp. (Pikovskiy and Solomiichuk, 2022). Moreover, Sahu *et al.* (2023) identified several fungal species from soybean seeds, including *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Curvularia* spp., *Rhizopus* spp., and *Fusarium* spp. These seed-borne pathogens can persist as dormant mycelium, spores, or sclerotia mixed with seeds (Hosseini *et al.*, 2023).

Fungicides used for pre-sowing seed treatment must not negatively impact seed germination (Ayesha *et al.*, 2021). The profitability and effectiveness of these treatments depend on factors like soybean variety, soil conditions, planting date, and population density (Rossman *et al.*, 2018).

The aim of this study was to evaluate the effects of pre-sowing soybean seed treatment with six different active substances at varying doses on seed germination energy and capacity, root rot development, and yield.

Materials and methods

The research was conducted in 2023 at Lviv National Environmental University (LNEU). Field experiments were performed at the University's Educational and Research Centre, while laboratory analyses were conducted at the Chair of Genetics, Plant Breeding, and Plant Protection. The experimental site is located at geographic coordinates 49.898185° N, 24.087261° E.

The soil at the experimental plots was dark-grey podzolic light loam, with low humus content (FAO, 2015). The clay content in the topsoil layer was 28.4 %, classifying the soil as light loam. The humus content was 2.26 %, and the pH (KCl) of the 0 - 20 cm soil horizon was 6.10, indicating slightly acidic conditions. Hydrolytic acidity in the arable horizon was low, at 2.60 cmol kg⁻¹. The sum of exchangeable

bases was $22.5 \text{ cmol kg}^{-1}$, corresponding to a high level of base saturation. The nitrogen content (Nh) in the 0 - 20 cm soil layer was 73 mg kg^{-1} , phosphorus was 56 mg kg^{-1} , and potassium was 36 mg kg^{-1} .

The early-maturing soybean variety Ambella® (developed by SAATBAU LINZ eGen, Austria) was used in the experiment. The preceding crop in the experimental plots was winter wheat.

Soybean was sown in plots measuring $10 \times 2.3 \text{ m}$, with a row spacing of 20 cm, and four replications per treatment. The sowing rate was 500 000 seeds per hectare. The mineral fertilizer NPK 15-15-15 (N.P.K.) was applied at a rate of 100 kg ha^{-1} at sowing. Ammonium sulfate ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$) was applied at a rate of 80 kg ha^{-1} at the BBCH 61 growth stage.

Pre-sowing seed treatment (dressing with a slurry formulation) of soybean seeds was conducted using various active substances and compared to an untreated control (UTC) (Table 1).

Seed germination energy and capacity after fungicide treatment were evaluated using the between paper method at two moments: 5 days for germination energy and 8 days for germination capacity. A total of 400 seeds (four replicates of 100 seeds each) were tested for each experimental variant. Germination energy and capacity were expressed as the percentage of normal seedlings observed after 5 and 8 days, respectively (Turnipseed, 2013). Seed and root infections were assessed using the blotter method (Vishunavat *et al.*, 2023), with seeds incubated in Petri dishes for 7 days at $20 \pm 2^\circ\text{C}$ under white light in a 12-hour light/dark cycle. Pathogen identification was performed microscopically.

Table 1. Experimental variants of soybean seed treatment

Variant	Active substances	Rate (ml kg^{-1})
UTC	untreated control	–
XP0.3	fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1})	0.3
XP0.4	fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1})	0.4
XP0.8	fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1})	0.8
TPF1.0	thiophanate methyl (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (25 g L^{-1}) + fipronil (225 g L^{-1})	1.0
TPF1.5	thiophanate methyl (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (25 g L^{-1}) + fipronil (225 g L^{-1})	1.5
FMS1.0	fludioxonil (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (37.5 g L^{-1}) + sedaxane (50 g L^{-1})	1.0
TMF1.2	thiabendazole (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (20 g L^{-1}) + fludioxonil (150 g L^{-1})	1.2
FM1.0	fludioxonil (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (10 g L^{-1})	1.0
P0.4	prothioconazole (300 g L^{-1})	0.4

In the field trial, sowing was carried out on May 4th. Seedlings began emerging on May 15th, with full emergence observed by May 21st. Weed control was achieved using the herbicides bentazone (870 g kg^{-1}) at 2.0 kg ha^{-1} , thifensulfuron-methyl (500 g kg^{-1}) at 6.0 g ha^{-1} (on May 31st), and quizalofop-P-ethyl (50 g L^{-1}) at 1.5 L ha^{-1} (on June 6th) during the BBCH 12 growth stage. Additional herbicide treatments were applied on July 15th during the BBCH 13 stage.

Root lesions from rot pathogens were assessed by determining disease incidence and severity. Root samples were collected from 25 plants per plot, taken consecutively from two adjacent rows at four different locations within each plot during the BBCH 12, BBCH 13, and BBCH 61 growth stages. Disease incidence was calculated as the percentage of infected plants, while disease severity was assessed using a 0-5 scale, where 0 indicated healthy roots and 5 indicated complete root rot (Brown and Kean, 1997). The disease severity index was expressed using a generally accepted formula and expressed as the percentage of infected root area: disease severity index (%) = $(\text{sum} [\text{class frequency} \times \text{rating class score}] / [(\text{total number of plants}) \times (\text{maximum disease index})] \times 100)$.

Harvesting was conducted separately for each plot using a Sampo plot combine with a cutting width of 1.5 m. The grain yield was expressed in tons per hectare (t ha^{-1}).

Descriptive statistics were used to assess root rot severity and incidence, and the results were visualized using Box and Whisker Plots. Root rot infection across the variants was evaluated using a t-test for independent samples, with a significance level of $p < 0.05$, and yield was evaluated using a Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). Correlation analysis was conducted to identify relationships between disease severity, incidence, and yield. All data were analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.

Results

In the laboratory experiment, the germination energy (5 days) and capacity (8 days) of treated and untreated soybean seeds were evaluated using the between paper method (Table 2).

Fungicide treatments XP0.4, XP0.8, and FM1.0 exhibited the highest germination energy (90.5 %-95.5 %), while the TPF1.0 treatment had the lowest value (17.0 %). Most variants achieved germination capacities between 91.0 % and 99.5 %, with the exception of TPF1.5.

Under laboratory conditions, fungal species from *Fusarium* spp. and *Rhizoctonia* spp., as well as fungus-like organisms from *Pythium* spp., were isolated from the soybean seeds used in the experiment.

In field conditions, root lesions were observed at growth stages BBCH 12 (Figure 1), BBCH 13, and BBCH 61.

Lesions, tissue darkening, and root constrictions caused by rot pathogens were observed. Additionally, visually observations indicated poorer root development in the UTC variant, which exhibited the highest disease incidence (72.5 %) and severity (14.8 %) at BBCH 12 (Figure 2). Significant differences in disease severity were observed between the UTC and the treated variants XP0.4, TPF1.5, and FMS1.0, as well as between the following pairs: XP0.4 and TPF1.0, TPF1.0 and TPF1.5, and TPF1.0 and FMS1.0 ($p < 0.05$).

A Box and Whisker Plot analysis showed a wide variance in disease incidence, particularly in the TPF1.0 variant, while the variance in disease severity was the smallest among all treatments.

At BBCH 13 (Figure 3), disease severity in UTC plants increased to 24.1 %, while disease incidence rose to 95%. Among treated seeds, disease severity ranged from 7.4 % to 17.8 %, and disease incidence ranged from 57.5 % to 87.5 %.

Using the t-test for independent samples, statistically significant differences were detected in disease severity between the UTC variant and the following variants: XP0.3, XP0.4, XP0.8, TPF1.0, TPF1.5, FMS1.0, TMF1.2, and FM1.0. Additionally, significant differences were observed between the following pairs of variants: XP0.4 and TPF1.0, XP0.4 and TMF1.2, XP0.4 and FM1.0, XP0.8 and FM1.0, TPF1.5 and FM1.0, and FMS1.0 and FM1.0. Regarding disease incidence, significant differences were found between the UTC and XP0.8 variants, UTC and TPF1.5, and XP0.8 and TMF1.2.

At BBCH 13 growth stage, the greatest variation in disease severity indices was observed in variant P0.4. Additionally, a significant amplitude in disease incidence indices was detected in variants XP0.3, XP0.4, and P0.4, as shown by Box and Whisker Plot analysis.

At BBCH 61, disease incidence and severity decreased across all variants due to the reduction in the proportion of infected root tissue and the die-off of severely affected plants. Disease incidence ranged from 10.0 % to 87.5 %, with UTC having the highest values. The largest decreases in disease incidence were in XP0.3 and XP0.8. Disease severity ranged from 1.0 % to 24.0 %, with the highest severity recorded in the UTC and the lowest in XP0.3 and XP0.8. The final observation showed a reduction in the amplitude of severity indices across all variants, except for UTC, TPF1.0, and TMF1.2 (Figure 4).

To identify the causal organisms of soybean root rot, samples with lesions were collected from each variant. Incubation of these samples in Petri dishes using the blotter method (Figure 5, Figure 6) allowed the detection of fungi such as *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., and fungus-like organisms *Aphanomyces* spp. and *Pythium* spp.

Soybean yield varied from 3.16 to 3.75 tons per hectare, with the highest yield in TPF1.5 and the lowest in TMF1.2 (Figure 7).

Box and Whisker Plot analysis indicated that the TPF1.5 treatment exhibited the greatest yield amplitude and also achieved the highest overall yield. Statistical analysis revealed significant yield differences between treated and untreated variants

Table 2. Germination energy and germination capacity of soybean seeds under laboratory conditions

Variant	Germination energy (%)	Germination capacity (%)
UTC	46.0 ^a	97.5 ^{ab}
XP0.3	78.5 ^b	97.5 ^{ab}
XP0.4	90.5 ^c	99.5 ^a
XP0.8	95.5 ^c	95.5 ^{abc}
TPF1.0	17.0 ^d	91.0 ^{cd}
TPF1.5	45.5 ^a	87.5 ^d
FMS1.0	29.0 ^e	93.0 ^{bcd}
TMF1.2	65.5 ^f	99.5 ^a
FM1.0	91.0 ^c	97.0 ^{abc}
P0.4	70.0 ^{bf}	99.0 ^{ab}

UTC: Untreated control. Based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). Data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.

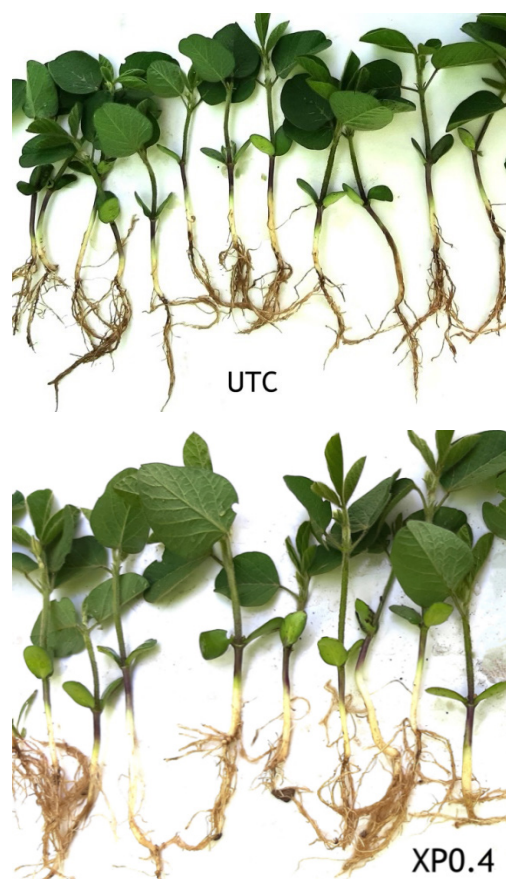


Figure 1. Soybean plants in the experiment (growth stage BBCH 12).

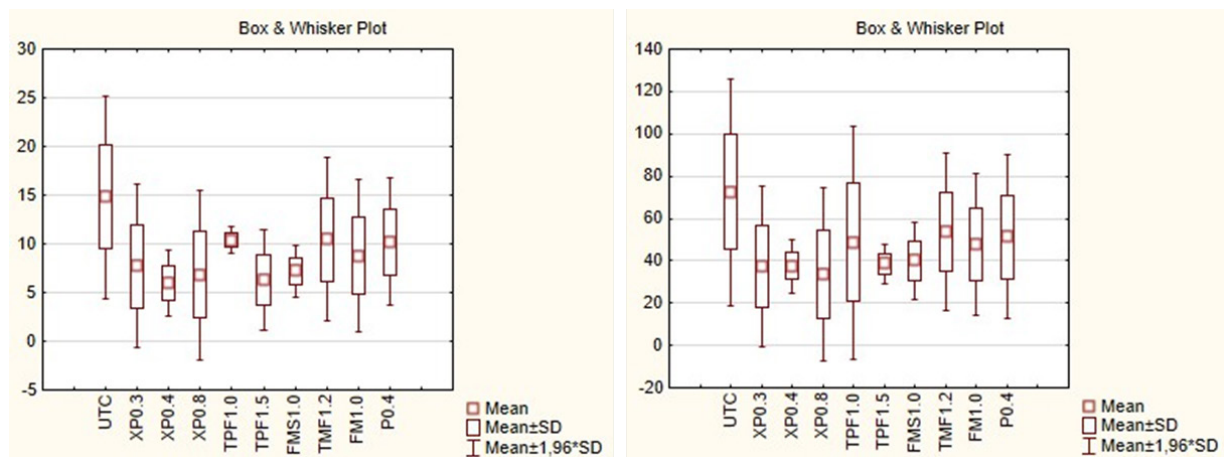


Figure 2. Statistical indices of root rot development on soybean at BBCH 12 growth stage (left: disease severity [%], right: disease incidence [%]), based on data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.

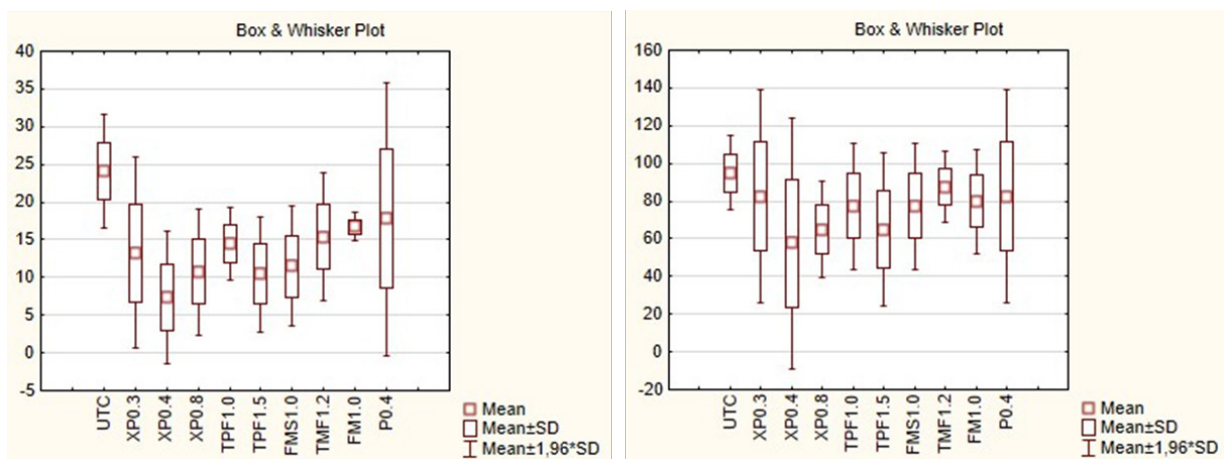


Figure 3. Statistical indices of root rot development on soybean at BBCH 13 growth stage (left: disease severity [%], right: disease incidence [%]), based on data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.

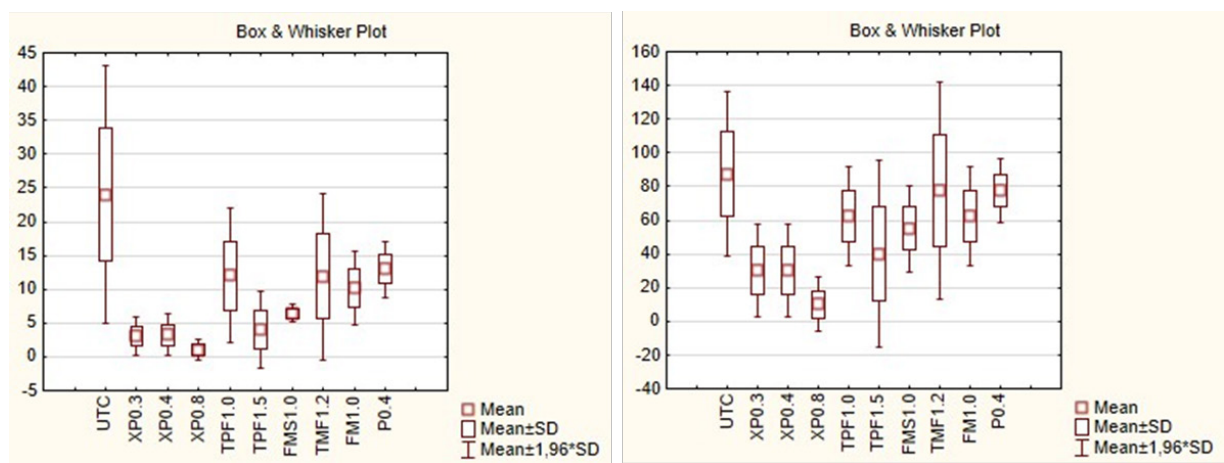


Figure 4. Statistical indices of root rot development on soybean at BBCH 61 growth stage (left: disease severity [%], right: disease incidence [%]), based on data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.



Figure 5. Parts of soybean roots with rot lesions after 7 days of incubation (1 = UTC; 2 = XP0.3; 3 = XP0.4; 4 = XP0.8; 5 = TPF1.0; 6 = TPF1.5; 7 = FMS1.0; 8 = TMF1.2; 9 = FM1.0; 10 = P0.4).



Figure 6. Morphological structures of fungi from the genus *Fusarium* spp. on infected root samples (left) and under the microscope (400x magnification) (right).

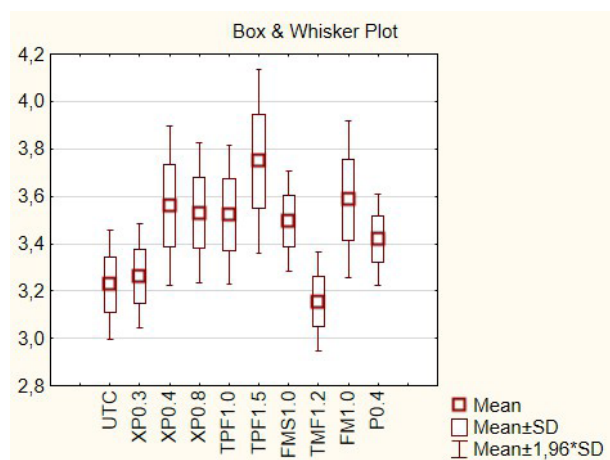


Figure 7. Soybean yield in tons per hectare (data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25).

(Table 3). In particular, statistically significant differences were observed between the UTC variant and all other variants, except TMF1.2, XP0.3, and P0.4. Additionally, significant differences were observed among the fungicide-treated variants, particularly between XP0.3 and the following:

Table 3. Comparison of soybean yields in the experiment

Variant	Yield (t ha ⁻¹)	Statistical group
TMF1.2	3.16	a
UTC	3.23	ab
XP0.3	3.26	ab
P0.4	3.42	bc
FMS1.0	3.50	c
TPF1.0	3.52	cd
XP0.8	3.53	cd
XP0.4	3.56	cd
FM1.0	3.59	cd
TPF1.5	3.75	d

Based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). Data analyzed using Statistica software, version 14.0.1.25.

FMS1.0, TPF1.0, XP0.8, XP0.4, FM1.0, and TPF1.5. Statistically significant differences were also found between TMF1.2 and the variants P0.4, FMS1.0, TPF1.0, XP0.8, XP0.4, FM1.0, and TPF1.5, as well as between TPF1.5 and both P0.4 and FMS1.0.

Additionally, a moderate inverse correlation ($r = -0.64$) was found between root rot severity and yield at BBCH 12, while a strong inverse correlation ($r = -0.77$) was observed between disease incidence and yield at BBCH 13. These correlations were statistically significant ($p < 0.05$).

Discussion

Fungi *Fusarium* spp., and *Rhizoctonia* spp., and fungus-like organisms *Pythium* spp. were isolated under laboratory conditions from the seeds of the soybean variety Ambella® used in the experiment.

In the laboratory experiment, higher levels of germination energy were observed in soybean seeds subjected to pre-sowing treatment with pesticides containing the active substances fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1}) at application rates of 0.4 ml kg^{-1} and 0.8 ml kg^{-1} (XP0.4 and XP0.8), as well as fludioxonil (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (10 g L^{-1}), at 1.0 ml kg^{-1} (FM1.0). The germination capacity indices of these variants were high, but the highest capacity in the experiment was for the variant treated with fungicides containing the active substances fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1}) at the application rate of 0.4 ml kg^{-1} (XP0.4), as well as thiabendazole (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (20 g L^{-1}) + fludioxonil (150 g L^{-1}), at 1.2 ml kg^{-1} . Seed treatment with the active substances fluxapyroxad and thiabendazole showed the highest seed germination rates. These results are consistent with the results of Radzikowska *et al.* (2022) in pre-sowing treatment of maize seeds with succinate dehydrogenase inhibitors (like fluxapyroxad), and Hameed *et al.* (2019) in pre-sowing treatment of wheat seeds with different benzimidazoles (like thiabendazole).

Inhibitory action on soybean seed germination both after 5 and 8 days was detected in variants with pre-sowing treatment with preparations with the active substances thiophanate methyl (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (25 g L^{-1}) + fipronil (225 g L^{-1}) at the rates of 1.0 ml kg^{-1} (TPF1.0) and 1.5 ml kg^{-1} (TPF1.5). According to Nan (1995), thiophanate-methyl enhances the germination of sainfoin seeds, whereas Junior *et al.* (2019) reported that it has no effect on soybean seed germination. Seed treatment with pyraclostrobin has been shown to stimulate soybean growth, as noted by Li *et al.* (2020). In contrast, Triques *et al.* (2021) found that fipronil had no significant effect on the germination of treated sugarcane seeds, while Stevens *et al.* (1999) reported that fipronil disrupted the germination of rice seeds. The reduced soybean seed germination rates observed in these treatment variants can be attributed to the presence of fipronil in the formulation.

Field observations revealed that untreated seeds (control) suffered more root rot damage, while plants treated with fungicides had better-developed

root systems during the BBCH 12 and BBCH 13 growth stages. This enhanced root development can be attributed to the stimulant properties of fluxapyroxad, thiabendazole, and thiophanate methyl, as well as the reduced incidence of root rots resulting from fungicide treatments.

Laboratory analysis revealed the presence of *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., and *Rhizoctonia* spp. fungi, as well as fungus-like organisms *Aphanomyces* spp. and *Pythium* spp. in the infected soybean roots.

The progression of root rot in soybean plants treated with the studied seed treatments gradually intensified, reaching the highest levels at the BBCH 13 growth stage, with disease incidence ranging from 57.5 % to 87.5 %, and disease severity from 7.4 % to 17.8 %. The notable increase in root rot development at the BBCH 13 stage can be attributed to the diminishing efficacy of the seed treatment preparations over time, as the protective effect of such treatments typically lasts for an average time of 14 - 20 days (Kyrychenko *et al.*, 2022).

At the BBCH 61 growth stage, a decrease in root rot development was observed across all experimental variants. The most significant reduction was noted in the variant using the active substances fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1}) for the seed treatment at a rate of 0.8 ml kg^{-1} . The reduction in root rot infection can be attributed to the die-off of severely infected plants, as well as to the decreased susceptibility of mature plants to the disease.

Root rot had a significant impact on soybean yield in the experiment. A strong correlation was observed between yield and the disease development index at the BBCH 12 growth phase, as well as between yield and the disease prevalence index at BBCH 13.

Significantly higher yields can be achieved in soybean seeds with pre-sowing treatment with fungicides using following active substances (in comparison with untreated seeds): fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1}) at the rates of 0.4 ml kg^{-1} or 0.8 ml kg^{-1} (XP0.4 and XP0.8); thiophanate methyl (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (25 g L^{-1}) + fipronil (225 g L^{-1}) at 1.0 ml kg^{-1} or 1.5 ml kg^{-1} (TPF1.0, TPF1.5); fludioxonil (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (37.5 g L^{-1}) + sedaxane (50 g L^{-1}) at 1.0 ml kg^{-1} (FMS1.0); fludioxonil (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (10 g L^{-1}) at 1.0 ml kg^{-1} (FM1.0); and prothioconazole (300 g L^{-1}) at 0.4 ml kg^{-1} (P0.4). The soybean yield in these variants ranged from 3.42 to 3.75 tons per hectare. The highest yield in the experiment was observed in the variant treated with the active substances thiophanate methyl (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (25 g L^{-1}) + fipronil (225 g L^{-1}) at the rate of 1.5 ml kg^{-1} (TPF1.5).

When seed treatment preparations with the active substances fluxapyroxad (250 g L^{-1}) + pyraclostrobin (250 g L^{-1}) at a rate of 0.3 ml kg^{-1} (XP0.3) and thiabendazole (25 g L^{-1}) + metalaxyl-M (20 g L^{-1}) +

fludioxonil (150 g L⁻¹) at a rate of 1.2 ml kg⁻¹ (TMF1.2) were applied, soybean yield did not significantly differ from the control, where seed treatments were not used. The yield in these variants was 3.16 - 3.26 tons per hectare.

Conclusions

The use of fungicidal seed treatments with the active substances fluxapyroxad (250 g L⁻¹) + pyraclostrobin (250 g L⁻¹) at a rate of 0.4 ml kg⁻¹ increased seed germination energy and germination capacity. Using these active substances at a rate of 0.8 ml kg⁻¹, as well as fludioxonil (25 g L⁻¹) + metalaxyl-M (10 g L⁻¹) at a rate of 1.0 ml kg⁻¹, ensures high seed germination energy. When using these treatments, soybean yield was among the highest in the experiment. The preparation with thiabendazole (25 g L⁻¹) + metalaxyl-M (20 g L⁻¹) + fludioxonil (150 g L⁻¹) at a rate of 1.2 ml kg⁻¹ (TMF1.2) also resulted in the highest germination capacity observed in the experiment. However, the soybean plants treated with this preparation had some of the highest levels of root rot infection and the lowest yield in the experiment. The use of the active substances thiophanate methyl (250 g L⁻¹) + pyraclostrobin (25 g L⁻¹) + fipronil (225 g L⁻¹) at rates of 1.0 ml kg⁻¹ (TPF1.0) and 1.5 ml kg⁻¹ (TPF1.5) negatively affected soybean seed germination parameters (17.0 % - 45.5 % for germination energy, and 87.5 % - 91.0 % for germination capacity). However, the treatments resulted in high yield (3.52 - 3.75 tons per hectare). The reasons for this require further research.

References

- Ayesha, M. S.; Suryanarayanan, T. S.; Nataraja, K. N.; Prasad, S. R. and Shaanker, R. U. (2021). Seed treatment with systemic fungicides: Time for review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 654512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654512>
- Brown, J. and Kean, P. (1997). Assessment of disease and effects on yield. In: J. F. Brown and H. J. Ogle (Eds.), *Plant Pathogens and Plant Diseases* (pp. 315-329). Rockvale Publications. <https://www.appsnet.org/plant-pathogens-and-plant-disease>
- FAO. (2015). *World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- Feed and Grain Staff. (2024, August 13). *Ukraine's soybean exports set new records*. Feed and Grain. https://www.feedandgrain.com/grain-supply-chain/news/15681611/ukraines-soybean-exports-set-new-records?utm_source=chatgpt.com
- Gebeyaw, M. (2020). Review on: Impact of seed-borne pathogens on seed quality. *American Journal of Plant Biology*, 5(4), 77-81. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20200504.11>
- Gomes, Y. C. B.; Dalchiavon, F. C. and Valadão, F. C. de A. (2017). Joint use of fungicides, insecticides and inoculants in the treatment of soybean seeds. *Revista Ceres*, 64(3), 258-265. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764030006>
- Gowda, B.; Hiremath, U.; Kumara, V.; Ganiger, B. S. and Matti S. C. (2020). Effect of seed treatment with fungicides on seed quality of soybean (*Glycine max* L.) during storage. *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 420-424. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1f.8283>
- Gupta, A. and Kumar, R. (2020). Management of seed-borne diseases: an integrated approach. In: R. Kumar and A. Gupta (Eds.), *Seed-borne diseases of agricultural crops: Detection, diagnosis and management* (pp. 717-745). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9046-4_25
- Hameed, A.; Hameed, A.; Farooq, T.; Noreen, R.; Javed, S.; Batoool, S.; Ahmad, A.; Gulzar, T. and Ahmad, M. (2019). Evaluation of structurally different benzimidazoles as priming agents, plant defence activators and growth enhancers in wheat. *BMC Chemistry*, 13, 29. <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0546-2>
- Hosseini, B.; Voegelé, R. T. and Link, T. I. (2023). Diagnosis of soybean diseases caused by fungal and oomycete pathogens: Existing methods and new developments. *Journal of Fungi*, 9(5), 587. <https://doi.org/10.3390/jof9050587>
- Junior, L. D. B.; Ferrari, J. L.; Dario, G.; Triboni, Y. de B. and Raetano, C. G. (2019). Physiological potential and initial development of soybean plants as a function of seed treatment. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49, e55076. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49e55076>
- Kandel, Y. R.; Lawson, M. N.; Brown, M. T.; Chilvers, M. I.; Kleczewski, N. M.; Telenko, D. E. P.; Tenuta, A. U.; Smith, D. L. and Mueller D. S. (2023). Field and greenhouse assessment of seed treatment fungicides for management of sudden death syndrome and yield response of soybean. *Plant Disease*, 107(4), 1131-1138. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-22-0527-RE>
- Kyrychenko, O. V.; Kots, S. Y.; Khrapova, A. V. and Omelchuk, S. V. (2022). Biological activity of soybean seed lectin at the spraying of *Glycine max* plants against the background of seed treatment with pesticide containing fipronil, thiophanate-methyl, pyraclostrobin as active substances and rhizobial bacterization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(2), 105-113. <https://doi.org/10.15421/022215>
- Lamichhane, J. R.; You, M. P.; Laudinot, V.; Barbetti, M. J. and Aubertot, J.-N. (2020). Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops. *Plant Disease*, 104(3), 610-623. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1157-FE>
- Li, P.; Sun, P.; Li, D.; Li, D.; Li, B. and Dong, X. (2020). Evaluation of pyraclostrobin as an ingredient for soybean seed treatment by analyzing its accumulation-dissipation kinetics, plant-growth activation, and protection against *Phytophthora sojae*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(43), 11928-11938. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04376>
- Nan, Z. B. (1995) Fungicide seed treatments of sainfoin control seed-borne and root-invading fungi. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 38(3), 413-420. <https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513144>
- Navi, S. S.; Huynh, T.; Mayers, C. G. and Yang X.-B. (2019). Diversity of *Pythium* spp. associated with soybean damping-off, and management implications by using foliar fungicides as seed treatments. *Phytopathology Research*, 1, 8. <https://doi.org/10.1186/s42483-019-0015-9>
- Nyandoro, R.; Chang, K. F.; Hwang, S. F.; Ahmed, H. U.; Turnbull, G. D. and Strelkov, S. E. (2019). Management of root rot of soybean in Alberta with fungicide seed treatments and genetic resistance. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(4), 499-509. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0266>
- Pikovskiy, M. and Solomiichuk, M. (2022). Identification of mycobiota and diagnosis of soybean seed diseases. *Plant*

- and Soil Science, 13(1), 44-50. [https://doi.org/10.31548/agr.13\(1\).2022.44-50](https://doi.org/10.31548/agr.13(1).2022.44-50)
- Radzikowska, D.; Kowalczewski, P. Ł.; Grzanka, M.; Głowicka-Wołoszyn, R.; Nowicki, M. and Sawinska, Z. (2022). Succinate dehydrogenase inhibitor seed treatments positively affect the physiological condition of maize under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 984248. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.984248>
- Rossmann, D. R.; Byrne, A. M. and Chilvers, M. I. (2018). Profitability and efficacy of soybean seed treatment in Michigan. *Crop Protection*, 114, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.003>
- Sahu, S. K.; Patel, A. K.; Sunderrao, R. R.; Netam, K. and Tandon, A. L. (2023). Studies on seed borne mycoflora of soybean seeds by incubation methods. *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(18), 722-739. <https://doi.org/10.9734/ijps/2023/v35i183339>
- Sartori, F. F.; Pimpinato, R. F.; Tornisiello, V. L.; Engroff, T. D.; Jaccoud-Filho, D. de S.; Menten, J. O.; Dorrance, A. E. and Dourado-Neto, D. (2020). Soybean seed treatment: How do fungicides translocate in plants? *Pest Management Science*, 76(7), 2355-2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>
- Stevens, M. M.; Fox, K. M.; Coombes, N. E. and Lewin, L. A. (1999). Effect of fipronil seed treatments on the germination and early growth of rice. *Pest Management Science*, 55(5), 517-523. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199905\)55:5<517::AID-PS940>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199905)55:5<517::AID-PS940>3.0.CO;2-J)
- Thrane, M.; Paulsen, P. V.; Orcutt, M. W. and Krieger, T. M. (2017). Chapter 2. Soy protein: Impacts, production, and applications. In: S. R. Nadathur; J. P. D. Wanasundara and L. Scanlin (Eds.), *Sustainable Protein Sources* (pp. 23-45). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00002-0>
- Triques, M. C.; Oliveira, D.; Goulart, B. V.; Montagner C. C.; Espíndola, E. L. G. and Menezes-Oliveira, V. B. (2021). Assessing single effects of sugarcane pesticides fipronil and 2,4-D on plants and soil organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111622. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111622>
- Tsedaley, B. (2015). Review on seed health tests and detection methods of seedborne diseases. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(5), 176-184. <https://core.ac.uk/download/pdf/234660796.pdf>
- Turnipseed, B. (2013). Soybean seed testing and seed quality. In: D. E. Clay; C. G. Carlson; S. A. Clay; L. Wagner; D. Deneke and C. Hay (Eds), *iGrow soybeans: Best management practices for soybean production* (pp. 79-84). South Dakota State University, SDSU Extension. <https://extension.sdstate.edu/sites/default/files/2020-03/S-0004-09-Soybean.pdf>
- UKRSTAT. (2023). Economic statistics/economic activity/ agriculture, forestry and fishery: crops-growing. State Statistics Service of Ukraine (UKRSTAT). <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Vishunavat, K.; Prabakar, K. and Anand, T. (2023). Seed health: Testing and management. In: M. Dadlani and D. K. Yadava (Eds.), *Seed Science and Technology* (pp. 335-364). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_14

Evaluación de los niveles de plomo y cadmio y rendimiento sensorial en marcas comerciales de café (*Coffea arabica*) de Jaén, Perú

Evaluation of lead and cadmium levels and sensory performance in commercial coffee brands (*Coffea arabica*) from Jaen, Peru

James Tirado Lara ^{1,2}, Andrea Fioreli Velarde Santoyo ^{1,3}, Adán Díaz Ruiz ^{1,4},
Sarela García Neyra ^{1,5}, Karla Edith Contreras Roque ^{1,6}.

¹Universidad Nacional de Jaén. Jaén, Perú. ² ✉ james_tirado@unj.edu.pe; ³ ✉ andrea.velarde@unj.edu.pe; ⁴ ✉ adiazr@unj.edu.pe;
⁵ ✉ sarela.garcia@est.unj.edu.pe; ⁶ ✉ karla.contreras@est.unj.edu.pe



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.117221>

2024 | 73-2 p 167-176 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-10-25 Acep.: 2025-05-21

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo determinar los niveles de plomo y cadmio y el rendimiento sensorial de 20 marcas de café de Jaén, Perú, en 3 presentaciones: tostado molido, borra y esencia. Estos niveles se determinaron por espectrofotometría de absorción y el rendimiento sensorial a través de catadores certificados. Se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias significativas entre grupos y la prueba de Tukey cuando se encontraron diferencias. Los niveles se compararon con los límites de la Unión Europea ($Pb < 1.0 \text{ mg/kg}$, $Cd < 0.05 \text{ mg/kg}$). Los resultados revelaron que los niveles de plomo (Pb) y cadmio (Cd) no superaron los límites máximos permisibles (LMP) en ninguna de las muestras. La prueba inferencial indicó que la concentración de estos metales en la esencia de café es significativamente menor comparada con el café tostado molido y la borra. En cuanto a la calidad sensorial, la mayoría de las marcas evaluadas superaron el 80% de rendimiento. Esta investigación proporciona evidencia sobre la seguridad y calidad del café comercializado en Jaén, lo que respalda su reputación en el mercado nacional e internacional.

Palabras clave: borra, calidad, café, esencia, metales pesados, tostado molido.

Abstract

This research aimed to determine the levels of lead and cadmium, and as well as the sensory performance of 20 coffee brands from Jaén, Peru, in three presentations: ground roasted, spent grounds, and essence. Lead and cadmium levels were determined by absorption spectrophotometry and sensory performance through certified tasters. Analysis of variance was performed to detect significant differences between groups, and Tukey's test was applied used when such differences were found. The established levels were compared with the maximum permissible limits (MPLs) set by the European Union ($Pb < 1.0 \text{ mg/kg}$, $Cd < 0.05 \text{ mg/kg}$). The results revealed that Pb and Cd levels were below the MPLs samples. The inferential test indicated that the concentration of these metals in the essence was significantly lower than in ground roasted coffee and spent grounds. Regarding sensory quality, most of the brands evaluated exceeded 80% performance. This research provides evidence of the safety and quality of coffee marketed in Jaén, supporting its reputation in the national and international market.

Keywords: Coffee, coffee grounds, essence, ground roasted, heavy metals, quality.

Introducción

En Perú, el consumo anual de café alcanza 1.4 kilos per cápita, los cuales están distribuidos en 900 gramos de producción nacional y 500 gramos de importación, principalmente solubles. El café destaca como un producto crucial en la canasta exportadora peruana (León, 2023). Desde 2021, las exportaciones de café y sus derivados superaron los US\$ 764 000 000; Europa fue el principal destino. De los 20 000 000 de consumidores de café en el país, entre 70 000 y 100 000 son entusiastas que buscan variedades de alta calidad en diferentes presentaciones (Junta Nacional del Café, 2021).

Dada la importancia económica y cultural del café en Perú, es fundamental garantizar su calidad y seguridad para el consumo humano y la preservación del medio ambiente. La calidad del café exige que esté libre de contaminantes como metales pesados, un aspecto que las políticas ambientales actuales cuestionan en todas las etapas de producción y procesamiento (Guadalupe *et al.*, 2023). Los mismos investigadores señalan que, la contaminación por metales pesados durante el cultivo o procesamiento del café puede comprometer la inocuidad de sus granos y de la bebida resultante.

Por otro lado, las plantas de café absorben los metales del suelo, almacenándolos en sus raíces y transportándolos a brotes y granos, lo que causa graves consecuencias para la salud de los consumidores, incluyendo deficiencias neurológicas y hepáticas (Balali-Mood *et al.*, 2021), así como mutagénesis, teratogénesis, cáncer y embriotoxicosis (Winiarska-Mieczan *et al.*, 2021). Esta contaminación por metales pesados representa una seria amenaza para la biodiversidad en las regiones productoras de café (Guadalupe *et al.*, 2023).

Además de ello, la calidad sensorial u organoléptica del café es un atributo distintivo que lo posiciona favorablemente a nivel mundial. El café acumula naturalmente metales esenciales como K, Mg, Ca, Na, Mn, Fe, Cu, Zn y Co (Adler *et al.*, 2019), pero también puede contener metales pesados como cadmio y plomo, que pueden aparecer durante los procesos de fabricación (Stroheker *et al.*, 2019).

Estos metales pesados al ser absorbidos por el tracto digestivo, se acumulan gradualmente en los tejidos, incluso en dosis bajas y provocan efectos nocivos (Nordberg *et al.*, 2014). Ante esta preocupante situación, y con el fin de proteger a los consumidores, diversos organismos internacionales han establecido límites máximos permisibles para metales pesados en alimentos. Estas regulaciones se encuentran en normativas de la Unión Europea, Reglamento (CE) n° 1881/2006, en el Reglamento Técnico Mercosur y en las normas internacionales de los Alimentos (Codex Alimentarius).

A pesar de las normas establecidas, Winiarska-Mieczan *et al.* (2023) mencionan que, el riesgo de enfermedades relacionadas con la exposición crónica al Cd y Pb por consumo de café es bajo. Sin embargo, recomiendan prestar especial atención al Pb, ya que, su ingesta puede superar los niveles seguros para el consumidor.

La investigación de metales pesados en el café de alta calidad producido en Jaén es fundamental debido a su importancia comercial y la necesidad de proteger la salud del consumidor. Estudiar simultáneamente el rendimiento de taza y los niveles de metales pesados proporcionará información valiosa para el desarrollo de la industria cafetalera local. Estos esfuerzos no solo fomentarán la producción de un café de calidad superior, sino que también promoverán el consumo de un producto inocuo.

A partir de ello, la presente investigación planteó la hipótesis que el café tostado molido de 20 marcas comerciales de la provincia de Jaén contienen niveles de Pb y Cd que superan los LMP y que tienen un rendimiento sensorial de 80%. Los objetivos fueron cuantificar las concentraciones de Pb y Cd en café tostado molido, borra y esencia de 20 marcas comerciales locales; determinar el rendimiento sensorial de estas mismas marcas de café y comparar los niveles de Pb y Cd detectados en las muestras analizadas con los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea (Pb = 1.0 mg/kg; Cd = 0.05 mg/kg).

Materiales y métodos

Se recolectaron muestras de 20 marcas comerciales de café tostado molido (molienda media, tostado medio) de cooperativas, mercados y cafeterías de Jaén, adquiriendo 3 envases por marca y registrando lote y fecha de vencimiento. Para cada marca de café, se extrajeron 3 submuestras de 10 g por envase, destinadas tanto al análisis de rendimiento sensorial como al de metales pesados. La evaluación del rendimiento sensorial se llevó a cabo en el laboratorio de catación de la Cooperativa Norcafé, situado en el sector Linderos, ruta 9, entre Jaén y San Ignacio. El análisis de metales pesados se realizó en el laboratorio del Centro de Análisis Espectrofotométrico de la Universidad Nacional de Jaén, Yanuyacu, Perú.

Análisis sensorial por catación

La evaluación sensorial se realizó con 2 catadores Q Grader certificados, siguiendo la NTP 209.028:2015 y la metodología SCA. Se evaluaron parámetros como aroma, sabor, acidez, cuerpo, dulzor, taza limpia y puntaje del catador. Las evaluaciones fueron individuales y en horarios distintos para evitar influencias mutuas. Se utilizaron 8.25 g de café tostado molido por cada 150 ml de agua en 100 pírex. El proceso incluyó la evaluación de fragancia en seco;

adición de agua a 93-95°C, reposo por 3 minutos; ruptura de la costra para evaluar el aroma; aspiración y expulsión de la bebida con cucharas de catación y el registro en formatos de evaluación. Este proceso de catación duró aproximadamente 30 minutos.

Extracción de esencia y borra de café

La extracción de la esencia de café se realizó mediante el método de prensa francesa de 350 ml, empleando agua purificada por ósmosis inversa para garantizar la calidad de los análisis. Para cada marca, se utilizaron 7.5 g de café de molienda gruesa y tostado medio, a los que se añadieron 120 ml de agua a 92 °C. La mezcla se dejó reposar durante 3 minutos. Finalmente, se presionó el émbolo para obtener la esencia y separar la borra.

Análisis de metales pesados

El análisis de Cd y Pb se realizó mediante el siguiente protocolo: para café tostado molido y borra se pesaron 0.5 g de muestra en tubos de teflón; se añadieron 5 ml de ácido nítrico y 2 ml de peróxido de hidrógeno; se realizó la digestión en microondas 420 W por 5:30 min, luego 350 W por 9:30 min, alcanzando 70°C. finalmente se hizo el enfriamiento, filtrado y dilución.

Para esencia de café (según NOM-117-SSA 1-1994): se midieron 0.5 ml de esencia en tubos de teflón; se añadieron 2 ml de ácido nítrico y 6 ml de peróxido de hidrógeno, la digestión se realizó en microondas a 200 W por 15 min, alcanzando 55°C y, finalmente, se hizo el filtrado y la dilución. Las muestras preparadas se analizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Agilent Technologies 4100 MP-AES. Para ambos elementos, se verificó la curva de calibración, asegurando un coeficiente de correlación $R^2 \leq 0.99$. Se utilizó agua ultrapura como blanco y se realizó lecturas de control cada 10 muestras para mantener la precisión del análisis.

Diseño de la investigación

Se empleó un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial 20A x 3B y 3 repeticiones para evaluar las diferencias significativas entre las etapas del café. El factor A correspondió a las marcas de café, mientras que el factor B representó las etapas de postcosecha (tostado, borra y bebida). Este diseño permitió analizar la interacción entre las marcas y las etapas de procesamiento del café.

Análisis de datos

El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva no experimental, con medidas de tendencia central y dispersión, y pruebas de hipótesis con significancia de 0.05. Para evaluar la concentración de Cd y Pb en café tostado molido, borra y esencia, se

calcularon mediana y media aritmética. Se realizó ANOVA para detectar diferencias significativas entre grupos, aplicando la prueba de Tukey (0.05) cuando se encontraron diferencias. Los resultados se compararon con los límites de la Unión Europea (Pb < 1.0 mg/kg, Cd < 0.05 mg/kg) para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Resultados

Contenido de cadmio (Cd)

En esta sección de resultados, las marcas de café se representarán con las siguientes siglas: Num Café (NCA), Pakas Coffe (PKC), Aromas de Montaña (ADM), Dios te Dé (DTD), APU, Café Samiria (CSM), Bosques Verdes (BOV), Café 6.30 (C63), Café Amaju (CAM), Huacora Café (HUA), Tesoro Perdido (TPE), Chasqui (CHA), My Finca (MyF), Café Huarango (CAH), Grano de Oro (GOR), Ángel Coffe (ANC), Jaén Coffe (JAE), Café Pirias (CPI) Café S.I (CSI) y Esmeralda (ESM). El análisis de Cd en 20 marcas de café se realizó en 3 formas: tostado molido, borra y esencia. El café tostado molido presentó los niveles más altos (valor medio = 0.017 y mediana = 0.0173), seguido por la borra (media = 0.012 y mediana = 0.0121), mientras que la esencia mostró las concentraciones más bajas (media = 0.0085 y mediana = 0.0087).

En cuanto al café tostado molido (Figura 1), la marca NCA mostró la mayor concentración de Cd con 0.0214 ppm, mientras que ESM registró la menor con 0.0120 ppm. Para la borra (Figura 2), HUA presentó el contenido más alto de Cd (0.0157 ppm), en contraste con ESM, que nuevamente mostró la concentración más baja (0.0085 ppm). En cuanto a la esencia (Figura 3), MyF y NCA exhibieron los niveles más elevados de Cd, mientras que CSM registró la concentración más baja con 0.0034 ppm.

El valor promedio en tostado molido para Cd fue de 0.0174 ppm, el límite máximo de 0.020 y el límite mínimo de 0.015. La marca PKC y NCA superaron el límite máximo, mientras que, las marcas ESM y CPI se encontraron por debajo del valor mínimo. En el caso de borra de café, el valor promedio de Cd fue de 0.012 ppm, el límite máximo de 0.014 y el límite mínimo de 0.0102. Las marcas BOV, CSM y ESM estuvieron por debajo del límite mínimo, mientras que, MYF y HUA pasaron del límite máximo. Para esencia de café, el valor promedio fue de 0.0085 ppm, el límite máximo de 0.0105 y el límite mínimo de 0.0065. Algunas marcas excedieron el valor medio, tales como MyF y NCA, mientras que BOV, CSM y CPI se situaron por debajo del límite mínimo.

Por su parte, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que existen diferencias significativas en cuanto al nivel de Cd (Tabla 1) en las diferentes marcas de café, así como en cada etapa (tostado molido, borra y esencia).

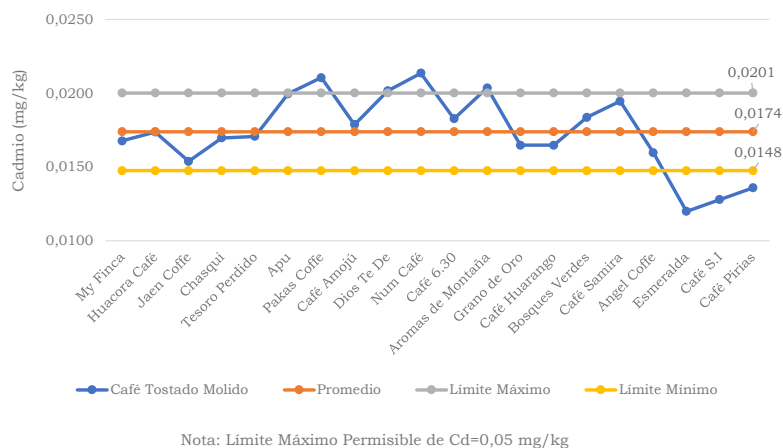


Figura 1. Concentración de cadmio (Cd) en 20 marcas de café (tostado molido)

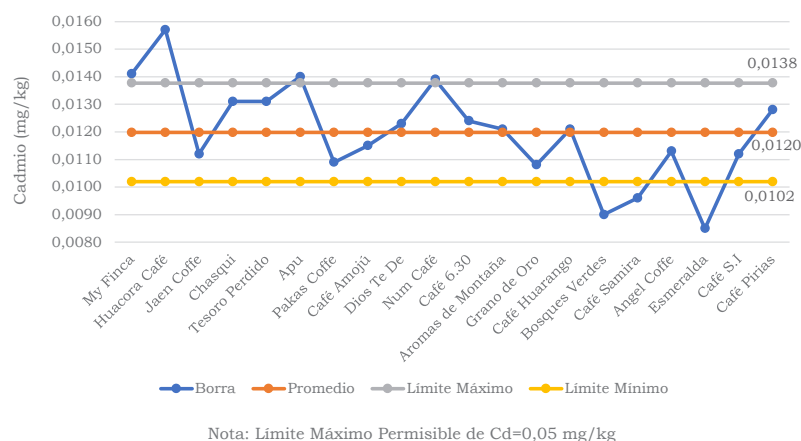


Figura 2. Concentración de cadmio (Cd) en 20 marcas de café (borra)

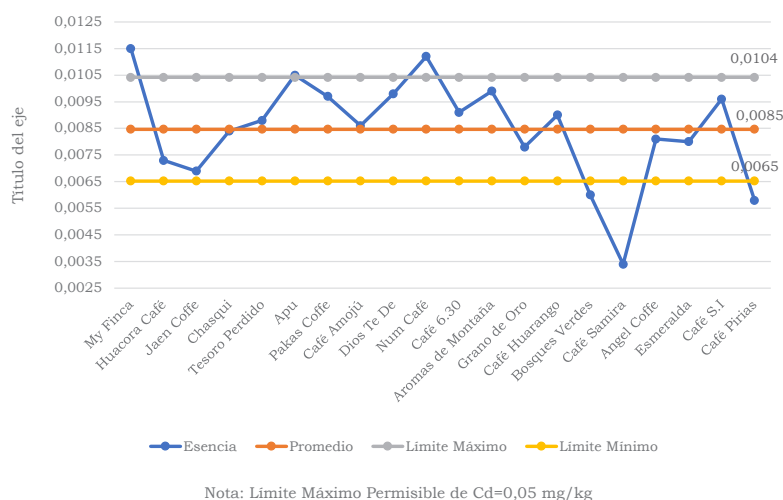


Figura 3. Concentración de cadmio (Cd) en 20 marcas de café (esencia)

La prueba de Tukey (Tabla 2) reveló que la marca NCA presentó la mayor concentración de Cd, superando a las demás marcas evaluadas. CSM, en esencia, mostró la concentración más baja de Cd

entre todas las marcas analizadas, lo que sugiere que la presencia de este metal en la bebida preparada con este café sería mínima.

Tabla 1. ANOVA ($p=0.05$) del nivel de cadmio en 20 marcas de café molido, borra y esencia

FV	SC	GL	CM	F observado	F tabular	
					0.05	0.01
Repeticiones	0.000017	2	0.0000008	0.1620	3.073	4.796
Tratamientos	0.0032346	59	0.0000548	10.7401 **	1.437	1.671
Factor A (marca de Café)	0.0004245	19	0.0000223	4.3766 **	1.681	2.068
Factor B (etapa de postcosecha)	0.0024428	2	0.0012214	239.2716 **	3.630	4.796
Interacción A x B	0.0003673	38	0.0000097	1.8938 **	1.520	1.786
Error	0.0006023	118	0.0000051			
Total	0.0038	179				
	% CV =	17.89			** Altamente significativo	

Tabla 2. Prueba de Tukey ($p=0.05$) del nivel de Cd en 20 marcas de café tostado molido, borra y esencia

N°	Marca	Promedio		
		Tostado molido	Borra	Esencia
1	NCA	0.0214 ^a	0.0139 ^{bcdefghijklm}	0.0112 ^{efghijklmno}
2	PKC	0.0211 ^a	0.0109 ^{efghijklmno}	0.0097 ^{ijklmnop}
3	ADM	0.0204 ^{ab}	0.0121 ^{efghijklmno}	0.0099 ^{hijklmnop}
4	DTD	0.0202 ^{ab}	0.0123 ^{efghijklmno}	0.0098 ^{hijklmnop}
5	APU	0.0200 ^{abc}	0.0140 ^{bcdefghijklm}	0.0105 ^{ghijklmno}
6	CSM	0.0195 ^{abcd}	0.0096 ^{ijklmnop}	0.0034 ^p
7	BOV	0.0184 ^{abcde}	0.0090 ^{ijklmnop}	0.0060 ^{op}
8	C63	0.0183 ^{abcde}	0.0124 ^{efghijklmno}	0.0091 ^{ijklmnop}
9	CAM	0.0179 ^{abcdef}	0.0115 ^{efghijklmno}	0.0086 ^{klmnop}
10	HUA	0.0174 ^{abcdefg}	0.0157 ^{abcdefghijk}	0.0073 ^{mnop}
11	TPE	0.0171 ^{abcdefg}	0.0131 ^{defghijklmn}	0.0088 ^{klmnop}
12	CHA	0.0170 ^{abcdefg}	0.0131 ^{defghijklmn}	0.0084 ^{lmnop}
13	MyF	0.0168 ^{abcdefgh}	0.0141 ^{bcdefghijklm}	0.0115 ^{efghijklmno}
14	CAH	0.0165 ^{abcdefghi}	0.0121 ^{efghijklmno}	0.0090 ^{ijklmnop}
15	GOR	0.0165 ^{abcdefghi}	0.0108 ^{efghijklmno}	0.0078 ^{mnop}
16	ANC	0.0160 ^{abcdefghij}	0.0113 ^{efghijklmno}	0.0081 ^{mnop}
17	JAE	0.0154 ^{abcdefghijkl}	0.0112 ^{efghijklmno}	0.0069 ^{mnop}
18	CPI	0.0136 ^{cdefghijklm}	0.0128 ^{defghijklmno}	0.0058 ^{op}
19	CSI	0.0128 ^{defghijklmno}	0.0112 ^{efghijklmno}	0.0096 ^{ijklmnop}
20	ESM	0.0120 ^{efghijklmno}	0.0085 ^{klmnop}	0.0080 ^{mnop}

Nota: LMP de Cd= 0.05 mg/kg

Contenido de plomo (Pb)

El café tostado molido (Figura 4) presentó los niveles más altos de Pb (media = 0.2007 y mediana = 0.2017), seguido por la borra de café con niveles intermedios (media = 0.0564 y mediana = 0.0415), mientras que, la esencia mostró las concentraciones más bajas (media = 0.0062 y mediana = 0.0019).

En la cantidad de Pb en café tostado molido (Figura 4), CAH registró el mayor contenido de Pb (0.2433 ppm), mientras que CHA mostró la menor concentración. Para la borra (Figura 5), PKC presentó el valor más alto (0.173 ppm) y CSM el más bajo (0.014 ppm). En la esencia (Figura 6), TPE tuvo la mayor concentración (0.053 ppm), mientras que DTD mostró la menor (0.0004 ppm).

El valor promedio en café tostado molido para Pb fue de 0.2007 ppm, el límite máximo de 0.2242 y el límite mínimo de 0.1771. La marca CHA estuvo por debajo del valor mínimo, en contraste, la marca CAH destaca por estar encima del valor máximo, en relación con la media muestral. En cuanto a borra de café, el promedio para Pb fue de 0.0564 ppm, el límite máximo de 0.0976 y el límite mínimo de 0.0153. Sólo la marca PKC destaca por superar el límite máximo. Así mismo, la esencia de café, presentó como valor promedio de 0.0062 ppm, el límite máximo de 0.0179 y el límite mínimo de -0.0055. La marca TPE sobresale del límite máximo, mientras que las demás marcas se mantienen dentro del promedio.

La prueba de ANOVA reveló diferencias significativas en los niveles de Pb entre las distintas marcas de café analizadas (Tabla 3), en sus 3 presentaciones, lo cual indica que la concentración de Pb varía significativamente en cada etapa del procesamiento del café.

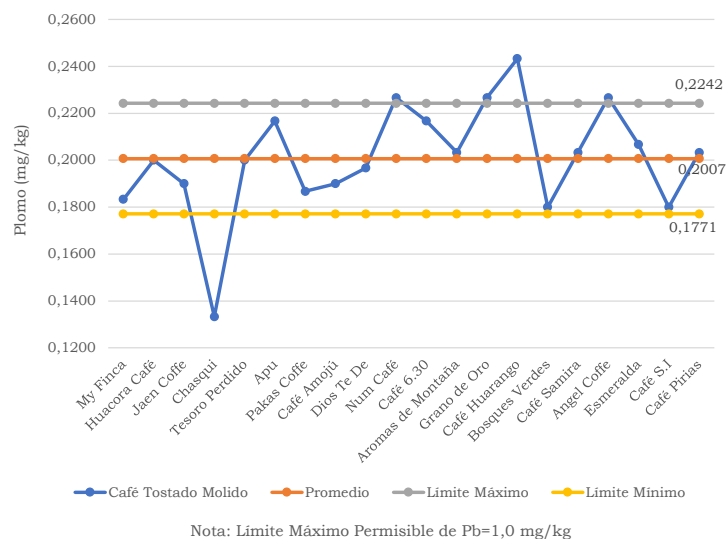


Figura 4. Concentración de plomo (Pb) en 20 marcas de café (tostado molido).

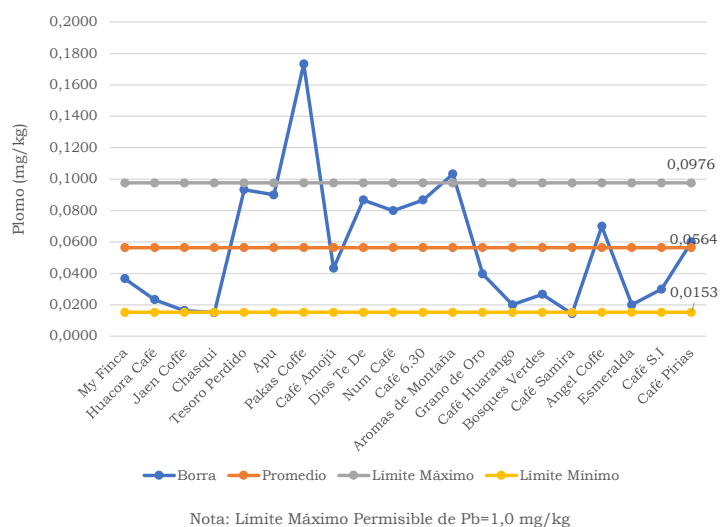


Figura 5. Concentración de plomo (Pb) en 20 marcas de café (borra)

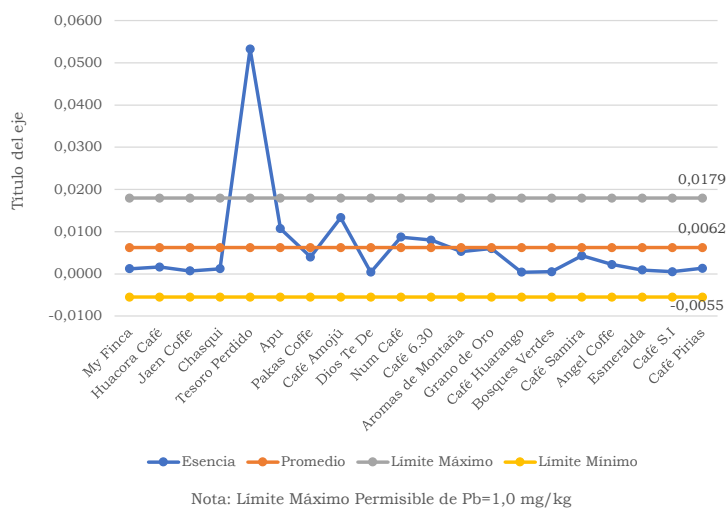


Figura 6. Concentración de plomo (Pb) en 20 marcas de café (esencia)

Tabla 3. ANOVA ($p=0.05$) del nivel de plomo (Pb) en 20 marcas de café molido, borra y esencia

FV	SC	GL	CM	F observado	F tabular	
					0.05	0.01
Repeticiones	0.0023406	2	0.0011703	1.1618	3.073	4.796
Tratamientos	1.3587246	59	0.0230292	22.8613 **	1.437	1.671
Factor A (marca de Café)	0.0577118	19	0.0030375	3.0153 **	1.681	2.068
Factor B (etapa de poscosecha)	1.2226175	2	0.6113088	606.8513 **	3.630	4.796
Interacción A x B	0.0783952	38	0.0020630	2.0480 **	1.520	1.786
Error	0.1188667	118	0.0010073			
Total	1.4776	179				
	% CV =	36.16				

Asimismo, para el Pb, la prueba de Tukey indicó que la marca CAH de café tostado molido superó estadísticamente a las demás marcas en la concentración de Pb (Tabla 4). Tal como sucede en el nivel de Cd, la esencia presentó niveles más bajos de Pb.

Prueba de hipótesis ($p \geq 0.05$)

En la Tabla 5 se muestran los valores observados de la hipótesis o LMP para cada metal y por cada presentación de café (molido, borra o esencia). Tanto para Cd como para Pb los valores observados fueron inferiores al valor tabular, lo cual rechaza la hipótesis planteada (LMP de 0.05 mg/kg para Cd y 1.0 mg/kg para Pb). Esto indicaría que, los cafés que se comercializan en los mercados y cafeterías de Jaén en las diferentes marcas estudiadas son de excelente calidad.

Rendimiento sensorial de las marcas de café

En cuanto a la evaluación sensorial, la marca NCA obtuvo el mejor puntaje (84) en taza para ambos catadores, mientras que APU registró el menor puntaje con 68 y 79 puntos, seguida por CSM y HUA (Tabla 6). La mayoría de las marcas superaron el 80% de calidad en taza, lo que los clasifica como cafés *premium* muy buenos según el protocolo de puntuación Q Grader de la SCA. Sin embargo, APU con un rendimiento de calidad del 73,5%, se considera como café no especial.

Discusión

La presencia de Pb y Cd en las diferentes presentaciones (tostado molido, borra y esencia) de las 20 marcas comerciales de café analizadas no supera los LMP, lo que sugiere una excelente calidad y aptitud para el consumo; estos resultados son similares a otros estudios. Por otra parte, Semen *et al.* (2017) y Adler *et al.* (2019) observaron que los contenidos de metales

Tabla 4. Prueba de Tukey ($p=0,05$) del nivel de plomo (Pb) en 20 marcas de café tostado molido, borra y esencia.

N°	Marca	*Promedio		
		Tostado molido	Borra	Esencia
1	CAH	0.2433 ^a	0.0200 ^d	0.0004 ^d
2	ANC	0.2267 ^{ab}	0.0700 ^{cd}	0.0022 ^d
3	GOR	0.2267 ^{ab}	0.0397 ^d	0.0060 ^d
4	NCA	0.2267 ^{ab}	0.0800 ^{cd}	0.0087 ^d
5	C63	0.2167 ^{ab}	0.0867 ^{cd}	0.0080 ^d
6	APU	0.2167 ^{ab}	0.0900 ^{cd}	0.0107 ^d
7	ESM	0.2067 ^{ab}	0.0200 ^d	0.0009 ^d
8	CPI	0.2033 ^{ab}	0.0600 ^{cd}	0.0013 ^d
9	CSM	0.2033 ^{ab}	0.0143 ^d	0.0043 ^d
10	ADM	0.2033 ^{ab}	0.1033 ^{cd}	0.0053 ^d
11	TPE	0.2000 ^{ab}	0.0933 ^{cd}	0.0533 ^{cd}
12	HUA	0.2000 ^{ab}	0.0233 ^d	0.0016 ^d
13	DTD	0.1967 ^{ab}	0.0867 ^{cd}	0.0004 ^d
14	CAM	0.1900 ^{ab}	0.0433 ^d	0.0133 ^d
15	JAE	0.1900 ^{ab}	0.0163 ^d	0.0007 ^d
16	PKC	0.1867 ^{ab}	0.1733 ^{ab}	0.0040 ^d
17	MyF	0.1833 ^{ab}	0.0367 ^d	0.0012 ^d
18	CSI	0.1800 ^{ab}	0.0300 ^d	0.0005 ^d
19	BOV	0.1800 ^{ab}	0.0267 ^d	0.0005 ^d
20	CHA	0.1333 ^{bc}	0.0150 ^d	0.0012 ^d

LMP de Pb = 1.0 mg/kg

Tabla 5. Prueba de hipótesis de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en 20 marcas de café.

Marca de café	Cadmio			Plomo		
	Café tostado molido	Borra	Esencia	Café tostado molido	Borra	Esencia
My Finca	0.0168	0.0141	0.0115	0.1833	0.0367	0.0012
Huacora Café	0.0174	0.0157	0.0073	0.2000	0.0233	0.0016
Jaén Coffe	0.0154	0.0112	0.0069	0.1900	0.0163	0.0007
Chasqui	0.0170	0.0131	0.0084	0.1333	0.0150	0.0012
Tesoro Perdido	0.0171	0.0131	0.0088	0.2000	0.0933	0.0533
Apu	0.0200	0.0140	0.0105	0.2167	0.0900	0.0107
Pakas Coffe	0.0211	0.0109	0.0097	0.1867	0.1733	0.0040
Café Amojú	0.0179	0.0115	0.0086	0.1900	0.0433	0.0133
Dios Te De	0.0202	0.0123	0.0098	0.1967	0.0867	0.0004
Num Café	0.0214	0.0139	0.0112	0.2267	0.0800	0.0087
Café 6.30	0.0183	0.0124	0.0091	0.2167	0.0867	0.0080
Aromas de Montaña	0.0204	0.0121	0.0099	0.2033	0.1033	0.0053
Grano de Oro	0.0165	0.0108	0.0078	0.2267	0.0397	0.0060
Café Huarango	0.0165	0.0121	0.0090	0.2433	0.0200	0.0004
Bosques Verdes	0.0184	0.0090	0.0060	0.1800	0.0267	0.0005
Café Samira	0.0195	0.0096	0.0034	0.2033	0.0143	0.0043
Angel Coffe	0.0160	0.0113	0.0081	0.2267	0.0700	0.0022
Esmeralda	0.0120	0.0085	0.0080	0.2067	0.0200	0.0009
Café S.I	0.0128	0.0112	0.0096	0.1800	0.0300	0.0005
Café Pirias	0.0136	0.0128	0.0058	0.2033	0.0600	0.0013
Mediana	0.0173	0.0121	0.0087	0.2017	0.0415	0.0019
Media aritmética	0.0174	0.0120	0.0085	0.2007	0.0564	0.0062
Varianza	0.000007	0.000003	0.000004	0.00055	0.00169	0.00013
Desviación estándar	0.0026	0.0018	0.0019	0.0236	0.0412	0.0117
Error estándar	0.0006	0.0004	0.0004	0.0053	0.0092	0.0026
Valor de la hipótesis observado	-55.1398	-95.1189	-95.5800	-151.662	-102.49	-379.22
Valor tabular de la hipótesis ($p=0.05$, $gl=19$)		1.729				

Nota. nivel de significancia (0.05)

pesados no superaban los LMP. A su vez, Massoud *et al.* (2022) registraron niveles de metales pesados y otros elementos en el café tostado disponible en los mercados de Irán y Turquía, pero dentro de límites seguros. En Brasil, Teixeira *et al.* (2018) reportaron que los contenidos de Cd en las muestras de café tostado molido no excedieron el límite establecido por la legislación brasileña. Por su parte, Berego *et al.* (2023) encontraron que, a pesar de registrar concentraciones de Cd superiores a las permitidas para suelos agrícolas, no existe ningún peligro para la salud relacionado con el uso de granos de café.

En contraste, Amin *et al.* (2024), en Arabia Saudita, registraron que el contenido de Pb en diferentes tipos de café fue más alto que otros metales evaluados, pues oscila entre 0.521 y 0.832 $\mu\text{g/g}$. Esto podría ser preocupante si se acumula en

el cuerpo, por lo que recomendaron mejorar las prácticas de almacenamiento y procesamiento para minimizar estos riesgos. En cuanto a café instantáneo, Winiarska-Mieczan *et al.* (2023) encontraron que el Pb representa un mayor riesgo que el Cd, especialmente en bebidas con mayor peso por porción como el cappuccino. El consumo moderado de café instantáneo y sus sustitutos es generalmente seguro en términos de exposición a Cd y Pb, pero los autores recomiendan el monitoreo regular debido a la capacidad de acumulación de estos metales en el organismo.

Pokorska-Niewiada *et al.* (2024) indicaron que el consumo de una taza de café proporciona pequeñas cantidades de Cd y Pb. Por su parte, Várady *et al.* (2024) mencionaron que, el método de procesamiento puede afectar el contenido de metales pesados en los

Tabla 6. Puntaje de calidad sensorial por catadores Q Grader según la SCA.

Marca de café	Catador 1	Catador 2
MyF	80.5	82.3
HUA	78	79
JAE	79	81
CHA	80	79
TPE	81	81
APU	68	79
PKC	82	83.3
CAM	80	82.8
DTD	83	83
NCA	84	84
C63	85	82.3
ADM	80	82.5
GOR	80	80.5
CAH	83.8	82.8
BOV	83.3	79
CSM	78	81
ANC	83.8	81.5
ESM	83	80
CSI	82	82.8
CPI	82.5	83.3
Media	80.838	81.488
Mediana	81.50	81.88

café de especialidad verdes y tostados, por lo que, recomiendan el monitoreo del proceso, aunque el tostado posterior puede reducir sustancialmente su contenido en algunos casos.

Rahimi *et al.* (2024) determinaron la siguiente clasificación de la concentración de metales pesados en diferentes cafés: Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd en polvo; Fe > Cu > Zn > Ni en molido; Fe > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd en procesado e infusión y Fe > Zn > Ni > Cs > Pb en grano. Los autores concluyeron también que, los consumidores de algunos países no corrían riesgos debido a la ingestión de estos metales a través del café y el consumo de productos a base de café.

Así mismo, Guadalupe *et al.* (2023) investigaron el riesgo de la presencia de diversos metales pesados para el consumidor, incluyendo Cd y Pb, en 5 variedades de café de 5 regiones peruanas. Los resultados por región mostraron diferencias en las que la región San Martín presentó los mayores valores de Pb sin embargo estuvieron por debajo de los LMP. Para Pb indicaron que no era probable que se produjera un efecto adverso para la salud.

Así mismo, Tezotto, *et al.* (2012) aportaron también que, las plantas de café son altamente tolerantes a

metales pesados como Cd, incluso con dosis altas. En su estudio presentaron que ocurre poco transporte de estos metales a los granos de café, que es la parte consumida por los humanos.

Referente a este estudio, el hecho de que los niveles de metales pesados no superen los LMP sugiere que los productores de café en Jaén implementan buenas prácticas agrícolas, lo cual minimiza la contaminación antropogénica. Esto contribuye a la reputación del café de Jaén como uno de los mejores del mundo (Agencia Agraria de Noticias, 2023).

La mayoría de las 20 marcas de café comercializadas en Jaén, provenientes de diversas zonas cafetaleras de la provincia, alcanzaron valores superiores al 80% en calidad sensorial. Estos resultados coinciden con los estudios de Santacruz *et al.* (2020) quienes también reportaron valores por encima del 80% en cafés producidos en Jaén.

Aunque la marca Apu obtuvo un valor inferior al 80%, esto no necesariamente indica baja calidad. La disminución en la calidad de taza podría deberse al tipo y tiempo de tostado empleado por la empresa Cenfrocafé, posiblemente un tueste medio oscuro que puede generar notas más amargas. Los niveles de Cd y Pb en café tostado molido, borra y esencia de las 20 marcas analizadas no superan los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea (Pb < 1.0 mg/kg y Cd < 0.05 mg/kg). Esto demuestra un cumplimiento satisfactorio de los estándares de seguridad alimentaria, indicando que estas marcas no representan un riesgo significativo para la salud de los consumidores.

Conclusiones

Los niveles de plomo y cadmio en las 20 marcas de café analizadas no superaron los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea (Pb = 1.0 mg/kg; Cd = 0.05 mg/kg), lo que indica que son seguros para el consumo.

Se observan diferencias en las concentraciones de metales pesados según el tipo de presentación del café (molido, borra y esencia), dentro de las cuales, generalmente, las más altas estuvieron en el café molido y la borra, y menores en la esencia; ello indica que, el método de procesamiento puede afectar el contenido de metales pesados en el café.

La mayoría de las marcas de café comercializadas en Jaén alcanzaron valores superiores al 80% en calidad sensorial, lo que las clasifica como café *premium* según el protocolo SCA.

Los bajos niveles de metales pesados que fueron de 0.0174 a 0.0085 de Cd y de 0.2007 a 0.0062 en Pb, al no superar los LMP contribuyen a la buena reputación de las diferentes marcas de café comercializadas en Jaén.

Referencias

- Adler, G.; Nędzarek, A. y Tórz, A. (2019). Concentrations of selected metals (NA, K, CA, MG, FE, CU, ZN, AL, NI, PB, CD) in coffee. *Slovenian Journal of Public Health*, 58(4), 187-193. <https://doi.org/10.2478/sjph-2019-0024>
- Agencia Agraria de Noticias. (2023, noviembre 6). El mejor café del Perú es del productor cajamarquino Yoniser Mego Silva. *Agraria.pe*. <https://agraria.pe/noticias/el-mejor-cafe-del-peru-es-del-productor-cajamarquino-yoniser-33730>
- Amin, M.M.; Chang, S.K.; Ashraf, M.W. y Andrews, K. (2024). Heavy metal and mycotoxin-producing fungi contamination of coffee consumed in Saudi Arabia. *Food Chemistry Advances*: 5, 100798. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100798>
- Balali-Mood, M.; Naseri, K.; Tahergorabi, Z.; Khazdair, M.R. y Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12: 643972, 1-19. <http://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Berego Y.S.; Sota S.S.; Ulsido M. y Beyene E.M. (2023). The contents of essential and toxic metals in coffee beans and soil in Dale Woreda, Sidama Regional State, Southern Ethiopia. *PeerJ* 11:e14789. <https://doi.org/10.7717/peerj.14789>
- Guadalupe, G.A.; Chávez, S.G.; Arellanos, E. y Doménech, E. (2023). Probabilistic risk characterization of heavy metals in peruvian coffee: implications of variety, region and processing. *Foods*, 12(20), 2-13. <https://doi.org/10.3390/foods12173254>
- Junta Nacional del Café. (2021, enero 31). Producción y exportaciones de café apuntan a ser mejores durante el 2021. <https://juntadelcafe.org.pe/produccion-y-exportaciones-de-cafe-apuntan-a-ser-mejores-durante-el-2021/>
- León, J. C. (2023, septiembre 18). El Perú de hoy consume un 70% más de café que hace 10 años. *Agraria.pe*. <https://agraria.pe/noticias/el-peru-de-hoy-consume-un-70-mas-de-cafe-que-hace-10-anos-34026>
- Massoud, R.; MirMohammadMakki, F.S.; MirMohammad Makki, S.F.; MirMohammadMakki, N.S. y Massoud, A. (2022). Evaluation of heavy metals in roasted coffee powder in Iran and Turkey. *Coffee Science*, 17, e172013. <https://doi.org/10.25186/v17i.2013>
- Nordberg, G. F.; Fowler, B. A. y Nordberg, M. (Eds.). (2014). *Handbook on the toxicology of metals* (4° ed.). Academic Press.
- Pokorska-Niewiada, K.; Scheffler A.; Przedpelska L. y Witczak A. (2024). Tracking trace elements found in coffee and infusions of commercially available coffee products marketed in Poland. *Foods*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/foods13142212>
- Rahimi, A.; Talebi-Ghane, E.; Heshmati, A.; Ranjbar, A. y Mehri, F. (2024). Content of potentially toxic elements (PTEs) in coffee and coffee-based products: a meta-analysis study, Systematic review, and health risk assessment. *Drug and Chemical Toxicology*, 47(3), 356-364. <https://doi.org/10.1080/01480545.2023.2193354>
- Santacruz, R.; Tirado, J. y Minchán, H. (2020). Perfil sensorial de cuatro variedades de café (*Coffea arabica* L.) cultivados en diferentes altitudes del distrito de San José del Alto-Jaén. *Pakamuros*, 8 (3), 92-104. <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/108/107>
- Şemen, S.; Mercan, S.; Yayla, M. y Açıkkol, M. (2017). Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*, 215, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.176>
- Stroheker, T.; Chung, Y. J.; Scholz, G. y Mazzatorta, P. (2019). A global approach for prioritizing chemical contaminants in raw materials of food for infants and young children. *Food Control*, 105, 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.024>
- Teixeira P.; Regina P. y Queiroz M. (2018). Quality of commercial coffees: heavy metal and ash contents. *Hindawi Journal of Food Quality*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2018/5908463>
- Tezotto, T.; Laércio J.; Antunes R.; Ferracciú L. y Mazzafera, P. (2012). Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. *Field Crops Research*. 125, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.08.012>
- Várady, M.; Boržíková, J. y Popelka, P. (2024). Effect of processing method (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on the availability of heavy metals in specialty coffee. *Heliyon*, 10 (3), e25563. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25563>
- Winiarska-Mieczan, A.; Kwiatkowska, K.; Kwiecień, M. y Zaricka, E. (2021). Assessment of the risk of exposure to cadmium and lead as a result of the consumption of coffee infusions. *Biological Trace Element Research*, 199, 2420-2428. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02332-3>
- Winiarska-Mieczan, A.; Jachimowicz, K.; Kislova, S.; Kwiecień, M.; Zasadna, Z. y Yanovych, D. (2023). Cadmium and lead concentration in drinking instant coffee, instant coffee drinks and coffee substitutes: safety and health risk assessment. *Biological Trace Element Research*, 201, 425-435. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03129-2>

Evaluación microbiológica de un biol producido con microorganismos nativos de montaña y su efecto bajo condiciones de riego deficitario en el cultivo de nabo (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*)

Microbiological evaluation of a biol produced with mountain native microorganisms and its effect on Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) cultivation under deficit irrigation conditions

Katiuska Carolina Molina Yépez ^{1,2}, Marlon Fernando Monge Freile ^{1,3}, Génesis Yamileth Bustamante Saltos ^{1,4}, Belén Estefanía Simbaña Cifuentes ^{1,5}.

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. ²✉ katiuska.molina2016@uteq.edu.ec; ³✉ mmongef@uteq.edu.ec; ⁴✉ genesis.bustamante2016@uteq.edu.ec; ⁵✉ belen.simbana2016@uteq.edu.ec



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.118289>

2024 | 73-2 p 177-189 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2025-01-13 Acep.: 2025-04-25

Resumen

La agricultura moderna enfrenta el desafío de ser sostenible, especialmente en cultivos comerciales como el nabo (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). Esta investigación buscó caracterizar microbiológicamente un biol elaborado con microorganismos nativos y evaluar su efecto bajo riego deficitario. Se estudiaron 2 factores: la presencia o ausencia de biol, y 3 niveles de riego basados en la evapotranspiración del cultivo (ETc): 100 %, 75 % y 50 %. Los análisis microbiológicos revelaron colonias mayoritariamente circulares con bordes irregulares, superficies lisas y predominancia de cepas Gram negativas y catalasa positivas. En términos de rendimiento, el tratamiento con biol y riego al 100 % del ETc (T4) alcanzó el mayor rendimiento (64 795.00 kg ha⁻¹), mientras que el tratamiento al 50 % del ETc sin biol (T6) obtuvo 31 610.0 kg ha⁻¹. En particular, el tratamiento T6, que incluyó el uso de biol y riego al 50 % del ETc, logró la mayor eficiencia productiva (94.84 kg mm⁻¹), lo cual destaca su potencial para optimizar el uso del agua y mantener altos rendimientos bajo estrés hídrico. Por tanto, se concluye que el biol combinado con estrategias de riego deficitario se muestra como una herramienta prometedora para mejorar la sostenibilidad y la productividad del cultivo de nabo, especialmente en contextos de limitación hídrica.

Palabras clave: biofertilizante, láminas de riego, microbiota, producción sostenible, rendimiento.

Abstract

Modern agriculture faces the challenge of sustainability, particularly in commercial crops such as turnip (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). This research aimed to microbiologically characterize a biol prepared with native microorganisms and evaluate its effect under deficit irrigation conditions. Two factors were studied: the presence or absence of biol and three irrigation levels based on the crop evapotranspiration (ETc): 100 %, 75 %, and 50 %. Microbiological analyses revealed mostly circular colonies with irregular edges and smooth surfaces, along with a predominance of Gram-negative and catalase-positive strains. In terms of yield, the treatment with biol and 100 % ETc irrigation (T4) achieved the highest yield (64 795.00 kg ha⁻¹), while the 50 % ETc treatment without biol (T6) obtained 31 610.0 kg ha⁻¹. Treatment T6, which included the use of biol and irrigation at 50 % of ETc, achieved the highest productive efficiency (94.84 kg mm⁻¹), highlighting its potential to optimize water use and maintain high yields under water stress. Therefore, it is concluded that biol, combined with deficit irrigation strategies, appears to be a promising tool to improve the sustainability and productivity of turnip cultivation, especially in contexts of water limitation.

Keywords: Biofertilizer, irrigation depth, microbiota, sustainable production, yield.

Introducción

Los microorganismos de montaña (MM) son microorganismos eficientes obtenidos a partir de suelos nativos ricos en materia orgánica, que potencian la microbiota benéfica presente en el suelo, la cual incluye una gran diversidad de géneros de levaduras, mohos y bacterias, como *Saccharomyces*, *Pichia*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Streptomyces* (Mora-López et al., 2023). Estos microorganismos, al combinarse con el biol, un biofertilizante artesanal de bajo costo, colonizan los suelos, lo que ofrece beneficios significativos para la agricultura al aprovechar la diversidad microbiana de las comunidades boscosas nativas (Zhou et al., 2024). El biol se emplea para integrar la diversidad funcional y taxonómica de los microorganismos nativos en los sistemas de producción agrícola (Rajesaheb et al., 2025), y su producción artesanal promueve prácticas agrícolas sostenibles (Jácome-Pilco et al., 2024).

El uso de este tipo de bioproductos contribuye al desarrollo y la expansión de las raíces, con lo cual se optimiza la absorción de nutrientes y agua, además de regular la estabilidad hormonal de las plantas a lo largo de su ciclo vegetativo (Ruesta-López et al., 2024). Esta práctica forma parte de un movimiento más amplio hacia una agricultura más sostenible, ya que reduce el uso de fertilizantes químicos y de los costos de producción, lo que le da un carácter ecológico (Bardales-Vásquez et al., 2024; Nur et al., 2025).

El cultivo de nabo es importante a nivel mundial, con China como principal productor (Du et al., 2024), y en Ecuador es vital para la seguridad alimentaria y la economía agrícola, especialmente en la sierra (Peña-Murillo et al., 2024). El cultivo de *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* se realiza con diversas técnicas, como siembra directa, almácigos y producción hidropónica (Pardede et al., 2024; Mocniak et al., 2023).

El uso de MM en combinación con técnicas de riego como el riego deficitario optimiza el uso del agua y mejora la absorción de nutrientes por las plantas (Jang et al., 2024). Este tipo de riego, al reducir la cantidad de agua aplicada, promueve el desarrollo de raíces profundas y mejora la resistencia al estrés hídrico (Gao et al., 2025). Dicha sinergia contribuye a un mayor rendimiento y a una gestión eficiente de los recursos hídricos, lo cual favorece una agricultura sostenible (Sarula et al., 2022).

El uso de un biol elaborado con microorganismos nativos de montaña mejora la productividad y la eficiencia del cultivo de nabo (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) bajo condiciones de riego deficitario. Esta investigación buscó explorar cómo el biol puede ser clave para aumentar la productividad del cultivo de nabo, con la inclusión del riego deficitario, con lo que se contribuye a la sostenibilidad agrícola (Wang et al., 2024).

Materiales y métodos

Localización de la investigación

El estudio se desarrolló en el campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo - El Empalme. Sus coordenadas geográficas son 1°04'56" de latitud Sur y 79°30'08" de longitud Oeste, a una elevación de 64 metros sobre el nivel del mar. La investigación tuvo una duración de 70 días.

Diseño experimental

Para la fase de identificación microbiológica no se empleó un diseño experimental. En la fase de campo se implementó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2 x 3 y 4 repeticiones. El primer factor fue la aplicación de biol, mientras que el segundo factor correspondió a las láminas de riego. Cada una de las subparcelas de 20 plantas se definió como la unidad experimental.

Tratamientos evaluados

Se definieron 6 tratamientos basados en las interacciones de los 2 factores evaluados, los cuales se detallan en la Tabla 1.

Manejo experimental

Caracterización de los microorganismos nativos de montaña

Las muestras de microorganismos nativos de montaña fueron recolectadas en el Bosque Protector Pedro Franco Dávila, ubicado en el km 26 de la vía Palenque - Mocache, de la provincia de Los Ríos. Con la colaboración del Centro Agrícola Cantonal de Quevedo y bajo la guía del Dr. Germán Jácome López, se realizó un recorrido por el bosque para recolectar hojarasca, especialmente aquella que presentaba hifas de hongos, lo cual es indicativo de una alta concentración microbiana. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas negras, etiquetadas y transportadas al área de preparación del biol.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados en la investigación

Tratamientos	Interacciones	Descripción
T1	A1B1	Sin biol + 100 % ETC
T2	A1B2	Sin biol + 75 % ETC
T3	A1B3	Sin biol + 50 % ETC
T4	A2B1	Con biol (20 l ha ⁻¹) + 100 % ETC
T5	A2B2	Con biol (20 l ha ⁻¹) + 75 % ETC
T6	A2B3	Con biol (20 l ha ⁻¹) + 50 % ETC

Para la elaboración del biol se siguió el protocolo propuesto por Jara-Samaniego *et al.* (2021). Se usó un tanque plástico de 200 l donde se combinaron 50 kg de hojarasca, 20 l de melaza y 25 l de polvillo de arroz. Luego, se agregó agua hasta llenar el tanque, se agitó la mezcla con un palo de madera hasta disolver completamente la melaza y se cubrió con una tapa. Después de 90 días, el biol fue cosechado, filtrado mediante una malla fina y almacenado en recipientes plásticos negros, a la sombra.

Características morfológicas

Una vez que las colonias bacterianas crecieron, se observó cada una, tanto a simple vista como con lupa, para evaluar sus características morfológicas. Se examinó la superficie de cada colonia para identificar si era lisa o rugosa, utilizando una aguja de inoculación estéril. Además, se registró el color de las colonias, lo que permitió observar variaciones como blanco o amarillo bajo luz natural.

Tinción de Gram

Los microorganismos fueron cultivados en medio de agar nutriente y, usando la técnica de siembra por microgotas, se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Para la tinción se preparó un frotis de la colonia, se fijó con metanol y luego se tiñó con violeta de genciana. Después de enjuagar, se aplicó Lugol como fijador, seguido de un lavado con alcohol y acetona. Finalmente, se implementó safranina para determinar las bacterias Gram negativas, que aparecieron de color rosado o rojo bajo el microscopio (Cedeño y Canchignia, 2022).

Prueba de catalasa

En un portaobjeto se colocó una gota de agua oxigenada y, utilizando un asa de siembra, se puso en contacto con una colonia bacteriana. En los casos en los que se formaron burbujas, la prueba se registró como positiva, ya que ello indica la presencia de enzimas catalasas que descomponen el peróxido de hidrógeno (Cedeño y Canchignia, 2022).

Cuantificación UFC

El método de microgota es una técnica simplificada y más precisa que el procedimiento tradicional de dilución en serie basado en la escala decimal, utilizado habitualmente en microbiología. En primer lugar, se introducen 1000 µl de agua destilada estéril en cada tubo Eppendorf de 1.5 ml utilizando una micropipeta. Posteriormente, se añaden 100 µl de biol a cada uno de los tubos, y la mezcla se agita cuidadosamente en un agitador vortex para asegurar que los componentes se distribuyan de manera uniforme. Los tubos Eppendorf se etiquetaron para identificar las diluciones sucesivas, que se indican con las denominaciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} . Es importante agitar bien cada tubo antes de realizar las diluciones posteriores, que consisten en transferir

100 µl de la dilución anterior a un nuevo tubo y mezclar para asegurar que las colonias se separen adecuadamente, garantizando así la precisión de la dilución en serie (Strahsburger *et al.*, 2016).

Para fomentar el crecimiento bacteriano, se utilizó agar nutriente como medio en cajas de Petri, donde se realizó la siembra de las muestras. Estas cajas se incubaron a 28 °C durante 24 horas. Después de este período, se observó el crecimiento bacteriano, y se examinó la morfología de las colonias formadas. De cada tipo de microorganismo identificado se eligió una colonia representativa que fue subcultivada en agar nutriente para su purificación. Una vez obtenidos los cultivos en estado puro, se realizó una descripción detallada de la morfología colonial de cada microorganismo, con el objetivo de caracterizarlos e identificarlos de manera precisa (Strahsburger *et al.*, 2016).

Antibiograma

El antibiograma se realizó usando discos impregnados con diferentes antibióticos (ampicilina, claritromicina, ciprofloxacina, cloranfenicol y cefalexina), distribuidos en los 5 cuadrantes de cajas de Petri con medio sólido. Se midió el diámetro de los halos de inhibición después de incubar las muestras durante 96 horas a 28 ± 1 °C. Las imágenes de los halos de inhibición se documentaron fotográficamente (Cedeño y Canchignia, 2022).

Manejo del cultivo

Limpieza y preparación del terreno

Tras la delimitación del área experimental, se procedió a limpiar el terreno, eliminando la maleza mediante el uso de machetes y, posteriormente, retirándola del área. El suelo fue preparado con una semana de antelación a la siembra, con una profundidad aproximada de 30 cm. Se comenzó con una labranza primaria, seguida de la limpieza general del terreno. Luego, se roturó y niveló el suelo adecuadamente.

Siembra en semillero

La siembra se realizó en bandejas germinadoras plásticas de 128 celdas, se empleó una mezcla compuesta por turba comercial, suelo de huerto y cascarilla de arroz, en una proporción de 40:40:20. Los componentes del sustrato se mezclaron bien con palas y se humedeció hasta alcanzar su capacidad de campo. Posterior a ello, se sembró una semilla en cada alvéolo, cubriéndola con sustrato y cubriendo las bandejas con plástico negro para favorecer la germinación. A los 8 días, cuando las plántulas comenzaron a emerger, se retiró el plástico y se dejaron las bandejas hasta que las plántulas alcanzaron 5 cm de altura, 60 días después de la siembra. Durante este tiempo, se les aplicó riego cada 3 días, asegurando una lámina homogénea de 1 mm.

Trasplante

El trasplante de las plántulas al campo definitivo se realizó a los 60 días de haber sido sembradas en el semillero. Este procedimiento se hizo manualmente, colocando las plántulas a una profundidad de entre 2 y 2.5 cm, siguiendo un esquema de plantación con 0.4 m de separación entre plantas y 0.5 m entre surcos, alcanzando una densidad poblacional de 50 000 plantas por hectárea.

Riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo con mangueras de 16 mm de diámetro, con goteros autocompensados a 0.4 m de distancia entre emisores (Supertif Autocompensado, color café, con un caudal de 2.2 l/h). Debido a que el estudio involucró riego deficitario, el riego se aplicó con base en los datos de evapotranspiración de referencia (ET_o) obtenidos de la estación meteorológica del campus La María, utilizando el método Penman-Monteith de la FAO. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) para el nabo se calculó diariamente utilizando la Ecuación 1:

Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo (ET_c):

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

ET_c: evapotranspiración real (mm)

ET_o: evapotranspiración potencial (mm)

K_c: coeficiente del cultivo

El sistema de riego se aplicó de manera uniforme en toda el área experimental, determinando la frecuencia y cantidad de riego cada 2 días con base en los datos de evapotranspiración obtenidos.

Control de malezas

El control de malezas se realizó de manera manual y constante, alrededor de las unidades experimentales, para evitar su proliferación durante todas las etapas del ciclo fisiológico de las plantas.

Control de plagas

Se implementaron aplicaciones preventivas de bioplaguicidas elaborados a partir de ají, neem y semilla de aguacate, alternando las aplicaciones. Las dosis utilizadas fueron de 100 cc por cada litro de agua.

Cosecha

La cosecha se llevó a cabo al final del ciclo agrícola comercial, para lo cual se observó que las hojas envoltantes del nabo tuvieran un color verde oscuro, lo que indica su madurez.

Variables evaluadas

Caracterización de los microorganismos nativos de montaña

Se realizaron pruebas morfológicas, de tinción de Gram y de catalasa para caracterizar los microorganismos nativos. Se observó la morfología de las colonias, se distinguieron bacterias Gram positivas y negativas mediante tinción de Gram y se verificó la presencia de catalasa al observar burbujas tras aplicar agua oxigenada, lo que indicó actividad enzimática.

Parámetros agronómicos y productivos del cultivo de nabo

Altura de plantas (cm)

Las mediciones de altura de planta se realizaron de forma semanal durante 6 semanas. Para cada medición, se seleccionaron 5 plantas al azar dentro de la parcela útil, excluyendo los extremos de la parcela para evitar bordes que pudieran sesgar los resultados. Las plantas seleccionadas fueron diferentes en cada medición. El criterio de medición fue el espacio comprendido desde el nivel del suelo hasta el ápice de la hoja más joven, para lo cual se utilizó una cinta métrica. El promedio se calculó por tratamiento y se expresó en centímetros.

Crecimiento de plantas (cm)

El crecimiento se calculó restando la altura de las plantas a las semanas 37 y 42 del ciclo del cultivo.

Diámetro del tallo (mm)

El diámetro del tallo de 5 plantas seleccionadas aleatoriamente se midió con un calibrador pie de rey Stanley® 78-201. El promedio se calculó y se expresó en milímetros.

Longitud de la raíz (cm)

Se seleccionaron cinco plantas aleatoriamente a la cosecha, se lavaron las raíces con agua corriente hasta eliminar todo el suelo y, luego, se midió la longitud final de las raíces en centímetros.

Longitud de la hoja (cm)

Al final del ciclo se midió la longitud de la tercera hoja completamente expandida y contando desde el ápice hacia la base, en 5 plantas seleccionadas al azar dentro de la parcela útil, excluyendo los bordes. La medición se realizó desde la base del pecíolo hasta el ápice de la lámina foliar, y se calculó el promedio en centímetros.

Número de hojas por planta

Se registró el número de hojas en 5 plantas por unidad experimental y, posteriormente, se determinó el promedio de los datos obtenidos.

Peso total de la planta (g)

Se registró el peso fresco total de 5 plantas al momento de la cosecha, que fueron seleccionadas al azar y extraídas de la parcela útil. Para ello se utilizó una balanza digital CAMRY® modelo ACS-30KG/LB-JC21. El promedio se calculó y se expresó en gramos.

Peso comercial de la planta (g)

Con una balanza digital CAMRY® modelo ACS-30KG/LB-JC21 se pesaron 5 plantas extraídas de la parcela útil, una vez eliminadas las partes no comerciales. El promedio se calculó y se expresó en gramos.

Peso de materia seca (g)

5 plantas por unidad experimental se secaron en una estufa a 65 °C por 24 horas, luego se pesaron y se registró el peso de materia seca en gramos.

Rendimiento (kg ha⁻¹)

El rendimiento de cada parcela se obtuvo mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2. Rendimiento (kg ha⁻¹):

$$\text{Kg ha}^{-1} = \frac{\text{Rendimiento por parcela (kg)} \times 10000 \text{ m}^2}{\text{Área de la parcela (m}^2\text{)}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Impacto del biol en la eficiencia del uso del agua bajo diferentes niveles de riego

Lámina de agua acumulada (mm ha⁻¹)

Se registró la cantidad de agua utilizada en cada riego y se sumaron estos valores para calcular la lámina total de agua aplicada en mm/ha para cada tratamiento durante el periodo del estudio.

Eficiencia productiva (kg mm⁻¹)

La eficiencia productiva se calculó como el cociente entre el rendimiento logrado por cada tratamiento y la cantidad de agua aplicada acumulada (en mm), mediante la Ecuación 3:

Ecuación 3. Eficiencia productiva (kg mm⁻¹):

$$\text{Eficiencia productiva} = \frac{\text{Rendimiento kg ha}^{-1}}{\text{Lámina de riego mm ha}^{-1}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA), y las medias de los factores y sus interacciones fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel 2019, y el análisis estadístico se realizó utilizando Infostat 2020, desarrollado por Di Rienzo *et al.* (2020). Cabe destacar que se determinó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett.

Resultados y discusión

Caracterización de los microorganismos nativos de montaña

Características morfológicas

En la Tabla 2 se detallan las características morfológicas de las colonias de microorganismos aislados. Todas las cepas mostraron una forma circular con bordes irregulares. 6 cepas presentaron una elevación plana, con la excepción de la cepa S5, que mostró una elevación. En cuanto a las características específicas, la cepa R1 tuvo una superficie lisa y un color blanco, además de ser Gram negativa y catalasa positiva. La cepa S5 presentó una superficie lisa de color blanco, con características Gram negativa y catalasa positiva, similares a las de otras cepas. La cepa P1 se caracterizó por una superficie lisa y color amarillo,

Tabla 2. Descripción de las características morfológicas de las colonias

Cepas	Forma			Borde			Elevación		Superficie		Color		Tinción Gram	Catalasa
	Ci	Fi	Ri	En	Lo	Ir	Pl	El	Li	Ru	Am	Bl		
R1	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
S5	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
P1	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
RR2	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
B2	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
C1	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
A1	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+

Ci: circular; Fi: filamentoso; Ri: rizada; En: entero; Lo: lobular; Ir: irregular; Pl: plana; El: elevada; Li: lisa; Ru: rugosa; Am: amarillo; Bl: blanco.

además de ser Gram negativa y catalasa positiva. Por su parte, la cepa RR2 mostró una superficie lisa y color blanco, con propiedades Gram negativas y catalasa positiva. De manera similar, la cepa B2 tuvo una superficie lisa y color blanco, con características Gram negativas y catalasa positiva. La cepa C1 destacó por su superficie lisa y color amarillo, además de ser Gram negativa y catalasa negativa. Finalmente, la cepa A1 presentó una superficie rugosa de color blanco, con propiedades Gram negativas y catalasa positiva.

Por otra parte, el análisis morfológico de los datos reveló que las cepas R1, S5 y B2 presentaron colonias con forma de cocos, mientras que la cepa P1 exhibió colonias características de diplococos. Por otro lado, la cepa RR2 mostró colonias con la morfología típica de estreptococos. Asimismo, las cepas C1 y A1 presentaron colonias de tipo bacilo.

El análisis microbiológico evidenció que la mayoría de las cepas presentaban superficies lisas y coloración blanca, con tinción Gram negativa y actividad catalasa positiva, características que favorecen su adaptación a entornos diversos (Galecio-Julca *et al.*, 2023).

Tinción de Gram

Los resultados obtenidos mediante la tinción de Gram indican que las cepas C1, C2, C3 y C4 muestran una coloración rosada o rojiza al ser observadas al microscopio. Este color sugiere que las bacterias de estas cepas son gramnegativas, lo que proporciona información clave sobre la estructura y composición de su pared celular.

La presencia de cepas amarillas con tinción Gram negativa destacó una variabilidad genética y funcional, vinculada a la adaptación bacteriana en ambientes extremos, como los montañosos (Wonglom *et al.*, 2019).

Prueba de catalasa

Las cepas R1, A1, P1, S5, RR2, B2 y A1 presentaron una reacción positiva. Esta reacción se manifestó a través de la rápida liberación de burbujas, lo que indica la presencia de enzimas catalasas que descomponen el peróxido de hidrógeno. Este fenómeno pone de

manifiesto la actividad enzimática característica de estas bacterias, lo que sugiere su relevancia en los procesos metabólicos y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Abasolo-Pacheco *et al.*, 2020).

Cuantificación UFC

La cepa A1 (1×10^8) presentó una disminución significativa en las diluciones -5 y -6. La cepa C1 (1×10^8) mostró colonias dispersas, mientras que la cepa B1 (1×10^7) evidenció una reducción en la dilución -6. En la cepa M1 (1×10^6), no se observaron colonias en las diluciones -4 y -5. La cepa T1 (1×10^4) no presentó colonias en las diluciones -4, -5 y -6. La cepa R2 (1×10^4) no mostró colonias desde la dilución -3 en adelante, y la cepa RR2 (1×10^5) no presentó colonias en las diluciones -4, -5 y -6. Estas observaciones reflejaron las respuestas de viabilidad de las cepas bajo condiciones específicas (Strahsburger *et al.*, 2016).

Antibiograma

Una parte importante de las cepas evaluadas mostró una alta susceptibilidad a los antibióticos probados. No obstante, la cepa A1 presentó baja sensibilidad frente a la claritromicina. Por su parte, las cepas RR2 y P2 se destacaron por su resistencia a la ciprofloxacina, lo cual resulta relevante para aplicaciones agrícolas y en salud (Alam *et al.*, 2022). Sin embargo, en las cepas RR2 y P2 se observaron halos de inhibición con otros antibióticos, lo que sugiere una sensibilidad parcial. La información detallada se presenta en la Tabla 3.

Parámetros agronómicos y productivos del cultivo de nabo

Altura de plantas (cm)

La Figura 1A muestra el crecimiento de las plantas de nabo a lo largo de 6 semanas, con la aplicación o ausencia de biol de microorganismos de montaña como factor A. En la primera semana, las plantas sin biol tuvieron una altura promedio de 2.19 cm, mientras que las que recibieron biol alcanzaron 2.81 cm. En la segunda semana, las alturas promedio

Tabla 3. Resultados de antibiograma bacteriológico

Cepas	Cloranfenicol	Cefalexina	Claritromicina	Ampicilina	Ciprofloxacina
A1	+	+	-	+	+
A1	+	+	+	+	+
RR2	+	+	+	+	-
S5	+	+	+	+	+
P2	+	+	+	+	-
P1	+	+	+	+	+
C1	+	+	+	+	+
R1	+	+	+	+	+

+: susceptible; -: resistente

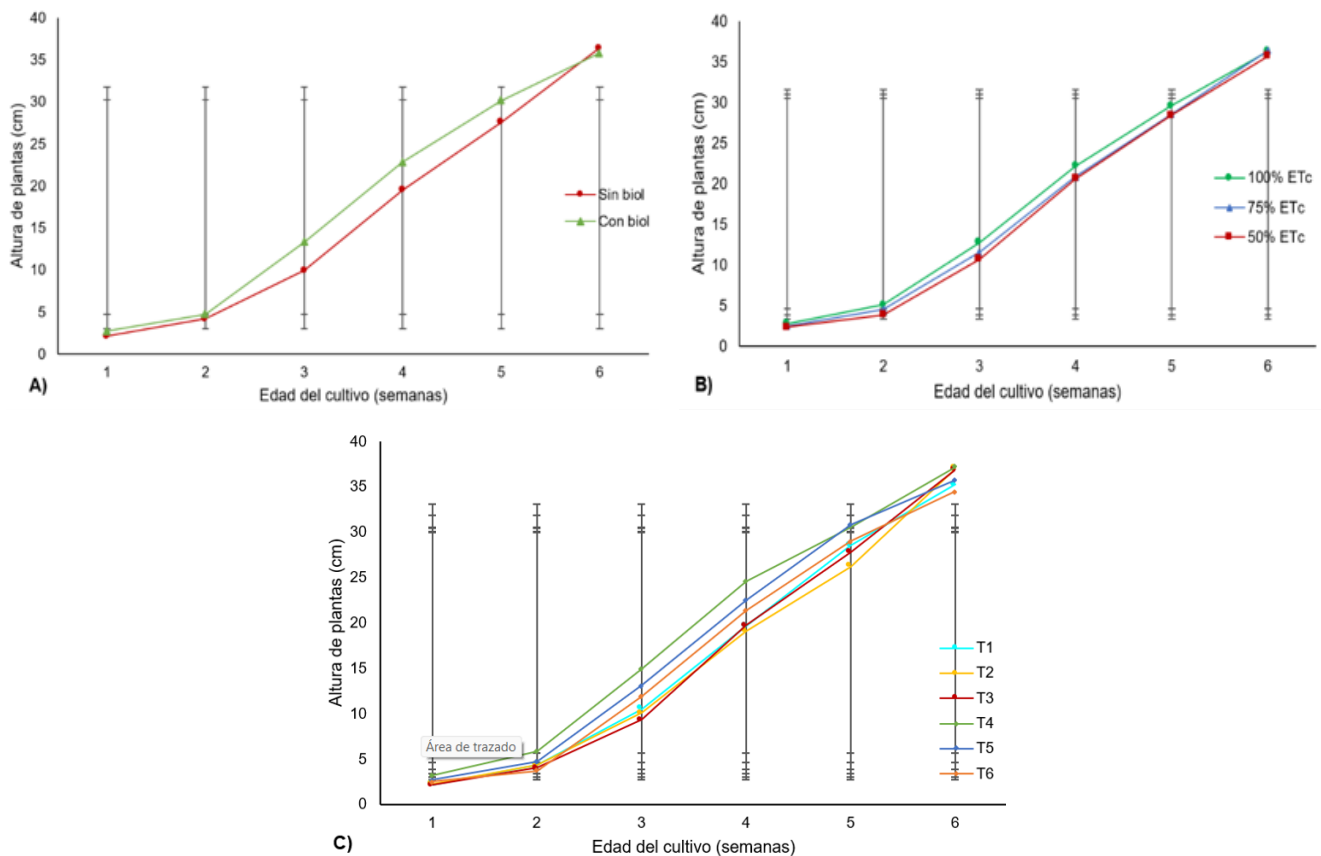


Figura 1. A) Efecto del biol sobre la altura de plantas. B) Efecto de las láminas de riego. C) Efecto de la aplicación combinada de láminas de riego y biol.

subieron a 4.25 cm para las plantas sin biol y 4.76 cm para las tratadas con biol. Desde la tercera semana, la diferencia se volvió más notoria, ya que se alcanzó 9.98 cm para las plantas sin biol y 13.32 cm para aquellas tratadas con biol. En la cuarta semana, las plantas con biol alcanzaron 22.81 cm, mientras que las que no recibieron biol llegaron a 19.52 cm. En la quinta semana, las alturas fueron de 30.13 cm para las plantas con biol y 27.55 cm para las sin biol. Finalmente, en la sexta semana, las plantas sin biol alcanzaron los 36.39 cm, ligeramente por encima de las tratadas con biol, que midieron 35.82 cm.

La Figura 1B ilustra el impacto de las láminas de riego en el crecimiento en altura de las plantas de nabo a lo largo de las 6 semanas de evaluación. En cada semana se observó que las plantas regadas con el 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) presentaron alturas promedio más altas que aquellas regadas con el 75 % o el 50 % de la ETc. En la semana 2 las plantas con riego al 100 % de ETc alcanzaron 2.7 cm de altura, mientras que las de riego al 75 % de ETc y 50 % de ETc midieron 2.46 cm y 2.34 cm, respectivamente. Este patrón se mantuvo durante todo el periodo de evaluación. En la sexta semana, las plantas irrigadas con el 100 % de la ETc alcanzaron una altura de 36.23 cm, mientras que aquellas que recibieron riego al 75 % y 50 % de la ETc lograron alturas de 36.38 cm y 35.71 cm, respectivamente.

La Figura 1C ilustra el desarrollo de la altura de las plantas en el cultivo a lo largo de las semanas 1 a 6 bajo distintos tratamientos. Los tratamientos que incluyen biol junto con diferentes niveles de riego (T4, T5, T6) presentaron plantas de mayor altura en comparación con aquellos sin biol, pero con los mismos niveles de riego (T1, T2, T3). Esto indica una posible interacción beneficiosa entre la aplicación de biol y el riego adecuado, lo que favorece el crecimiento de las plantas.

Crecimiento de plantas

En cuanto al crecimiento de las plantas, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre bloques ($F(5,15) = 0.41$; $p = 0.8378$ para tratamientos, y $F(3,15) = 0.77$; $p = 0.5299$ para bloques), con un coeficiente de variación de 10.36 % (Figura 2A).

Diámetro del tallo (mm)

El análisis de varianza reveló que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre bloques ($F(5,15) = 1.32$; $p = 0.31$ para tratamientos, y $F(3,15) = 0.70$; $p = 0.57$ para bloques), con un coeficiente de variación de 16.31 % (Figura 2B).

Longitud de la raíz (cm)

En relación con la longitud de la raíz, los resultados del análisis de varianza mostraron no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre bloques ($F(5,15) = 0.85$; $p = 0.53$ para tratamientos, y $F(3,15) = 0.26$; $p = 0.85$ para bloques), con un coeficiente de variación de 11.48 % (Figura 2C).

Longitud de la hoja (cm)

El análisis de varianza reveló que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre bloques ($F(5,15) = 1.07$; $p = 0.42$ para tratamientos, y $F(3,15) = 0.41$; $p = 0.75$ para bloques), con un coeficiente de variación de 10.29 % (Figura 2D).

Número de hojas por planta

Según el análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre bloques ($F(5,15) = 0.56$; $p = 0.73$ para tratamientos, y $F(3,15) = 2.00$; $p = 0.16$ para bloques), con un coeficiente de variación de 9.85 % (Figura 2E).

Agronómicamente, no se encontraron diferencias significativas en variables como: altura, diámetro de tallo, longitud de la raíz, longitud de la hoja y número de hojas por planta entre los tratamientos. Investigaciones como las de Zhang *et al.* (2024) y Schenk *et al.* (2024) encontraron resultados opuestos, con resultados positivos en el uso simultáneo de varios biofertilizantes en la producción de distintas especies vegetales, a diferencia de este ensayo, en el que solo se implementó el biol como fuente para la incorporación de nutrientes. Aunque no se detectaron diferencias significativas en el crecimiento, factores externos como condiciones ambientales y calidad del suelo podrían haber influido en los resultados (Abanto-Rodríguez *et al.*, 2020). Estos hallazgos destacan la necesidad de integrar estrategias sostenibles para optimizar recursos y promover una agricultura eficiente y rentable (Jara-Samaniego *et al.*, 2021).

Peso total de la planta (g)

El ANOVA mostró alta significancia estadística para el biol, las láminas de riego y sus interacciones ($F(5,15) = 14.96$; $p < 0.0001$ para tratamientos, y $F(3,15) = 1.97$; $p = 0.1624$ para bloques), con un coeficiente de variación de 12.84 %. Las plantas con biol alcanzaron un peso promedio de 1092.19 g, con lo que superaron a las sin biol (806.40 g). La lámina al 100 % de ETc fue superior, con un promedio de 1156.81 g, frente a 924.04 g y 767.04 g de las láminas al 75 % y 50 % de ETc, respectivamente. Las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3A).

Por otra parte, la combinación de biol y la lámina de riego al 100 % ETc (T4) produjo el mayor peso total de planta (1310.50 ± 166.27 g), sin diferencias significativas respecto al biol con riego al 75 % de ETc (T5). Este tratamiento superó significativamente a las demás interacciones, cuyos promedios variaron entre 646.35 ± 57.60 g (T3) y 1003.13 ± 40.80 g (T1), dentro de los cuales el menor fue para la lámina al 50 % de ETc sin biol (T3). Las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3B).

Peso de materia seca (g)

El ANOVA indicó significancia estadística solo en las láminas de riego ($F(5,15) = 7.80$; $p = 0.0009$ para tratamientos, y $F(3,15) = 4.83$; $p = 0.0151$ para bloques), con un coeficiente de variación del 5.53 %. El biol no mostró diferencias entre su aplicación (26.50 g) y ausencia (27.04 g). La lámina al 100 % de ETc presentó el mayor peso de materia seca (29.18 g), con lo que superó significativamente a las láminas de 75 % y 50 % de ETc, con promedios de 26.51 g y 24.63 g, respectivamente. Las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4A).

La Figura 4B muestra el impacto combinado del biol y las láminas de riego en el peso de materia seca por planta. El tratamiento T1 alcanzó el mayor promedio (29.58 ± 1.17 g), lo que fue estadísticamente similar a T4, T2 y T5 (28.78 ± 1.82 , 26.68 ± 1.59 , 26.35 ± 2.06 g respectivamente). T1 y T4 superaron significativamente a T3 y T6, con promedios de 24.88 ± 1.43 g y 24.38 ± 1.63 g, respectivamente. Las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Peso comercial de la planta (g)

La Figura 5A muestra el impacto individual del biol de microorganismos de montaña y las láminas de riego sobre el peso comercial de las plantas de nabo. El análisis de varianza indicó una alta significancia estadística para ambos factores y sus interacciones ($F(5,15) = 14.78$; $p < 0.0001$ para tratamientos, y $F(3,15) = 1.88$; $p = 0.1761$ para bloques), con un coeficiente de variación del 13.10 %. Las plantas tratadas con biol alcanzaron un peso promedio de 1077.95 g, con lo que superaron significativamente a las cultivadas sin biol, que registraron 785.13 g. En cuanto a las láminas de riego, la aplicación al 100 % de ETc generó plantas con un peso comercial promedio de 1131.40 g, lo que muestra diferencias significativas frente a las láminas al 75 % y 50 % de ETc, cuyos promedios fueron 909.90 g y 753.33 g, respectivamente.

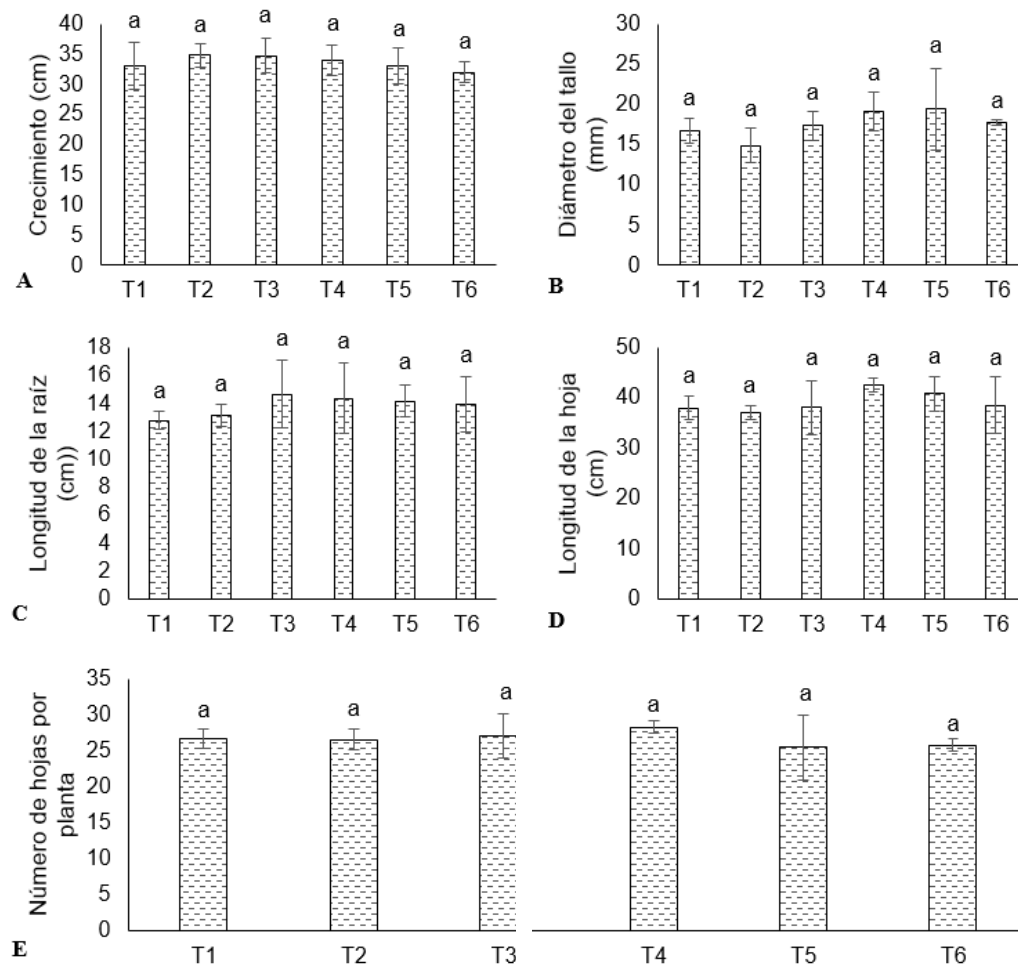


Figura 2. A) Efecto de la interacción entre los factores láminas de riego y presencia de biol sobre el crecimiento de plantas de nabo. Tratamientos: T1: sin biol + 100 % Etc; T2: sin biol + 75 % Etc; T3: sin biol + 50 % Etc; T4: con biol + 100 % Etc; T5: con biol + 75 % Etc; T6: con biol + 50 % Etc. B) Efecto de la interacción entre factores sobre el diámetro de plantas. C) Efecto de la interacción entre factores sobre la longitud de la raíz. D) Efecto de la interacción entre factores sobre la longitud de la hoja. E) Efecto de la interacción entre factores sobre el número de hojas por planta. Los promedios que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar de cada media.

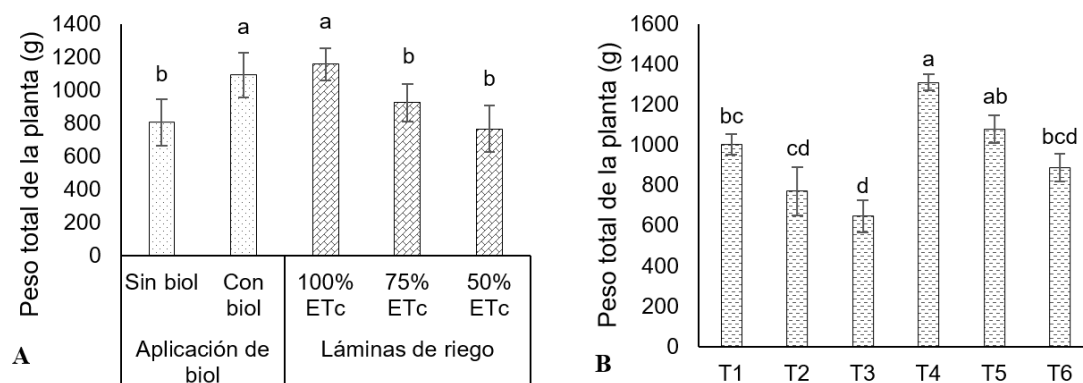


Figura 3. A) Efecto simple del biol y láminas de riego sobre el peso total de las plantas de nabo. Tratamientos: T1: sin biol + 100 % Etc; T2: sin biol + 75 % Etc; T3: sin biol + 50 % Etc; T4: con biol + 100 % Etc; T5: con biol + 75 % Etc; T6: con biol + 50 % Etc. B) Efecto de la interacción entre factores sobre el peso total. Los promedios que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar de cada media.

Por otra parte, la Figura 5B muestra el impacto de las interacciones evaluadas sobre el peso total de las plantas de nabo. La combinación del biol con la lámina de riego al 100 % ETc generó el mayor peso comercial (T4), con 1295.90 ± 166.20 g, sin diferencias significativas respecto a la combinación del biol con la lámina al 75 % de ETc (T5). Este tratamiento superó significativamente a las demás interacciones, cuyos valores oscilaron entre 632.20 ± 57.39 (T3) y 966.90 ± 37.63 g (T1).

Rendimiento (kg ha⁻¹)

Los datos presentados en la Figura 6A reflejan el impacto individual del biol de microorganismos de montaña y las láminas de riego sobre el rendimiento por hectárea del cultivo de nabo. Se observó alta significancia estadística para los factores principales, pero no para sus interacciones, con un coeficiente de variación del 13.10 % ($F(5,15) = 14.78$; $p = <0.0001$ para tratamientos, y $F(3,15) = 1.88$; $p = 0.1761$ para bloques). Las comparaciones múltiples se

realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos. El uso de biol resultó en un rendimiento promedio de $53\,897.50$ kg ha⁻¹, significativamente superior al obtenido sin su aplicación, que fue de $39\,256.67$ kg ha⁻¹. En cuanto a las láminas de riego, la del 100 % de ETc destacó con un rendimiento de $56\,570.00$ kg ha⁻¹, lo que mostró diferencias significativas frente a las láminas de 75 % y 50 % de ETc, que lograron $45\,495.00$ y $37\,666.25$ kg ha⁻¹, respectivamente.

La Figura 6B muestra el impacto combinado de las láminas de riego y biol de microorganismos de montaña en el rendimiento por hectárea del cultivo de nabo. La mayor producción, de $64\,795.00 \pm 8310.04$ kg ha⁻¹, se obtuvo con la combinación de biol y la lámina de riego al 100 % de ETc (T4), sin diferencias significativas respecto al uso de biol con la lámina al 75 % de ETc (T5). Este tratamiento de mayor rendimiento superó de manera significativa a los demás, cuyos

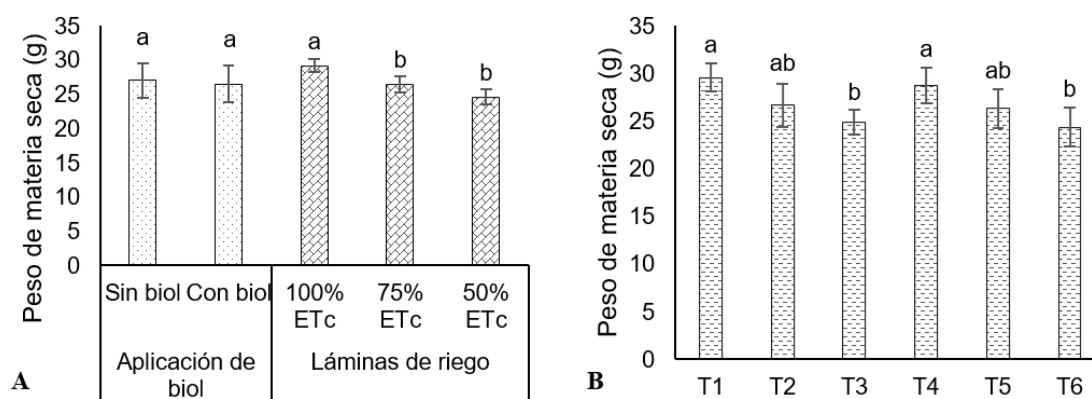


Figura 4. A) Efecto simple del biol y láminas de riego sobre el peso de materia seca por planta de nabo. Tratamientos: T1: sin biol + 100 % ETc; T2: sin biol + 75 % ETc; T3: sin biol + 50 % ETc; T4: con biol + 100 % ETc; T5: con biol + 75 % ETc; T6: con biol + 50 % ETc. B) Efecto de la interacción entre factores sobre el peso de materia seca. Los promedios que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar de cada media.

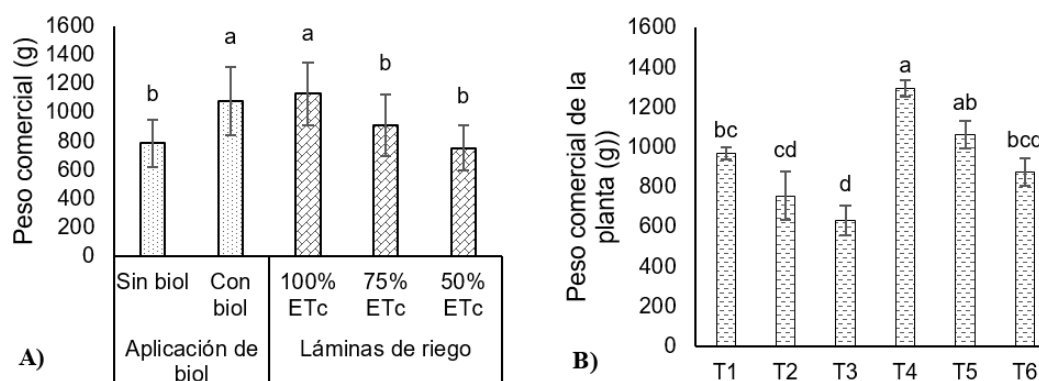


Figura 5. A) Efecto simple del biol y láminas de riego sobre el peso comercial de las plantas de nabo. Tratamientos: T1: sin biol + 100 % ETc; T2: sin biol + 75 % ETc; T3: sin biol + 50 % ETc; T4: con biol + 100 % ETc; T5: con biol + 75 % ETc; T6: con biol + 50 % ETc. B) Efecto de la interacción entre factores sobre el peso comercial de las plantas. Los promedios que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar de cada media.

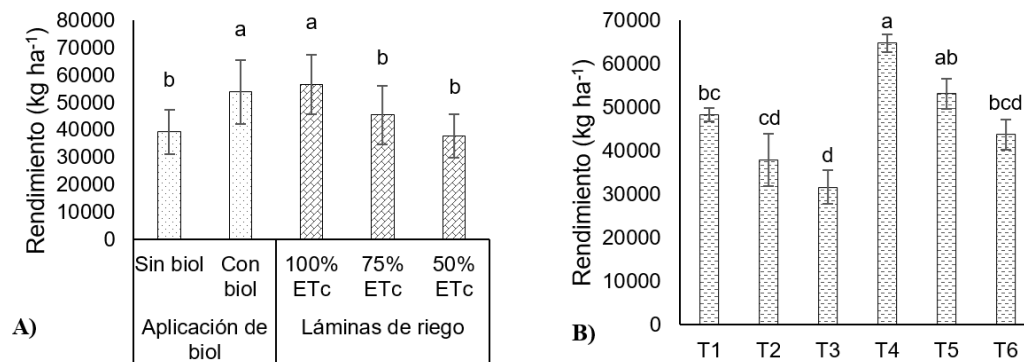


Figura 6. A) Efecto simple del biol y láminas de riego sobre el rendimiento por hectárea. Tratamientos: T1: sin biol + 100 % ETc; T2: sin biol + 75 % ETc; T3: sin biol + 50 % ETc; T4: con biol + 100 % ETc; T5: Con biol + 75 % ETc; T6: Con biol + 50 % ETc. B) Efecto de la interacción entre factores sobre el rendimiento por hectárea. Los promedios que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar de cada media.

rendimientos variaron entre $31\,610.00 \pm 2869.36$ (T3) y $48\,345.00 \pm 1881.39$ kg ha⁻¹ (T1). Cabe destacar que, las comparaciones múltiples se realizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Impacto del biol en la eficiencia del uso del agua bajo diferentes niveles de riego

La Tabla 4 muestra los valores acumulados de las láminas de riego aplicadas en la producción de nabo bajo el uso de biol. Las láminas acumuladas fueron 831 mm ha⁻¹ para el 100 % de ETc, 643 mm ha⁻¹ para el 75 % de ETc, y 461 mm ha⁻¹ para el 50 % de ETc. El tratamiento T6 (biol + 50 % de ETc) destacó con la mayor eficiencia productiva, ya que alcanzó 94.84 kg por milímetro de riego. Le siguieron T5 (biol + 75 % de ETc) con 82.70 kg mm⁻¹ y T4 (biol + 100 % de ETc) con 77.97 kg mm⁻¹. Entre los tratamientos sin biol, T3 (sin biol + 50 % de ETc) fue el más eficiente, con 68.57 kg mm⁻¹, seguido de T2 (sin biol + 75 % de ETc) con 58.81 kg mm⁻¹ y T1 (sin biol + 100 % de ETc) con 58.18 kg mm⁻¹.

Tabla 4. Láminas de riego aplicadas y eficiencia productiva de cada tratamiento evaluado

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Lámina de riego (mm)	Eficiencia productiva (kg mm ⁻¹)
T1: sin biol + 100 % de Etc	48 345.00	831	58.18
T2: sin biol + 75 % de Etc	37 815.00	643	58.81
T3: sin biol + 50 % de Etc	31 610.00	461	68.57
T4: con biol + 100 % de Etc	64 795.00	831	77.97
T5: con biol + 75 % de Etc	53 175.00	643	82.70
T6: con biol + 50 % de Etc	43 722.50	461	94.84

El uso del biol y el riego al 100 % de ETc del T4 optimizaron el peso total de la planta, el peso de materia seca, el peso comercial de la planta y el rendimiento. Sin embargo, se registró una mayor eficiencia al implementar el biol y el riego al 50 % de ETc (T6), lo cual mejoró el aprovechamiento de agua y nutrientes (Fan *et al.*, 2020; Ding *et al.*, 2024). Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Vélez-Sánchez *et al.* (2021), Hayashi y Dogliotti (2021), Slamini *et al.* (2022) y Barzallo *et al.* (2025), quienes resaltaron la importancia de la irrigación adecuada y el biol en la productividad de cultivos.

Conclusiones

La caracterización microbiológica de los microorganismos nativos de montaña mostró una predominancia de colonias con forma circular, borde irregular, superficie lisa y mayoritariamente elevación plana, salvo la cepa S5, que presentó una superficie rugosa. La mayoría de las cepas fueron gramnegativas y catalasa positivas.

La combinación de biol con la lámina de riego al 100 % de la ETc aumentó el peso total y comercial de las plantas de nabo, lo que resulta en un rendimiento por hectárea de 64 795 kg ha⁻¹. Sin embargo, no se observaron variaciones significativas en los demás parámetros evaluados.

La aplicación de biol mejoró notablemente la eficiencia productiva, especialmente cuando se combinó con la lámina de riego al 50 % de ETc, ya que alcanzó una eficiencia de 94.84 kg mm⁻¹. Esto sugiere que el biol puede optimizar el uso del agua y aumentar la producción en condiciones de riego limitado.

Referencias

- Abanto-Rodríguez, C.; Farias, W.; Cardoso, P.; Da Silva, R.; Alves, E.; Gonçalves, M.; García, J.; Tadashi, R.; Lopes, J.; Maffei, M.; Souza, C. y Paes, L. (2020). Determinación de evapotranspiración y coeficiente de cultivo de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 26(3), 175-188. <https://doi.org/10.5154/r.chsh.2019.10.020>
- Abasolo-Pacheco, F.; Ojeda-Silvera, C.; Cervantes-Molina, J.; Moran-Villacreses, E.; Vera-Aviles, D.; Ganchozo-Mendoza, E. y Mazón-Suástegui, J. (2020). Respuesta agronómica del nabo (*Brassica napus* L.) a la aplicación de medicamentos homeopáticos. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 181-196. <https://www.redalyc.org/journal/573/57363014017/html/>
- Alam, K.; Mazumder, A.; Sikdar, S.; Zhao, Y.; Hao, J.; Song, C.; Wang, Y.; Sarkar, R.; Islam, S.; Zhang, Y. y Li, A. (2022). *Streptomyces*: The biofactory of secondary metabolites. *Frontiers in Microbiology*, 13, e968053. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.968053>
- Bardales-Vásquez, C. B.; Vidal-Fernández, J. L.; Gil-Ramírez, L. A.; Rodríguez-Salvatierra, A. D.; Medina-Vásquez, M. E.; Jara-Huacacolqui, E. L.; Julca-Bacon, H. J. y León-Torres, C. A. (2024). Evaluation of nitrogen, phosphorus, and potassium of biol biofertiliser produced from sludge from *Oreochromis niloticus* breeding. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 25(4), 1051-1059. https://www.researchgate.net/publication/387062301_EVALUATION_OF_NITROGEN_PHOSPHORUS_AND_POTASSIUM_OF_BIOL_BIOFERTILISER_PRODUCED_FROM_SLUDGE_FROM_Oreochromis_niloticus_BREEDING
- Barzallo, D.; Lazo, R.; Yugsan, F. y Sevilla, J. (2025). Enhancing turnip cultivation with plant growth-promoting bacteria in organic fertilizer. *Revista Caatinga*, 38, e12843. <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v3812843rc>
- Cedeño, A. y Canchignia, H. (2022). Empleo de bacterias como alternativa de biorremediación en suelos contaminados con mercurio (Hg), zinc (Zn), aluminio (Al) y cobre (Cu) con empleo de bacterias. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9e6fcbd3-980b-4af9-a192-306979d84fb1/content>
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. (2020). *InfoStat versión 2020*. <http://www.infostat.com.ar>
- Ding, B.; Cao, H.; Bai, Y.; Guo, S.; Zhang, J.; He, Z.; Wang, B.; Jia, Z. y Liu, H. (2024). Effect of biofertilizer addition on soil physicochemical properties, biological properties, and cotton yield under water irrigation with different salinity levels in Xinjiang, China. *Field Crops Research*, 308, 109300. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109300>
- Du, X.; Zhou, Z. y Huang, D. (2024). Influence of spatial scale effect on UAV remote sensing accuracy in identifying Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) plants. *Agriculture*, 14(11), 1871. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111871>
- Fan, J.; Lu, X.; Gu, S. y Guo, X. (2020). Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China. *Agricultural Water Management*, 241, 106352. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106352>
- Galecio-Julca, M.; Neira-Ojeda, M.; Chanduvi-García, R.; Peña-Castillo, R.; Álvarez-Bernaola, L.; Granda-Wong, C.; Lindo-Seminario, D.; Saavedra-Alberca, E.; Javier-Alva, J. y Morales-Pizarro, A. (2023). Efecto de la eficacia de los microorganismos nativos y la composta en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. *Terra Latinoamericana*, 41, e1622. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1622>
- Gao, J.; Li, L.; Ding, R.; Kang, S.; Du, T.; Tong, L.; Kang, J.; Xu, W. y Tang, G. (2025). Grain yield and water productivity of maize under deficit irrigation and salt stress: Evidences from field experiment and literatures. *Agricultural Water Management*, 307, 109260. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109260>
- Hayashi, R. y Dogliotti, S. (2021). Water productivity in maize, at different levels of deficit irrigation in humid climate. *Agrociencia Uruguay*, 25(1), e390. <https://doi.org/10.31285/agro.25.390>
- Jácome-Pilco, C.; Del Pozo-Camacho, I. M. y Oyato-Chacha, D. J. (2024). Potentiality of biol for the agroecological management of stevia cultivation: A review. *African Journal of Biological Sciences*, 6(Si2), 1740-1771. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.6.Si2.2024.1740-1771>
- Jang, Y.; Kim, J.; Lee, J.; Lee, S.; Jung, H. y Park, G.-H. (2024). Drought tolerance evaluation and growth response of Chinese cabbage seedlings to water deficit treatment. *Agronomy*, 14(2), 279. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020279>
- Jara-Samaniego, J.; Gallegos, J. y Cruz, A. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes*, 22(45), 189-203. <http://dx.doi.org/10.15517/iuscr.v22i45.46013>
- Mocniak, L. E.; Elkin, K. R.; Dillard, S. L.; Bryant, R. B. y Soder, K. J. (2023). Building comprehensive glucosinolate profiles for *Brassica* varieties. *Talanta*, 251, 123814. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123814>
- Mora-López, M.; López-Restrepo, D. A.; Osorio-Echeverri, V. M. y Botero-Botero, L. R. (2023). Isolated yeasts from bioferments of mountain microorganisms, an option for plant nutrition. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 52527. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52527>
- Nur, M. M. A.; Mahreni, S. W.; Setyoningrum, T. M.; Hadi, F.; Widayati, T. W.; Jaya, D.; Sulistyawati, R. R. E.; Puspitaningrum, D. A.; Dewi, R. N.; Hadiyanto y Hasanuzzaman, M. (2025). Innovative strategies for utilizing microalgae as dual-purpose biofertilizers and phycoremediators in agroecosystems. *Biotechnology Reports*, 45, e00870. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2024.e00870>
- Pardede, E.; Siahaan, F. y Hayati, R. (2024). Consumer liking of steamed green Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *chinensis*) cultivated in formulated vegetable waste-based organic hydroponic solutions. *Comunicata Scientiae*, 16, e4291. <https://doi.org/10.14295/cs.v16.4291>
- Peña-Murillo, R. F.; Manobanda-Teneda, M.; Arias-Torres, A. S.; Abrajan-Tasinchana, K. y Cevallos-Guano, D. G. (2024). Determination of the water requirement of the Chinese turnip (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). *Polo del Conocimiento*, 9(5), 2176-2196. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7316/html>
- Rajesaheb, K. S.; Subramanian, S.; Boominathan, P.; Thenmozhi, S. y Gnanachitra, M. (2025). Bio-stimulant in improving crop yield and soil health. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(3), 464-499. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2416925>
- Ruesta-López, M.; Zurita-Chinguel, L.; Lizano-Pintado, M.; Delgado-Vite, M.; Zapata-Durand, D.; Jiménez-Castillo, J.; Peña-Castillo, R.; Galecio-Julca, M.; Chanduvi-García, R.; Morales-Pizarro, D. A. (2024). Biostimulant and imbibition times on passion fruit (*Passiflora edulis* S., Passifloraceae) seed

- germination. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2), 1-14. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5199>.
- Sarula, H.; Zhang, R.; Li, Y.; Meng, F. y Ma, J. (2022). Impact of drip irrigation and nitrogen fertilization on soil microbial diversity of spring maize. *Plants*, 11(23), 3206. <https://doi.org/10.3390/plants11233206>
- Schenk, P.; Batool, M.; Mirzaee, H. y Abbott, A. (2024). Customized plant growth promotion with soil- and cultivar-compatible microbial biofertilizers. *Agronomy*, 14(9), 1915. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091915>
- Slamini, M.; Sbaa, M.; Arabi, M. y Darmous, A. (2022). Review on partial root-zone drying irrigation: Impact on crop yield, soil and water pollution. *Agricultural Water Management*, 271, 107807. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107807>
- Strahsburger, E.; Retamales, P.; Estrada, J. y Seeger, M. (2016). Microdot method: Used with chromogenic agar is a useful procedure for sanitary monitoring in aquaculture. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4), 742-749. <http://dx.doi.org/10.3856/vol44-issue4-fulltext-9>
- Vélez-Sánchez, J.; Molina-Ochoa, M. y Rodríguez-Hernández, P. (2021). Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the vegetative growth of pear variety Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2), e2007. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2007>
- Wang, Z.; Yan, Q.; Yang, T. y Kong, C. (2024). Overview of biofertilizers and its application in Chinese cabbage. *Scientific Research Timelines Journal*, 2(6), 103-107. <https://scientificrtj.com/index.php/srtj/article/view/39/37>
- Wonglom, P.; Suwannarach, N.; Lumyong, S.; Matsui, S.; Ito, K. y Sunpapao, A. (2019). *Streptomyces angustmyceticus* NR8-2 as a potential microorganism for the biological control of leaf spots of *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* caused by *Colletotrichum* sp. and *Curvularia lunata*. *Biological Control*, 138, 104046. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104046>
- Zhang, Z.; Xu, M.; Fan, Y.; Zhang, L. y Wang, H. (2024). Using microalgae to reduce the use of conventional fertilizers in hydroponics and soil-based cultivation. *Science of The Total Environment*, 912, 169424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169424>
- Zhou, Y.; Liu, D.; Li, F.; Dong, Y.; Jin, Z.; Liao, Y.; Li, X.; Peng, S.; Delgado-Baquerizo, M. y Li, X. (2024). Superiority of native soil core microbiomes in supporting plant growth. *Nature Communications*, 15(1), 6599. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50685-3>

Viabilidad y germinación *in vitro* de semillas de *Passiflora quimbayensis* Ocampo & Forero y *Passiflora ligularis* Juss. como estrategia para la conservación de especies nativas de Colombia

Viability and *in vitro* germination of seeds of *Passiflora quimbayensis* Ocampo & Forero and *Passiflora ligularis* Juss. seeds as a strategy for the conservation of native species of Colombia

Lina Marcela Parrado Palma ^{1,3}, John Albeiro Ocampo Pérez ^{1,4}, Roosevelt Humberto Escobar Pérez ^{2,5}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Colombia. ²Alianza Bioersity International - Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Palmira. Colombia. ³  lparrado@unal.edu.co; ⁴  jaocampop@unal.edu.co; ⁵  r.escobar@cgiar.org



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.112163>

2024 | 73-2 p 190-200 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2023-12-18 Acep.: 2025-06-13

Resumen

Colombia es el país con mayor diversidad de especies del género *Passiflora* L., tanto silvestres como cultivadas. Sin embargo, esta riqueza se ve amenazada por múltiples acciones antrópicas y la falta de estrategias para la conservación de estos recursos biológicos. Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue estudiar la viabilidad y germinación *in vitro* en semillas de 2 especies colombianas del género *Passiflora* L. (*P. quimbayensis* y *P. ligularis*). La metodología fue establecida por medio de una prueba de viabilidad de las semillas (tetrazolio), una siembra en vivero y técnicas de micropropagación: (1) obtención del material vegetal, (2) establecimiento aséptico del cultivo y (3) multiplicación del material vegetal. Un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos por 3 repeticiones y 1 muestra de 33 unidades experimentales por cada tratamiento fueron analizados con el programa R-Studio. Los resultados mostraron que las semillas obtuvieron entre el 80-95 % de viabilidad. En la siembra en vivero, *P. ligularis* presentó un porcentaje de germinación del 70 % de germinación a los 11 días, mientras que *P. quimbayensis* solo alcanzó el 3 % de germinación a los 60 días. En el protocolo de conservación *in vitro*, el mejor tratamiento de asepsia (T1) con hipoclorito de sodio al 6 % mostró la menor contaminación por patógenos (<25 %). El despunte apical de las semillas mostró los mayores porcentajes de germinación, con 99 % y 100 % en *P. quimbayensis* y *P. ligularis*, respectivamente. El método de cultivo *in vitro* permitió la regeneración de las semillas de *P. quimbayensis*, aunque en las raíces hubo formación de callo, mientras que en *P. ligularis* el enraizamiento fue normal, sin presencia de callo. El método de conservación *in vitro* mostró resultados positivos para la propagación de *P. ligularis*, mientras que requiere ajustes para su aplicación en especies silvestres como *P. quimbayensis*.

Palabras clave: conservación, cultivo de tejidos, escarificación, Passifloraceae, semillas.

Abstract

Colombia is the country with the greatest diversity of *Passiflora* L. species, both wild and cultivated. However, this richness threatened by several anthropic actions, as well as the lack of strategies to preserve these biological resources. For that reason, the objective of this research was to evaluate the viability and *in vitro* germination of two seed species from the genus *Passiflora* L. (*P. quimbayensis* and *P. ligularis*) distributed in Colombia. The methodology included a seed viability test using tetrazolium, nursery sowing, and micropropagation techniques, which involved three stages: (1) obtaining plant material, (2) aseptic establishment of the culture, and (3) plant material multiplication. A completely randomized experimental design was used, consisting of three treatments, each with three replicates and a sample of 33 experimental units for each treatment. Data were analyzed using the R-Studio program. The results indicated seeds viability ranging from 80 % to 95 %. In the nursery sowing trials, *P. ligularis* exhibited a 70 % germination rate at 11 days, whereas *P. quimbayensis* reached only a 3 % germination rate after 60 days. In the *in vitro* conservation protocol, the most effective aseptic treatment (T1), with 6 % sodium hypochlorite, resulted in the lowest level of contamination by pathogens (less than 25 %). Apical seed sprouting exhibited the highest germination rates, with 99 % in *P. quimbayensis* and 100 % in *P. ligularis*. The *in vitro* culture method enabled the generation of *P. quimbayensis* seeds, although callus formation was observed on the roots. In contrast, *P. ligularis* exhibited normal rooting without callus development. The *in vitro* conservation method showed positive results for propagation of the *P. ligularis*; however, it requires further adjustments for effective application in wild species such as *P. quimbayensis*.

Keywords: Conservation, Passifloraceae, scarification, seeds, tissue culture.

Introducción

El género *Passiflora* L. es considerado como un indicador de la biodiversidad en Colombia, cuyas especies presentan múltiples interacciones ecológicas con otros organismos (Ocampo *et al.*, 2021). Colombia, en las últimas décadas, ha experimentado una transformación de grandes áreas de sus ecosistemas naturales, debido a múltiples actividades antrópicas. Por tal razón, esfuerzos de conservación o restauración de los hábitats naturales son estrategias que deben integrarse para el mantenimiento de la diversidad de *Passiflora* en Colombia (Pacheco *et al.*, 2016). A pesar de esta problemática, existe poca información relacionada con la conservación de los recursos genéticos de *Passiflora* en bancos de germoplasma (Ocampo *et al.*, 2021). Adicionalmente, la longevidad de las semillas de *Passiflora* varía de manera importante entre sus especies, debido a las diferencias de genotipo y origen (Hong y Ellis, 1996). En estudios previos sobre las principales especies cultivadas de *Passiflora* (maracuyá, granadilla y gulupa), las semillas mostraron un comportamiento ortodoxo e intermedio en almacenamiento (Posada *et al.*, 2014). Por otro lado, a nivel global existen alrededor de 50 colecciones de *Passiflora* y el número de accesiones va en aumento en los últimos años, pues ha pasado de 524 en 1994, a 2274 en la actualidad (CerqueiraSilva *et al.*, 2012; Ocampo *et al.* 2021).

Por lo anterior, es fundamental conocer el potencial germinativo de las semillas conservadas en los bancos de germoplasma (Junghans *et al.*, 2021). Igualmente, es importante tener en cuenta que uno de los obstáculos en las especies de *Passiflora* es la baja capacidad germinativa de las semillas, lo cual está relacionado por poseer una testa dura y lignificada de la cubierta seminal (Bewley y Black, 1982; Pérez *et al.*, 2022; Rodríguez *et al.*, 2020). Estas características de la semilla generan una latencia exógena mecánica, lo que dificulta una normal germinación, por lo que es necesario buscar alternativas para romper la latencia.

Las investigaciones en *Passiflora* spp. relacionadas con la conservación de semillas son escasas. Estos estudios se han enfocado en el manejo de diferentes tratamientos pregerminativos para romper mecanismos de latencia fisiológica y física de las semillas, como la alternancia de temperaturas, el manejo de diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG₃), la escarificación en condiciones de laboratorio y en vivero, y la evaluación de la capacidad germinativa con tetrazolio (Rodríguez *et al.*, 2020). Así, existen investigaciones en las que la aplicación de AG₃ en diferentes concentraciones en semillas de *P. tripartita* var. *mollissima* (Kunth) Holm-Niels. & P. Jørg. (Cardozo, 1988), *P. nitida* Kunth (Passos *et al.*, 2004), *P. alata* Curtis (Junghans *et al.*, 2021), *P. edulis* f. *flavicarpa* Degener (Lima *et al.*, 2009) y *P. ligularis* Juss. (Gutiérrez *et al.*, 2011) promovió considerablemente la germinación. De la misma manera, el uso de

tratamientos pregerminativos como la escarificación y la inmersión de la semilla en especies como *P. tricuspidis* Mast. (Delanoy *et al.*, 2006), *P. caerulea* L. (Mendiondo y García, 2009), *P. cincinnata* Mast. (Júnior *et al.*, 2010) y *P. edulis* f. *flavicarpa* (De Oliveira *et al.*, 2023) han logrado favorecer la absorción del agua y romper la latencia que se presenta en muchas especies de *Passiflora*. Otro estudio realizado por Balaguera *et al.* (2010) con la escarificación en frío (4 °C) y cubrimiento de la semilla de *P. edulis* Sims f. *edulis* también mostró un incremento significativo en los porcentajes de germinación, lo cual sugiere que esta técnica puede ser efectiva para superar la latencia y mejorar la emergencia de plántulas.

En la actualidad, las técnicas de propagación *in vitro* permiten mejores porcentajes de germinación de semillas (Junghans *et al.*, 2021), las cuales pueden ser implementadas para mantener la conservación de la diversidad genética o en múltiples aplicaciones en programas de fitomejoramiento (Faleiro *et al.*, 2019; Mohammadi *et al.*, 2023). Estudios de propagación *in vitro* para la conservación de semillas, han sido desarrollados en diferentes especies, como *P. alata* (Junghans *et al.*, 2021), *P. caerulea* (Severin *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2004), *P. cumbalensis* (Karst.) y *P. tripartita* var. *mollissima* Holm-Niels. & Jørg. (Córdoba *et al.*, 2010) y por Castrillón *et al.* (2024) en *P. maliformis* con resultados variables en la producción de plántulas. En Colombia, investigaciones realizadas para la conservación de especies silvestres, en el Jardín Botánico de Bogotá - José Celestino Mutis, han utilizado la técnica de cultivo de tejidos vegetales para la micropropagación de semillas en *P. cumbalensis* (Gonzales, 2004).

El presente trabajo surge como iniciativa del Grupo de Investigación en Recursos Fitogenéticos (GIRFIN) por conservar especies nativas o endémicas en Colombia, que actualmente se encuentran amenazadas (peligro crítico - CR) y cuyo hábitat está disturbado o destruido (Ocampo *et al.*, 2021; Caleño-Ruiz *et al.*, 2024). Así, La aplicación de técnicas de cultivo *in vitro* puede mejorar significativamente la viabilidad y la germinación de las semillas de *Passiflora quimbayensis* y *P. ligularis*, contribuyendo al establecimiento de estrategias efectivas para su conservación. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo estudiar la viabilidad y la germinación *in vitro* en semillas de 2 especies colombianas del género *Passiflora* (*P. quimbayensis* Ocampo & Forero, y *P. ligularis* Juss.) que permitan su conservación *ex situ*.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el laboratorio de cultivo de tejidos y en la casa de malla de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, localizada en el municipio de Palmira (Valle del Cauca) a 980 m s. n. m. (3°30'44.58"N, 76°18'29.14"W).

Especies estudiadas

Semillas de 2 especies del género *Passiflora*, representadas en los subgéneros *Decaloba* (*P. quimbayensis*) y *Passiflora* (*P. ligularis*) provenientes de la colección de semillas de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira y conservadas en frío (7-8 °C) y entre 70-75 % de humedad relativa, fueron empleadas en este estudio.

Preparación de la semilla

Las semillas de cada especie pasaron por una inmersión en agua destilada durante 4 días para luego retirar los residuos del arilo y la sarcotesta. Posteriormente, las semillas fueron lavadas con agua estéril retirando los residuos existentes y secadas en papel absorbente durante 48 horas a temperatura ambiente.

Prueba de viabilidad

La evaluación de la viabilidad de las semillas se realizó mediante la prueba de tetrazolio, siguiendo el protocolo propuesto por la Association of Official Seed Analysts/Society of Commercial Seed Technologists (Miller y Peters, 2010). El procedimiento incluyó una etapa de precondicionamiento, consistente en la imbibición de las semillas en agua destilada durante 24 horas a una temperatura constante de 30 °C. Posteriormente, se procedió a la escarificación de las semillas mediante un corte longitudinal en la testa, con el fin de exponer el embrión. Las semillas escarificadas fueron puestas en una solución al 1 % de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio bajo condiciones de oscuridad, durante un periodo de 24 horas a 30 °C. Para cada especie evaluada se establecieron 3

repeticiones experimentales, utilizando 10 semillas por repetición. Los porcentajes de viabilidad se determinaron a partir del número de embriones que presentaron tinción uniforme, de acuerdo con los criterios establecidos por Miller y Peters (2010).

Siembra en vivero

Las semillas antes de la siembra fueron sometidas a un tratamiento de escarificación mecánica mediante despunte apical, seguido por la inmersión en una solución de nitrato de potasio (KNO_3) al 1 % durante 24 horas a temperatura ambiente. Finalizado este periodo, la solución fue filtrada para eliminar residuos, y las semillas fueron puestas sobre papel absorbente para eliminar el exceso de humedad superficial.

La siembra se realizó en bandejas plásticas de 20 cm de altura, utilizando como medio de cultivo una mezcla de sustrato comercial compuesto por fibra de coco y turba en una proporción 2:1. Las semillas fueron sembradas a una profundidad de 0.5 cm. El riego fue realizado diariamente con agua potable. Las evaluaciones de germinación se realizaron semanalmente durante un periodo de 60 días.

El ensayo fue conducido bajo un diseño completamente aleatorizado, con 3 repeticiones por especie y 10 semillas por repetición. Como variable de respuesta se consideró el porcentaje de germinación (% PG), calculado al final del periodo de evaluación.

Cultivo in vitro

Etapa 0. Obtención del material vegetal

Las semillas empleadas de cada especie para la fase experimental del cultivo *in vitro* fueron seleccionadas de las mismas accesiones del mismo lote, las cuales presentaron viabilidad con la prueba de tetrazolio (Figura 1) y la germinación en la fase de vivero.

Etapa I. Establecimiento aséptico del cultivo

Las semillas de cada especie fueron inicialmente lavadas con agua estéril para eliminar los residuos del arilo y la sarcotesta. A continuación, se sumergieron durante 20 minutos en una solución

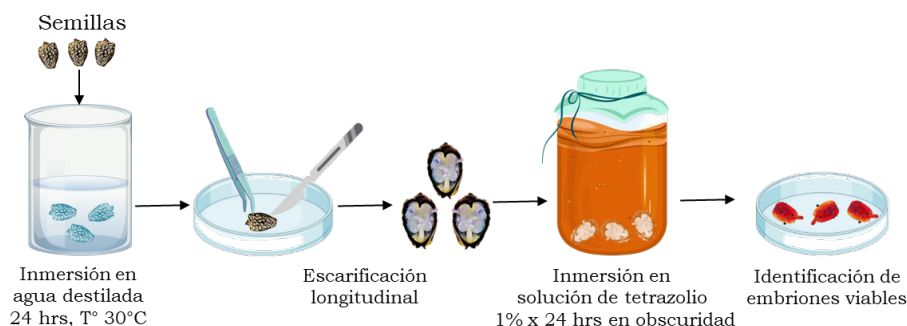


Figura 1. Protocolo de la prueba de viabilidad de acuerdo a la metodología propuesta por Miller y Peters (2010).

compuesta por detergente alcalino al 3 % y ácido ascórbico a una concentración de 100 mg l⁻¹ como agente antioxidante. Posteriormente, se realizó un enjuague con agua destilada estéril para remover los residuos del detergente. Luego las semillas fueron desinfectadas superficialmente mediante inmersión en etanol al 70 % durante 30 segundos. Tras este paso, se aplicaron 2 tratamientos de desinfección utilizando soluciones de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 6 % y 7 %, respectivamente, durante 20 minutos. Finalizado el tratamiento, las semillas fueron enjuagadas 3 veces con agua destilada estéril, con intervalos de 2, 5 y 10 minutos, con el fin de eliminar completamente los residuos del agente desinfectante.

El experimento fue establecido bajo un diseño completamente aleatorizado con 2 tratamientos, 3 repeticiones por tratamiento y 10 semillas por unidad experimental para cada una de las especies evaluadas.

Etapla II. Multiplicación del material vegetal

Para la inducción de germinación *in vitro* de las semillas de las *Passiflora* estudiadas, fue utilizado el medio de Murashige y Skoog (MS), el cual fue suplementado con sacarosa en una preparación de 30 g/l, agar 7 g/l, tiamina 7 g/l. A este medio de cultivo fue adicionado ácido giberélico (AG₃), como regulador de crecimiento, en una concentración de

2 mg/l (Roca y Mroginski, 1997). El pH del medio fue ajustado a 5.8 antes de la esterilización, la cual fue realizada mediante autoclave a 120 °C y una presión de 15 psi durante 25 minutos.

Debido a la dureza y a las características morfoanatómicas de la testa en las semillas del género *Passiflora*, fueron empleados tratamientos pregerminativos para favorecer la germinación *in vitro*. Previo a la escarificación, las semillas de ambas especies fueron sometidas a un tratamiento de imbibición en ácido giberélico (AG₃) durante 24 horas (Figura 2). El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con 3 tratamientos de escarificación: T1 (sin escarificación), T2 (escarificación total) y T3 (escarificación por despunte apical). Cada tratamiento fue evaluado con 3 repeticiones y 1 unidad experimental de 33 semillas para un total de 99 semillas por tratamiento y especie. Las semillas tratadas fueron sembradas en frascos de vidrio estériles de 100 ml, cada uno con 20 ml de medio de cultivo MS. Los frascos fueron transferidos a una cámara de cultivo de incubación con condiciones controladas de temperatura (24 °C) y un fotoperiodo de 16 horas luz por 8 horas oscuridad (Roca y Mroginski, 1997). La evaluación de la germinación fue realizada cada 7 días durante un periodo total de 14 semanas.

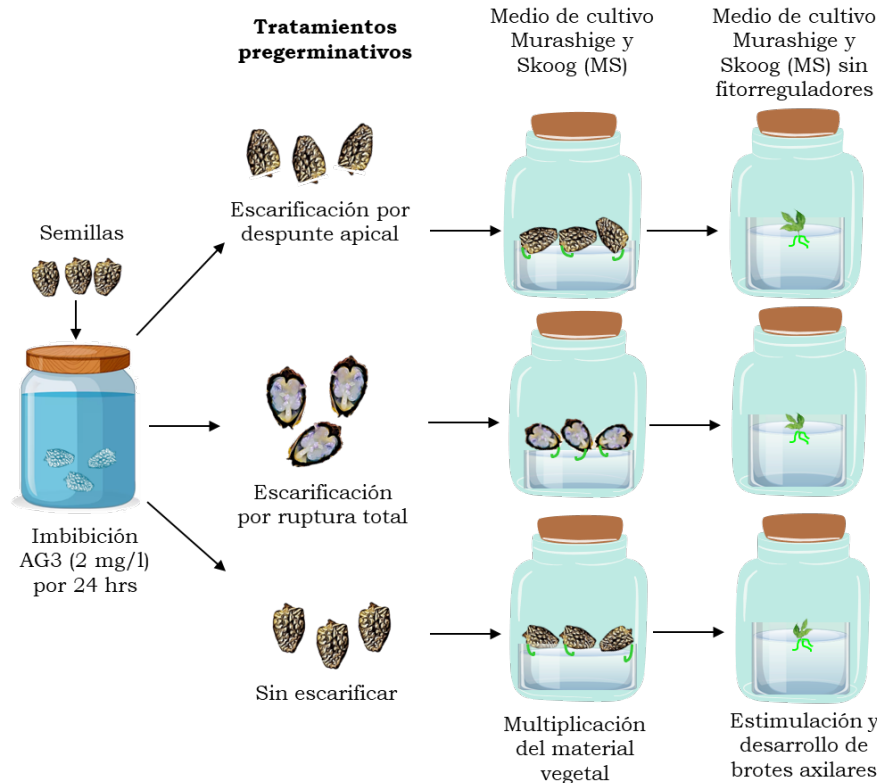


Figura 2. Protocolo de germinación *in vitro* de la semilla, multiplicación del material vegetal, estimulación y desarrollo de brotes axilares de las *Passiflora* estudiadas.

Etapa III. Estimulación y desarrollo de brotes axilares

Para inducir la formación y el desarrollo de brotes axilares, cada explante fue sometido a un proceso de multiplicación directa a través de la organogénesis adventicia. Posteriormente, las plántulas obtenidas fueron transferidas a un medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) libre de fitorreguladores, con el fin de favorecer el desarrollo inicial de las primeras fases de enraizamiento (Figura 2).

Análisis de datos

El análisis de los datos correspondientes a la viabilidad y germinación de semillas en condiciones de invernadero fue basado en los porcentajes obtenidos por cada repetición, considerando el número de semillas germinadas respecto al total sembrado por unidad experimental. Para los ensayos establecidos bajo condiciones *in vitro*, fue empleado un diseño experimental completamente aleatorizado con múltiples tratamientos por especie. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) con el fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos. Previo a la comparación de medias, fue aplicada la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de las varianzas. En los casos en que se cumplió este supuesto, se procedió con una prueba de comparación de medias mediante Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Los datos fueron inicialmente organizados y tabulados en Microsoft Excel 2011, y posteriormente procesados y analizados en el entorno estadístico RStudio (versión 4.x), utilizando el paquete Rappoportools para la validación de supuestos y la generación de estadísticas descriptivos.

Resultados y discusión

Prueba de viabilidad

En las semillas de las *Passiflora* estudiadas se observó la presencia de un embrión de forma espatulada con endospermo blanquecino y con variaciones en el tamaño entre las especies comparadas (Figura 3).

La prueba de viabilidad mediante tetrazolio (Miller y Peters, 2010) mostró resultados elevados en ambas especies. La especie silvestre *Passiflora quimbayensis* registró un 96 % de viabilidad, evidenciado por la tinción uniforme de la mayoría de sus embriones. Por su parte, en *P. ligularis* (granadilla) presentó un 100 % de viabilidad, con embriones completamente teñidos, lo que indicó integridad fisiológica y metabólica (Figura 4).

Estos resultados son consistentes con estudios previos en otras especies del género *Passiflora*. Así, en *P. foetida* se logró una tinción homogénea mediante la aplicación de una solución de tetrazolio al 1 % durante

2 horas a 30 °C, lo cual permitió una evaluación eficaz de la viabilidad (Costa et al., 2016). De manera similar, en *P. elegans* Mast. la exposición a una concentración de 0.05 % de tetrazolio a 36 °C durante 24 horas generó resultados positivos en la detección de embriones viables (Da Silva et al., 2019). En *P. edulis* f. *edulis* y *P. ligularis*, Aguacía et al. (2015) reportaron una coloración uniforme y clara del tejido embrionario utilizando una concentración de tetrazolio del 0.5 % a 32 °C durante 24 horas, lo cual confirma la eficacia del método en estas especies. No obstante, la prueba de viabilidad por tinción no constituye una garantía para obtener altos porcentajes de germinación, debido a que diversas especies de *Passiflora*, como *P. edulis* (maracuyá), *P. ligularis* (granadilla), *P. maliformis* L. (cholupa), *P. quadrangularis* L. (badea) y *P. edulis* f. *edulis* (gulupa), se ha documentado la presencia de latencia exógena (Ellis et al., 1985; Rodríguez et al., 2020). Esta condición fisiológica, asociada principalmente a la dureza de la testa, limita la capacidad de germinación, incluso, en semillas viables (Ellis et al., 1985).

Por otro lado, el grado de domesticación de las especies puede influir significativamente en la capacidad de germinación de las semillas. En este estudio se observó que la especie cultivada de granadilla (*P. ligularis*) presentó un 100 % de embriones viables, en contraste con la especie silvestre evaluada. Lo anterior sugiere una posible relación entre el estado de domesticación y la viabilidad embrionaria, lo cual ha sido documentado en *P. edulis* f. *edulis* (Rodríguez et al., 2020).

Adicionalmente, la correcta interpretación de la prueba de tetrazolio depende de diversos factores técnicos que aseguran la precisión del diagnóstico, entre ellos, la adecuada penetración del reactivo en los tejidos, el tipo de corte aplicado a la semilla, el movimiento de la solución, la concentración del cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio, así como el establecimiento óptimo de temperatura y del tiempo de imbibición. Estos parámetros son fundamentales para garantizar una tinción uniforme y confiable (Vega et al., 2022).

Cultivo en invernadero

Las semillas de *P. quimbayensis* iniciaron el proceso germinativo a los 11 días después de la siembra, y alcanzaron solamente un 3 % de germinación. Este bajo porcentaje sugiere la presencia de mecanismos de latencia relacionados con barreras físicas y químicas en la testa. En contraste, *P. ligularis* alcanzó un 70 % de germinación a los 25 días, con seguimiento continuo hasta los 60 días posteriores a la siembra. El bajo porcentaje de germinación en *P. quimbayensis* es consistente con lo reportado por Posada et al. (2014), quienes describen la presencia de tejidos lignificados y recubrimientos cerosos como factores inhibidores. Por el contrario, el comportamiento observado en *P. ligularis* sugiere un mayor grado de

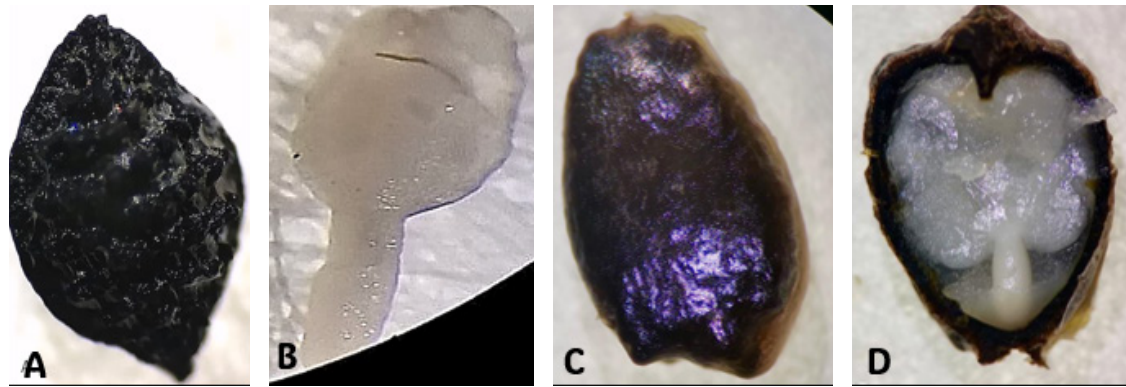


Figura 3. Morfología externa y embrión de la semilla de *P. quimbayensis* (A-B) y *P. ligularis*. (C-D).

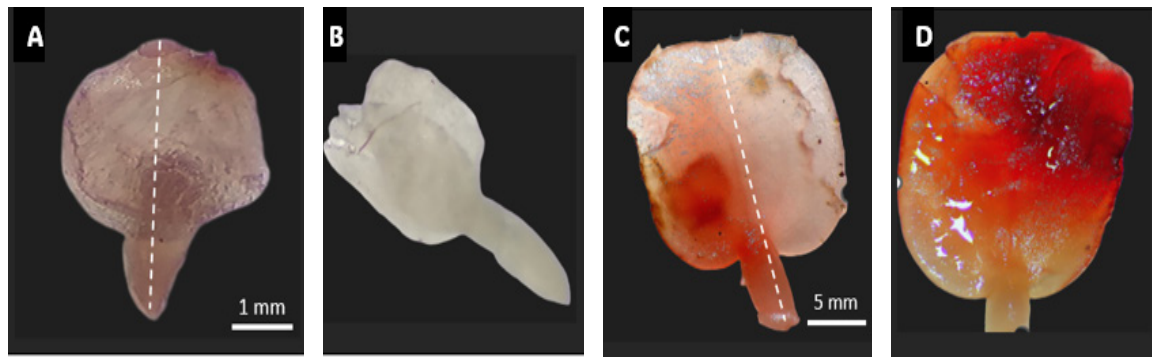


Figura 4. Patrones de coloración de embriones en prueba de viabilidad: (A y B) *P. quimbayensis*; (C y D) *P. ligularis*.

domesticación, lo cual podría haber favorecido una reducción de mecanismos de latencia, como lo han propuesto diversos autores en especies cultivadas. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que las barreras físicas en la testa constituyen un factor limitante para la germinación en especies silvestres de *Passiflora* y justifica la necesidad de explorar protocolos pregerminativos específicos.

Cultivo in vitro

Etapas I. Establecimiento de desinfección del cultivo

Los ensayos preliminares de asepsia realizados en semillas viables de *Passiflora quimbayensis* y *P. ligularis* mostraron diferencias en la efectividad de los tratamientos aplicados. En *P. quimbayensis*, el tratamiento T1 con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 6 % no logró prevenir la contaminación, por lo cual registró un 0 % de asepsia, mientras que el tratamiento T2 con NaOCl al 7 % presentó una leve mejora, pues alcanzó un 6.6 % de asepsia. En ambos casos, el contaminante predominante fue de origen bacteriano, presumiblemente introducido durante el proceso de siembra en el medio de cultivo, lo que sugiere una fuente exógena asociada al ambiente o a las condiciones de manipulación (Figura 5). En

contraste, las semillas de *P. ligularis* no presentaron contaminación alguna en ninguno de los tratamientos evaluados, lo cual sugiere una mayor resistencia superficial a agentes contaminantes o una mayor eficacia del protocolo de desinfección para esta especie en particular.

Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por Manjarrés y Perea (2012), quienes obtuvieron un 100 % de supervivencia en semillas de *P. edulis* f. *edulis* utilizando un protocolo combinado con solución de Isodine al 3 % y NaOCl al 2 % durante 20 minutos. De igual manera, Gonzales (2004) reportó una eficacia del 97 % en el proceso de asepsia de semillas de *P. tripartita* var. *mollissima* y *P. cumbalensis* empleando NaOCl al 7 % durante el mismo periodo de exposición. En comparación, Castrillón et al. (2024) obtuvieron un 77 % de efectividad en la desinfección de semillas de *P. maliformis* con etanol al 70 % y NaClO al 2.5 %, aunque los porcentajes fueron menores, el protocolo permitió una germinación del 100 %.

Para validar la eficacia del protocolo de asepsia propuesto, se realizó un seguimiento semanal a los medios de cultivo, con el objetivo de detectar la presencia de agentes contaminantes, principalmente bacterias y hongos. De acuerdo con los resultados obtenidos, no se evidenció desarrollo microbiano en las unidades experimentales evaluadas, lo que

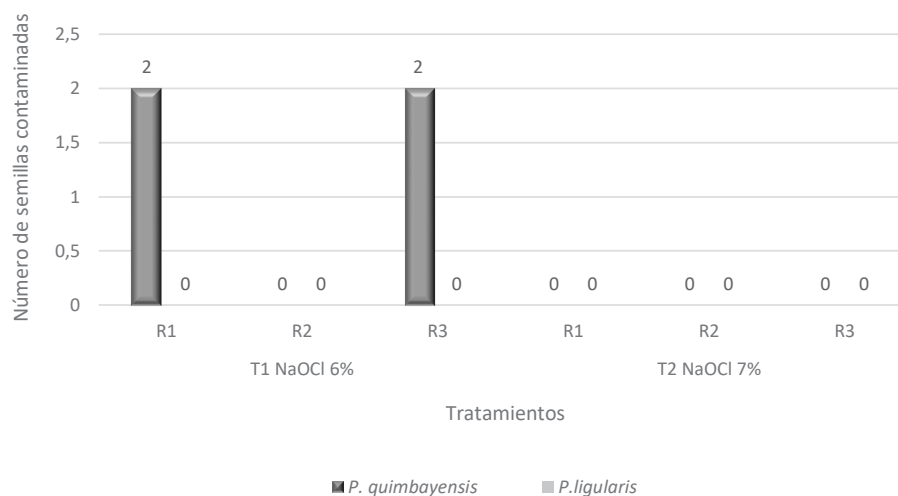


Figura 5. Porcentaje de contaminación vs. tipo de tratamiento de desinfección en cultivo *in vitro* de las semillas.

permite afirmar que el protocolo implementado fue efectivo y eficiente en el control de contaminantes durante las fases iniciales del cultivo *in vitro*.

Es fundamental resaltar que los procesos de desinfección no solo deben eliminar de forma eficaz los microorganismos epífitos o endófitos, sino también preservar la viabilidad fisiológica del explante, para permitir su crecimiento activo y un desarrollo adecuado en las etapas posteriores del cultivo (Junghans *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2012). La contaminación microbiana representa uno de los principales obstáculos en la propagación *in vitro*, debido a que los microorganismos pueden competir con los explantes por los nutrientes disponibles en el medio de cultivo o alterar su composición química (Roca y Mroginski, 1997).

En este estudio se observó que la ornamentación externa de las semillas de *P. ligularis* es menos reticulada y presenta una superficie más lisa en comparación con *P. quimbayensis*. Esta característica morfológica podría estar asociada con una menor retención de agentes contaminantes en las estructuras superficiales de la semilla, lo que explicaría la ausencia de contaminación en esta especie durante la evaluación.

El protocolo de asepsia utilizado en este estudio demostró ser adecuado para ambas especies evaluadas; además, fue particularmente eficiente en *P. ligularis*, y constituye una base sólida para el establecimiento exitoso de cultivos *in vitro* en programas de propagación y conservación de germoplasma.

Etapa II. Multiplicación del material vegetal

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) mostró que existe una homogeneidad de las varianzas dentro de los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Levene. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$) en la

velocidad y porcentaje de germinación *in vitro* entre los tratamientos aplicados a las semillas de *P. quimbayensis* y *P. ligularis* (Figura 6, Tabla 1). Las primeras evidencias de germinación fueron observadas en el tratamiento de escarificación por despunte apical (T3), la cual inició en la tercera semana para *P. ligularis* (7.1 %) y en la cuarta semana para *P. quimbayensis* (8.1 %).

En *P. quimbayensis* los mayores porcentajes acumulados de germinación se registraron entre las semanas 6 a 9, cuando alcanzaron un 46.5 %. En *P. ligularis* este mismo comportamiento fue evidente entre las semanas 5 a 9, con un porcentaje acumulado del 60.7 %, lo que sugiere una mayor velocidad de respuesta germinativa en esta última *Passiflora*.

El tratamiento T3 (escarificación por despunte apical) resultó ser el más eficiente para *P. quimbayensis*, con un 99 % de germinación, el cual mostró diferencias estadísticamente significativas respecto a los tratamientos T1 (sin escarificación) y T2 (escarificación total) (Tabla 1). En contraste, en *P. ligularis* los dos tratamientos que implicaron escarificación (T2 y T3) alcanzaron altos niveles de germinación (95 % y 100 %, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos, lo cual indica que cualquier método de escarificación física mejora considerablemente la respuesta germinativa de esta especie.

Por otro lado, el tratamiento T1 (sin escarificación) fue el menos eficiente en ambas especies, debido a que registró los porcentajes más bajos de germinación: 35.4 % para *P. quimbayensis* y 45.5 % para *P. ligularis*. Estos resultados respaldan la importancia de la escarificación como método pregerminativo en especies de *Passiflora*, especialmente en aquellas con testa dura e impermeable, donde la latencia exógena representa una barrera significativa para la emergencia radicular.

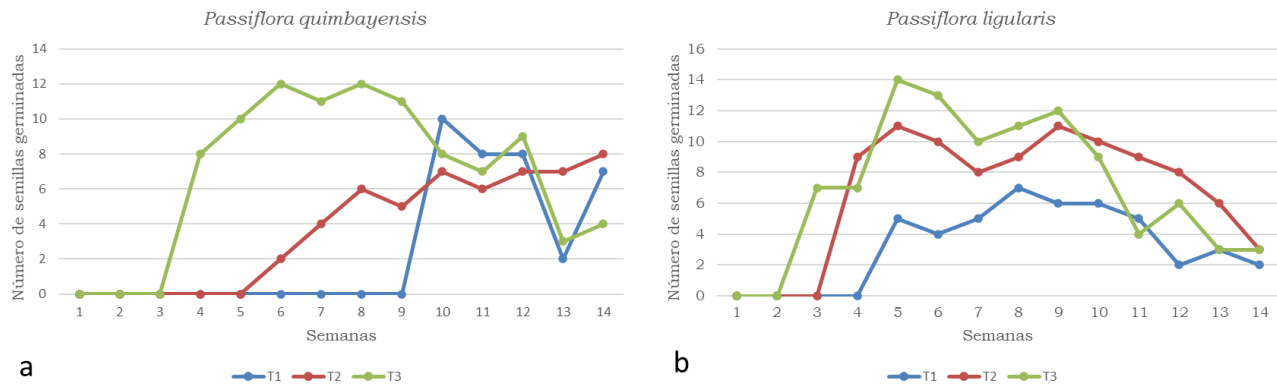


Figura 6. Evaluación de la germinación *in vitro* en las semillas de *P. quimbayensis* y *P. ligularis* bajo diferentes tratamientos.

Tabla 1. Germinación *in vitro* de semillas de *P. quimbayensis* y *P. ligularis* germinadas bajo diferentes tratamientos

Tratamientos	Repeticiones			Total semillas	Promedio semillas	Semillas
<i>Passiflora quimbayensis</i>	1	2	3	germinadas	germinadas	germinadas (%)
T1. Sin escarificación	10	10	15	35	11.6 a	35.4
T2. Escarificación total	20	18	15	53	17.7 b	53.5
T3. Escarificación en despunte apical	33	33	32	98	32.7 c	99.0
<i>Passiflora ligularis</i>						
T1. Sin escarificación	15	18	12	45	15.0 a	45.5
T2. Escarificación total	30	31	33	94	31.3 b	94.9
T3. Escarificación en despunte apical	33	33	33	99	33.0 b	100.0

*Las letras indican las diferencias de la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) entre los diferentes tratamientos.

Los resultados obtenidos sugieren que la velocidad de imbibición del agua en las semillas de *Passiflora quimbayensis* y *Passiflora ligularis* influye directamente en la capacidad germinativa de los embriones, lo cual está estrechamente relacionado con las características estructurales y químicas de la testa. Esta observación concuerda con lo reportado por Taylorson y Hendricks (1977), quienes describieron que la impermeabilidad física de la cubierta seminal puede limitar la entrada de agua y, por tanto, retrasar o impedir la germinación en diversas especies de interés económico. Igualmente, en *P. tripartita* var. *mollissima*, Cardozo (1988) identificó que la testa está conformada por células fuertemente lignificadas y compactadas, lo que restringe la absorción de agua al canal micropilar. Este tipo de estructura anatómica representa una barrera física efectiva contra la imbibición, lo que condiciona significativamente el comportamiento germinativo. Adicionalmente, la testa de las semillas puede tener algunos inhibidores en su cubierta seminal, como la producción de ácido abscísico (ABA), lo cual puede inducir o mantener la latencia de la semilla, interfiriendo con la activación metabólica del embrión y el inicio de su desarrollo (Bewley y Black, 1982; Pérez et al., 2022).

En este contexto, la presencia de estructuras lignificadas y posibles reguladores negativos, como el ABA en la testa de *P. quimbayensis* podría explicar los bajos porcentajes de germinación observados en esta especie, a pesar de registrar una alta viabilidad embrionaria. Por el contrario, *P. ligularis*, con una testa aparentemente menos compacta, mostró una mayor respuesta germinativa, lo que sugiere diferencias interespecíficas en los mecanismos de control de la germinación.

El método de despunte apical (T3), aunque es un procedimiento más específico y lento, es la técnica más eficaz para obtener la mayor cantidad posible de plántulas en el menor tiempo. De acuerdo con Torres (2018), escarificar las semillas en las especies de *Passiflora* permite que el potencial hídrico de sus estructuras embrionarias aumente de manera significativa para que estas germinen. En concordancia, Gutiérrez et al. (2011) reportaron que la apertura controlada de la testa mediante despunte en *P. edulis* permitió superar las barreras físicas impuestas por la cubierta seminal, lo cual promueve una mejor absorción del ácido giberélico (AG_3) aplicado exógenamente y, en consecuencia, una germinación significativamente más eficiente.

Otros estudios demostraron que este método de escarificación parcial de la testa permitió obtener un mayor porcentaje de germinación *in vitro* en *P. gibertii* (Junghans *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2012). Así mismo, la aplicación de reguladores de crecimiento es favorable para la germinación de diferentes especies, debido a que aumenta el porcentaje de semillas en proceso de germinación (Hudson *et al.*, 1997). En general, los resultados sugieren que el mejor tratamiento pregerminativo para las semillas de *P. quimbayensis* es la escarificación de despunte apical (T3), mientras que en *P. ligularis* cualquiera de los dos tratamientos que involucran la escarificación (T2 y T3) pueden ser recomendados para promover una germinación uniforme y eficiente en condiciones *in vitro*.

La formación de callos en *P. quimbayensis* fue evidente en la totalidad de las raíces evaluadas en los tratamientos T1 y T2; estos se observaron a partir de la octava semana posterior a la siembra y se extendieron hasta la décima semana. Los resultados sugieren que la aplicación de ácido giberélico (AG₃) como único regulador de crecimiento no fue suficiente para inhibir el proceso de callogénesis en las raíces de *P. quimbayensis*. Este comportamiento sugiere la necesidad de complementar el medio de cultivo con sustancias inhibitorias de la formación de callo, como la caseína hidrolizada (Roca y Mroginski, 1997).

Por otro lado, en la conservación *in vitro* es fundamental tener una alta frecuencia de regeneración de plantas a partir de diferentes explantes organizados, entre los cuales se encuentran meristemos, embriones, ejes embrionarios, etc., debido a que ofrecen la menor frecuencia de variación genética durante la conservación (Pacheco *et al.*, 2016). Por el contrario, la formación de callo no organizado durante la fase de regeneración puede comprometer la integridad morfofisiológica de la planta, al inducir procesos de desdiferenciación celular que conllevan la aparición de variación somaclonal (Roca y Mroginski, 1997). Por tanto, el uso de explantes altamente diferenciados y la minimización de fases callogénicas constituyen elementos fundamentales para el establecimiento de protocolos eficientes de conservación *in vitro*, especialmente en especies con potencial agronómico o en riesgo de erosión genética (Roca y Mroginski, 1997; Mohammadi *et al.*, 2023).

En conjunto, estos resultados demuestran que la escarificación mecánica mediante despunte apical es una estrategia eficaz para superar la latencia física en especies del género *Passiflora*, debido a que mejora significativamente los porcentajes de germinación *in vitro*. La implementación de esta técnica resulta particularmente relevante para especies silvestres con potencial agronómico o conservacionista, como *P. quimbayensis*, cuya germinación natural es limitada.

Etapa III. Estimulación y desarrollo de brotes axilares

En la fase de estimulación y desarrollo de brotes axilares, los explantes fueron transferidos a frascos con medio de cultivo MS libre de fitorreguladores con el fin de favorecer la organogénesis directa. *Passiflora ligularis* mostró una respuesta morfogénica positiva, evidenciada por la formación de brotes adventicios a partir de los explantes transferidos, lo cual representa una ventaja para protocolos de propagación *in vitro* sin recurrir al uso de fitorreguladores. En contraste, los explantes de *P. quimbayensis* no lograron desarrollar brotes adventicios durante el mismo periodo de evaluación. La ausencia de respuesta se asoció con la formación predominante de tejido calloso, lo que podría estar asociado a factores intrínsecos de la especie, como su grado de domesticación, la edad del tejido o su sensibilidad a las condiciones del medio de cultivo. Estos resultados coinciden con estudios previos en especies silvestres de *Passiflora*, en los que se ha reportado una menor capacidad de regeneración *in vitro* en comparación con especies cultivadas, debido a diferencias en su fisiología y requerimientos hormonales (Da Silva *et al.*, 2021).

A diferencia de lo observado en el cultivo *in vitro*, al sembrar las semillas de *P. quimbayensis* bajo casa de malla se observó bajo porcentaje y baja velocidad de germinación. En *P. ligularis* el porcentaje de germinación estuvo en los picos más altos y mostró un tiempo de germinación igual al presentado en el cultivo *in vitro*. Estas diferencias pueden estar soportadas por las características ambientales particulares de los lugares donde estas especies están distribuidas, como la altura sobre el nivel del mar, la temperatura y la radiación solar. Aunque todas las especies estudiadas provienen de la región Andina entre 2000 y 3000 m, las preferencias climáticas son marcadas y el comportamiento de la germinación de la semilla puede variar.

Los resultados obtenidos en este estudio constituyen una base sólida y un complemento significativo para el desarrollo de futuras investigaciones enfocadas en la biología de semillas del género *Passiflora*, especialmente en el contexto de estrategias de conservación *in vitro*. Este enfoque cobra particular relevancia en especies que presentan algún grado de amenaza, dado su potencial para garantizar la preservación del germoplasma y la recuperación de poblaciones en riesgo.

El cultivo *in vitro* ha demostrado ser una herramienta eficiente para la propagación y conservación de *Passiflora*, con más de 62 especies reportadas con éxito en protocolos de micropropagación y regeneración de plántulas (Junghans *et al.*, 2021; Castrillón *et al.*, 2024). En el caso colombiano, en el que se presenta una alta diversidad y niveles significativos de endemismo en el género, la implementación de técnicas biotecnológicas se convierte en una prioridad dentro de los planes de conservación.

Es fundamental establecer e integrar estrategias tanto *in situ*, en áreas naturales protegidas, como *ex situ*, en jardines botánicos, bancos de germoplasma y colecciones de tejidos bajo condiciones controladas, incluyendo alternancias térmicas que promuevan la longevidad de las semillas (Caleño-Ruiz *et al.*, 2024; Junghans *et al.*, 2021). Estas acciones deben anticiparse a los efectos adversos del cambio climático y la deforestación, fenómenos que representan una amenaza directa a la viabilidad y permanencia de numerosas especies silvestres de *Passiflora*.

Conclusiones

La escarificación mecánica mediante despunte apical demostró ser el tratamiento más eficiente para superar la latencia física en *P. quimbayensis*, debido a que alcanzó porcentajes de germinación *in vitro* cercanos al 99 %. Este resultado confirma que la remoción parcial de la testa facilita la imbibición y promueve la activación fisiológica del embrión.

La evaluación de viabilidad mediante tinción con tetrazolio no constituye un predictor confiable del comportamiento germinativo, dado que la germinación está modulada por múltiples factores intrínsecos, como la latencia exógena, la composición físico-química de la testa y el grado de domesticación de la especie.

El cultivo *in vitro*, complementado con protocolos de asepsia eficientes y tratamientos de escarificación adecuados, permitió la regeneración de las semillas de *P. quimbayensis*, aunque en las raíces hubo formación de células no definidas y con callosidades, mientras que en *P. ligularis* el enraizamiento fue normal y sin presencia de callo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Dora Lilia Jaramillo auxiliar del laboratorio de Cultivo de Tejidos (Universidad Nacional de Colombia - Palmira) por su apoyo en la fase de propagación *in vitro*. Igualmente, al grupo de investigaciones en Recursos Fitogenéticos Neotropicales (GIRFIN-UNAL, proyecto Hermes 60162) por sus esfuerzos en la conservación de las especies nativas vegetales de Colombia.

Referencias

Aguacía, L.; Miranda, D. y Carranza, C. (2015). Effect of fruit maturity stage and fermentation period on the germination of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) and sweet granadilla seeds (*Passiflora ligularis* Juss.). *Agronomía Colombiana*, 33(3), 305-314. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.52460>

Balaguera, H. E.; Álvarez, J. G. y Cárdenas, J. (2010). Efecto de la estratificación fría y la cobertura plástica en semillas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) Para la obtención de plántulas.

Revista UDCA - Actualidad & Divulgación Científica, 13(2), 8997. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n2.2010.735>

Bernal, C.; Duarte, L.; Bohórquez, M.; Johanna, E. y Constantino, J. (2018). Embriogénesis no zigótica en *Passiflora maliformis*. *Revista Peruana de Biología*, 25(3), 281-290.

Bewley, J. y Black, M. (1982). Physiology and biochemistry of seeds in relations to germination. Vol. 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68643-6>

Caleño-Ruiz, B. L.; Martínez-Peña, L. y Morales-Liscano, G. (2024). Influencia de la conservación *ex-situ* en el crecimiento de especies de *Passiflora* endémicas y amenazadas. *Biota Colombiana*, 25, e1213. <https://doi.org/10.21068/2539200X.1213>

Cardozo, R. H. (1988). Efecto de la escarificación y la dosis del ácido giberélico (AG₃) en la germinación de semilla de curuba (*Passiflora mollissima*). *Acta Biológica Colombiana*, 1(4), 127-132. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiolo/article/view/25526>

Carvalho, M.; Paiva, R.; Porto, J.; Herrera, R.; Vargas, D. y Stein, V. (2012). *In vitro* germination of *Passiflora gibertii* N. E. Brown with mechanical scarification and gibberellic acid. *Semina Ciências Agrárias*, 33, 1027-1032. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68643-6>

Castrillón, A. M.; Hernández, C. A.; González, E. P. y RestrepoBetancur, L. F. (2024). Estandarización de un protocolo de micropropagación de *Passiflora maliformis* L. (Passifloraceae) a partir de semillas y segmentos nodales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 26(2), 2132. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v26n2.115691>

CerqueiraSilva, C. B. M.; Jesus, O. N.; Santos, E. S. L.; Corrêa, R. X. y Souza, A. P. (2014). Genetic Breeding and Diversity of the Genus *Passiflora*: Progress and Perspectives in Molecular and Genetic Studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(8), 14122-14152. <https://doi.org/10.3390/ijms150814122>

Córdoba, S.; Guzmán, J.; Pérez, B.; Zúñiga, P. y Pacheco, R. (2010). Propagación de especies nativas de la región Andina. https://www.researchgate.net/publication/316944015_Propagacion_de_Especies_Nativas_de_la_Region_Andina

Costa, P. R.; De Oliveira, J. P. B.; De Araújo, A. G. A.; Lopes, J. C.; Schimdt, E. R.; Otoni, W. C. y Alexandre, R. S. (2016). Morphometry, *in vitro-ex vitro* germination and tetrazolium testing of stinking passionflower [*Passiflora foetida* var. *glaziovii* Killip] (Passifloraceae) seeds. *Australian Journal of Crop Science*, 10(8), 1075-1082. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.08.p7175>

Da Silva, A.; Hilst, P.; Fernandes, D. y Rogalski, M. (2019). Overcoming dormancy of *Passiflora elegans* Mast. (Passifloraceae) seeds. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 14(3), 406-411. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i3.6552>

De Oliveira, R.; Da Silva, D. y Monzani, R. (2023). Avaliação da germinação das sementes de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*) submetida a diferentes métodos de superação de dormência. *Agropecuária Catarinense, Florianópolis*, 36(3), 26-28. <https://doi.org/10.52945/rac.v36i3.1720>

Delanoy, M.; Van Damme, P.; Scheldeman, X. y Beltran, J. (2006). Germination of *Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey, *Passiflora tricuspid* Mast. and *Passiflora nov. sp.* seeds. *Scientia Horticulturae*, 110(2), 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.007>

Ellis, R.; Hong, T. y Roberts, E. (1985). *Handbook of seed technology for genebanks*. (Vol. II). *Compendium of specific germination. Information*

- and test recommendations. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). <https://hdl.handle.net/10568/105406>
- Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V.; Junghans, T. G.; De Jesus, O. N.; Miranda, D. y Otoni, W. C. (2019). Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(2), e-155. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019155>
- Gonzales, C. (2004). propagación in vitro de especies nativas con potencial agroalimentario pertenecientes a las familias Passifloraceae y Solanaceae. Informe técnico. Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis, Subdirección Científica.
- Gutiérrez M.; Miranda D. y Cárdenas, J. (2011). Efecto de tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semillas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y cholupa (*Passiflora maliformis* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 209-219. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732011000200005&lng=es&tlng=es
- Hong, T. D. y Ellis, R. H. (1996). A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. Technical Bulletin No. 1. Rome: International Plant Genetic Resources Institute.
- Hudson, T. y Dale, L. (1997). Fredsand. Principles of tissue culture for micropropagation. En *Plant propagation* (pp. 549-589). Prentice Hall
- Júnior, D.; São José, A.; Rebouças, H.; Moraes, M. y Dourado, N. (2010). Superação de dormência de maracujá-do-mato (*Passiflora cincinnata* Mast.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(2), 584-590. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000045>
- Junghans, T.; Viana, A. y Junghans, T. (2008). Remoção parcial do tegumento na germinação in vitro e ex vitro de sementes de *Passiflora gibertii* N. E. Brown. *Magistra*, Cruz das Almas-BA, 20(3), 231-235.
- Junghans, T.; Jesus, O.; Silva, J. y Ferreira, M. (2021). In vitro storage of sweet passion fruit seeds as an innovation conservation alternative. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 93(3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190901>
- Lima, M.; Betemps, L.; Tomaz, P.; Galarça, P. y Rufato, R. (2009). Germinação de sementes e crescimento de maracujá em diferentes concentrações do ácido giberélico, tempos de imersão e condições experimentais. *Current Agricultural Science and Technology*, 15, 1-4. <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/1985>
- Manjarrés, E. y Perea, M. (2012). Establishment of a purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) propagation protocol from zygotic embryos and axillary shoots. *Agronomía*, 20(2), 53-64.
- Mendiondo, G. y Amela García, M. (2009). Germination of stored and scarified seeds of *Passiflora caerulea* L. (Passifloraceae). *Plant Biosystems*, 143(2), 369-376. <https://doi.org/10.1080/11263500902722709>
- Miller, A. L. y Peters, J. (2010). *Tetrazolium Testing Handbook*. Association of Official Seed Analysts (AOSA) / Society of Commercial Seed Technologists (SCST).
- Mohammadi, M. A.; Wai, M. H.; Rizwan, H. M.; Qarluq, A. Q.; Xu, M.; Wang, L.; Cheng, Y.; Aslam, M.; Zheng, P.; Wang, X.; Zhang, W. y Qin, Y. (2023). Advances in micropropagation, somatic embryogenesis, somatic hybridizations, genetic transformation and cryopreservation for *Passiflora* improvement. *Plant Methods*, 19(50), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01030-0>
- Ocampo, J.; Hurtado, A. y López, W. R. (2021). Chapter 1: Genetic resources and breeding prospects in *Passiflora* species. En A. Hurtado Salazar, J. Ocampo, N. Ceballos-Aguirre, D. J. García Jaramillo y W. R. López (eds.), *Passiflora: genetic, grafting and biotechnology approaches* (pp. 1-76). Nova Science Publisher.
- Pacheco, G.; Simão, M. J.; Vianna, M. G.; Garcia, R. O.; Vieira, M. L. C. y Mansur, E. (2016). In vitro conservation of *Passiflora*. A review. *Scientia Horticulturae*, 211, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.004>
- Passos, I.; Matos, G.; Meletti, L.; Scott, M.; Bernacci, L. y Vieira, M. (2004). Utilização do ácido giberélico para a quebra de dormência de sementes de *Passiflora nitida* Kunth germinadas in vitro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2), 380-381. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000200051>
- Pérez, V. M.; Scandaliaris, M.; Arias, C. V. y Perissé, P. (2022). Caracterización morfo-anatómica de semillas y plántulas de *Passiflora caerulea*, *P. mooreana* y *P. morifolia* (Passifloraceae). *Lilloa*, 59(2), 1-15. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.2/2022.10.31>
- Posada, P.; Ocampo, J. y Santos, L. G. (2014). Estudio del comportamiento fisiológico de la semilla de tres especies cultivadas de *Passiflora* L. (Passifloraceae) como una contribución para la conservación ex situ. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 9-19. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000100002
- Roca, W. y Mroginski, L. (1997). Cultivo de tejidos en la agricultura, fundamentos y aplicaciones. CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://cgspage.cgiar.org/handle/10568/53954>
- Rodríguez, N.; Melgarejo, L. M. y Blair, M. W. (2020). Seed structural variability and germination capacity in *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00498>
- Severin, C.; Salinas, A.; Gattusso, S.; Gattusso, M.; Busilacchi, H.; Giubileo, G. y Aguirre, A. (2004). Estimulación de la germinación de semillas de *Passiflora caerulea* cultivadas in vitro. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*, 4(4): 55-58.
- Taylor, C.; Salinas, A.; Gattusso, S.; Gattusso, M.; Busilacchi, H.; Giubileo, G. y Aguirre, A. (2004). Estimulación de la germinación de semillas de *Passiflora caerulea* cultivadas in vitro. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 4(6), 55-58. <https://rephip.unr.edu.ar/items/aeff0e5a-56c8-4e81-87b6-a6df07392188>
- Taylorson, R. y Hendricks, S. (1977). Dormancy in seeds. *Annual Review of Plant Biology*, 28, 331-354. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.28.060177.001555>
- Torres, A. M. (2018). Seed dormancy and germination of two cultivated species of Passifloraceae. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 22(1), 15-27. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.1>
- Vega, E.; Campos, V.; Monge, A.; Bertsch, S. y Vargas, E. (2022). Morphology and viability test optimization in seeds of *Passiflora* spp. from Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 33, 51567. <https://doi.org/10.15517/am.v33iEspecial.51567>

Rosa damascena as a potentially valuable crop for essential-oil production in Armenia

Cultivo de *Rosa damascena* valorado para la producción de aceite esencial en Armenia

Merine Sargsyan ^{1,3}, Anahit Markosian ^{2,4}, Arpine Achoyan ^{1,5}.

¹Institute of Botany after A.L. Takhtajyan. National Academy of Sciences of the Republic of Armenia. Yerevan, Republic of Armenia.

²Nairian CJSC. Yerevan, Republic of Armenia. ³✉ m.sargsyan@botany.am; ⁴✉ anahit.markosian@nairian.com; ⁵✉ a.achoyan@botany.am



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.116249>

2024 | 73-2 p 201-209 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-08-15 Acep.: 2025-04-24

Abstract

Rosa damascena, commonly known as Damask rose, is renowned for its valuable essential oil (EO), widely used in medicine, cosmetics, and perfumery. This study evaluates the potential of *R. damascena* as a high-value crop for essential oil production in Armenia. For the first time, essential oil was extracted from *R. damascena* grown at high altitude (1600 m above sea level) in the Kotayk region. The findings suggest that *R. damascena* can be a promising crop for Armenia due to its adaptability to local conditions and potential for high-quality EO production. Further advancements in cultivation practices and technology will enhance the country's position in the global market.

Keywords: citronellol, essential oil, geraniol, *Rosa damascena*.

Resumen

La *Rosa damascena*, comúnmente conocida como rosa de Damasco, es reconocida por su valioso aceite esencial (AE), ampliamente utilizado en medicina, cosmética y perfumería. Este estudio evalúa el potencial de *R. damascena* como cultivo de alto valor para la producción de aceites esenciales en Armenia. Por primera vez, se extrajo aceite esencial de *R. damascena* cultivada a gran altitud (1600 m sobre el nivel del mar) en la región de Kotayk. Los hallazgos sugieren que *R. damascena* puede ser un cultivo prometedor para Armenia debido a su adaptabilidad a las condiciones locales y su potencial para la producción de AE de alta calidad. Los avances en las prácticas y tecnologías de cultivo fortalecerán la posición del país en el mercado global.

Palabras clave: aceite esencial, citronelol, geraniol, *Rosa damascena*.

Introduction

The *Rosaceae* family is known for its diversity of genera and species. Over 200 *Rosa* species and over 18 000 plant cultivars have been identified (Gudin, 2000; Baydar *et al.*, 2004; Baydar and Baydar, 2005; Boskabady *et al.*, 2011). They are primarily shrubs distributed in the various temperate zones of the Northern Hemisphere. The genus *Rose* is represented by 31 species in the Armenian flora, two of which are *R. damascena* Mill. and *R. centifolia* L., listed as cultivated species (Takhtajan, 1958). In many parts of the world, *R. damascena* is cultivated for use in perfume, pharmaceutical, and food industries. Nevertheless, until recently, it was grown mainly for food and as an ornamental plant in Armenia.

Microsatellite genotyping revealed that accessions of *R. damascena* from Bulgaria, Iran, and India, as well as old European Damask rose varieties possess identical microsatellite profiles, suggesting a common origin. The data indicates that clones of one genotype derived by vegetative propagation were obtained and spread in various distant geographic regions of the world, where they have been successfully cultivated and propagated for centuries (Rusanov *et al.*, 2005).

The extraction of essential oil (EO) from rose petals has a history spanning centuries. *R. damascena* can now be found in the wild in Morocco, Andalusia, the Middle East, and the Caucasus. As Damask roses were initially introduced from the Middle East into Western Europe, it is thought that Damask rose's origin and center of diversity can be found in this region. In Iran, the cultivation and consumption of Damask roses has a long history. In this country, known for its high genetic variability of *R. damascena* landraces, the extraction of EO from *R. damascena* flowers started sometime during the 7th century A.D. (Tabaei-Aghdaei *et al.*, 2007; Babaei *et al.*, 2007). Iran remained the leading producer and exporter of rose oil until the 16th century (Rusanov *et al.*, 2005). Later, *R. damascena* was introduced for cultivation in Asia Minor, Africa, India, and Europe (Mahboubi, 2016). In the contemporary era, *R. damascena* is extensively cultivated for EO production in Bulgaria, France, Italy, Portugal, Turkey, Iran, Morocco, the USA, and India (Topalov, 1962; Topalov, 1978; Zargari, 1982; Zheljazkov *et al.*, 1996; Nedkov and Attanassova, 2004; Nikbakht and Kafi, 2004; Nunes and Miguel, 2017; Khaleghi and Khadivi, 2020).

Medieval healers and physicians have frequently referenced the multiple beneficial properties of rose oil. They recommend it for treating various diseases and to prepare ointments and medicines. In the Middle Ages, *R. damascena* was used to treat abdominal and chest pain, strengthen the heart, treat menstrual bleeding and digestive problems, and reduce inflammation, especially of the neck. In his work entitled *The Canon of Medicine*, Ibn Sina, a 10th-century Muslim physician and philosopher-

scientist, extensively discussed the medicinal properties of various plants, including roses. He was aware of the therapeutic properties of rose petals and their potential benefits in medicine. In general, *R. damascena* has been widely used in medicine and perfume making throughout the Muslim world. Several commercial distilleries were built in 1600 in Shiraz, Fars (Nikbakht and Kafi, 2004). Approximately at the same time, the Armenian physician Amirdovlat Amasiatsi described in his famous book *Useless for Ignorants* rose oil's "drying and cooling" properties, which he used to cure causes of inflammation or so-called 'hotness' (Amasiatsi, 1926).

In modern-day aromatherapy, *R. damascena* oil is considered beneficial for wound healing and general skin health. Inhalation of *R. damascena* oil has been demonstrated to help treat allergies, headaches, and migraines (Rakhshandeh *et al.*, 2008; Boskabady *et al.*, 2011). Rose oil has also been documented to have pharmacological properties, including antioxidant, antibacterial, antimicrobial (Pal and Mahajan, 2017; Kumar *et al.*, 2016), anti-inflammatory (Fatemi *et al.*, 2020), anticancer (Abdel-Hameed *et al.*, 2013), and anti-HIV (Boskabady *et al.*, 2011) properties.

Furthermore, Labban and Thallaj (2020) highlight that the medicinal properties of the *Rosaceae* family plants are partly attributed to the abundance of phenolic compounds, which exhibit a wide range of pharmacological properties, such as antioxidant, anti-inflammatory, antimutagenic, and antidepressant properties.

Because of asexual reproduction (through cuttings), there is low genetic variation among Damask rose accessions and landraces (Yousefi and Aghdaei, 2018). The composition of *R. damascena* EO is complex and primarily influenced by genetic and environmental factors. Thus, plants with the same genotype and morphological characteristics could result in varying amounts of chemical components in their EO.

The global demand for rose oil continues to rise daily. Approximately 4.5 tons of rose oil are produced annually on a worldwide scale (Kovacheva *et al.*, 2010; Kovacheva *et al.*, 2011). The global rose-oil market is projected to experience a compound annual growth rate (CAGR) of 6.8 % between 2019 and 2025, reaching an annual number of USD 442 million. The market is driven by an increasing preference of consumers for the natural and organic ingredients in their day-to-day products. Moreover, the antispasmodic, antidepressant, and antibacterial properties of rose oil render it a harmless and safe alternative to allopathic solutions. The product also provides calmness and relaxation due to its pleasing scent (Grand View Research, 2019).

Due to the complex relief and altitudinal-zonal alternation in Armenia, there are ten landscape zones, from semi-deserts to snow-capped highlands, which

have formed dependent on the geological history of the areas, landscape components, and local climate. As a result, on the small territory of the country (about 30 000 km²), there are about 3800 species of vascular plants. Armenia is a globally significant center of origin of agrobiodiversity, housing wild relatives of numerous cultivated plants (Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia, 2014).

Armenia is a mountainous country without large areas for planting economically valuable raw materials for the production of essential oil. At low altitudes, fields are utilized by growing vegetable and fruit crops. Our experience in cultivating essential oil plants in mountainous regions may be beneficial to countries with similar topographical features. Before, Damask rose was cultivated at low altitudes. The results of this study indicate that the cultivation of Damask rose and the production of rose oil are both viable in mountainous regions. The purpose of the experiment was to establish the qualitative and quantitative indicators of essential oil derived from raw materials cultivated at an altitude of 1600 m. The detrimental effects of global warming on ecosystems have been a primary area of focus for scientists globally for an extended period.

In Armenia, with several zones with steep terrains, climatic differences exacerbate as the altitude of the terrain increases. Especially in connection with the problems of global warming, it becomes relevant to grow crops on the territory located closer to the upper mountain belt, at altitudes of 1600 - 2000 m, in areas where increases in temperature do not affect them significantly.

Climate is one of the major factors affecting vegetation dynamics by changing soil moisture, nutrients, and microbial activity as a result of different atmospheric conditions, thus affecting plant physiology and growth (Islam *et al.*, 2021). Rising temperatures could increase the intensity and frequency of droughts and exacerbate moisture stress on vegetation, thus negatively affecting vegetation (Chen *et al.*, 2012).

The main goals of the study were to evaluate the yield of essential oil from *R. damascena* grown in Armenia at an altitude of 1600 m, to compare the chemical composition of essential oil obtained from *R. damascena* grown in Armenia with oil obtained from plants grown at other altitudes and in other countries, and to develop recommendations for optimizing cultivation conditions and distillation technology to enhance the quality and yield of essential oil on an industrial scale. Lastly, the work aims to demonstrate Armenia's potential as a promising region for large-scale production of essential oil from *R. damascena*, which could contribute to the development of agriculture and industry in the country.

Materials and methods

Plant material

R. damascena plants were cultivated in the Aragyugh Village (Kotayk province, Republic of Armenia) at 1600 m a.s.l. at the farm of Nairian CJSC (Figure 1).

The plants were identified at the Department of Advanced Plant Taxonomy and Geography of the A. Takhtajyan Institute of Botany. The herbarium material of the genus *Rosa* from the region and international collections was studied at the herbarium of the Institute of Botany (ERE).

The first part of the study was agricultural work: applying organic fertilizers, plowing and removing weeds. After the soil was ready, Damask rose seedlings were planted. As a rule, Damask rose is planted in spring, when the soil warms up to 15 ° - 16 °. When planting the seeds, a nutrient mixture prepared from mineral fertilizers was poured into the bottom of each planting pit, as well as humus and humus in combination with fertile soil. In this case, the root necks of the seedlings are usually buried 4 cm - 5 cm.

When the root system is covered with soil, Damask rose must be abundantly watered, and soil must be mulched with peat humus or sawdust. During the summer, weeds are cleaned and inter-row loosening of the soil is regularly carried out (Kholyavko and Globa-Mikhaylenko, 1976). Roses are collected before the sun touches their petals, otherwise, the fragrance will evaporate, and petals are picked by hand. The harvested roses should be fresh and have a strong fragrance. They are allowed to contain maximum 1 % non-oily parts.

The flowers were collected for EO distillation between 5 a.m. and 11 a.m. The essential oil (EO) was extracted by hydro distillation from the fresh flowers using a Clevenger apparatus. The distilled EO was dehydrated with anhydrous sodium sulfate and stored in airtight bottles at 4 °C in the dark, until further analysis.

Determination of essential oil composition

The composition of the *R. damascena* EO grown by Nairian CJSC was analyzed at the Nairian laboratory. Gas chromatography (GC) analysis was carried out using a Bruker 450 GC Gas Chromatograph (Bruker, USA) equipped with a 60 m × 0.25 mm × 0.25 µm OPTIMA-FFAP column (MACHEREY-NAGEL, Germany). The temperature of the oven varied from 40 ° to 220 °C, with a scanning rate of 3 °C/min; the temperature of the evaporator was maintained at 220 °C. Helium (purity 5.6) was used as a carrier gas at a flow rate of 1 mL/min. The GC was equipped with a Hewlett-Packard 5972 Series MS detector. The MS



Figure 1. Blooming *Rosa damascena* in Aragyugh Village.

operating parameters were an ionization voltage of 70 eV and an ion source temperature of 250 °C. The samples of EO diluted in 2 µL were injected manually. EO was then diluted in methanol in a proportion of 1:50 (v/v) to avoid overloading the GC column. The identification of peaks was tentatively carried out based on a library search using NIST-2013.

The efficiency (oil yield) was calculated as a percentage using the following formula:

$$\text{Efficiency (\%)} = (\text{Oil obtained [g]} \div \text{Flowers collected [kg]}) \times 100$$

Results and discussion

Oil-bearing roses have been, and continue to be, propagated by vegetative means through rooted cuttings (Nedkov and Attanassova, 2004; Zheljaskov *et al.*, 1996). Due to asexual reproduction, Damask rose breeds have low genetic variation. However, specific weak morphological changes can occur depending on ecological conditions.

Our experience has shown that, to improve Damask rose propagation, it is best to take perennial cuttings from plants from 4 to 10 years old. Cuttings from such mother plants have an increased capacity

(8 % - 32 %) to regenerate than older or younger ones. When planting perennial cuttings during the second half of autumn (with temperatures between 5 ° and 12 ° C), two to three times more seedlings are obtained than when planting in winter or spring. Seedlings can also be obtained by root cuttings when uprooting old plantations of varietal roses in late winter or early spring.

Some research results have shown that the environment affects the quality and quantity of flowers and EO yield (Misra *et al.*, 2002). Some authors also have noted that Damask rose is hybridogenic (Zielinski, 1982; Khatamsaz, 1992). For example, Mahboubi (2016) proposes that *R. damascena* is a hybrid between *R. gallica* and *R. phoenicia*. Other authors suggest that *R. damascena* is a hybrid between *R. gallica* and *R. moscata* (Afsari Sardari *et al.*, 2019).

According to Singh and Kayiyar (2001), the key distinguishing characteristics of *Rosa* species include plant growth habit, shrub form, prickle shape, stipule shape, leaflet shape, leaf margin type, vestiture of the leaflet's ventral side, and flower shape. Additionally, the essential distinguishing traits among accessions within a species include flower color, petal number, hip shape, and hip color (Khaleghi and Khadivi, 2020).

R. damascena cultivated in Armenia has distinct phenotypic characteristics retained during vegetative propagation. The Armenian cultivars of *R. damascena* are characterized by a high density of peduncle prickles and relatively high flower and petal weights. The prickles on the stem are primarily curved.

Damask rose bushes in the Aragyukh plantation (Figure 1) are 1 cm - 1.25 cm high, flowers are double, pink, with 60 to 85 petals, and each one of them weighs between 3 g and 3.5 g. They propagate well by layering, budding, and cuttings. This type of rose is cultivated in almost all regions of Armenia. It grows exceptionally well in lowlands and dry conditions. The *R. damascena* landraces belonging to temperate, warm temperate, and arid regions have higher EO yields than those from cool, cool-to-temperate, semiarid, and humid areas. According to some reports, *R. damascena*'s life span reaches up to 50 years, with an economic production period of approximately 25 years. The gestation period to reach economic productivity is approximately three years (Boskabady *et al.*, 2011). Once fully established, the plants are drought-resistant.

The expected essential oil yield for *R. damascena* can vary depending on several factors, including the cultivar, growing conditions, and processing methods. The general guidelines are as follows:

- Average essential oil yield: 0.5 % - 1.5 % (w/w) of the fresh flower weight.
- Typical essential oil yield: 0.8 % - 1.2 % (w/w) of the fresh flower weight.
- High-yielding cultivars: 1.5 % - 2.5 % (w/w) of the fresh flower weight.
- Low-yielding cultivars: 0.2 % - 0.8 % (w/w) of the fresh flower weight.

In general, *R. damascena* landraces from temperate, warm climates, and arid regions have higher essential oil yields than those from cool, temperate, semiarid, and humid areas.

This culture flowers once per season, with a flowering period typically lasting 20 to 25 days. The flowering cycle includes an initial phase, a peak, and a subsequent decline. Our observations indicate

that the duration of flowering and the completeness of bud opening are influenced by temperature, air humidity, and wind strength during the flowering period. The optimal conditions for extended flowering (up to 28 days) and maximal bud opening are temperatures of maximum 20 °C and relative air humidity of at least 60 %.

Flower picking starts daily at dawn and lasts about 20 to 25 days. To get one kilogram of rose petals, 400 to 500 roses must be picked. The EO yield of the past five years of rose harvest and distillation at Nairian CJSC is presented below (Table 1).

These results indicate a low-yield cultivar. It was established that nutrient provision and irrigation are two of the most important factors influencing the production of essential oils. As is generally known, soil characteristics influence plant growth and development, and, in consequence, yield quantity and quality (Ghavam, 2021). In the case of the EO obtained by Nairian, low air humidity during the harvest and the company's use of non-standard distillation equipment are two factors that substantially contribute to low EO yields.

Variations in the composition of *R. damascena* EO are influenced by environmental conditions and landrace, along with environment interactions (Yousefi and Aghdaei, 2018). Environmental and abiotic stress can impact plant behavior and progeny, since volatile terpenoids released from flowers play a role in attracting pollinators and providing protection against various stresses (Muhlemann *et al.*, 2014). The diverse climatic conditions in Armenia allow *Rosa damascena* to adapt well, exhibiting minimal cultivation requirements.

For the first time in Armenia, *R. damascena* was grown on a large scale for EO distillation by Nairian CJSC. Sahakyan *et al.* (2020) identified the following main components of the oil through chromatographic analysis: linalool (6.88 %), citronellol (38.04 %), geraniol (26.32 %), neryl acetate (7.12 %), terpineol (2.17 %), nonadecane (4.90 %), geranial (0.72 %), α -pinene (0.74 %), limonene (0.52 %), and terpinen-4-ol (0.59 %).

According to Baser *et al.* (2003), citronellol and geraniol concentrations should range between 20 % - 34 % and 15 % - 22 %, respectively. The citronellol/geraniol ratio preferred by the perfumery industry ranges typically 1.25 - 1.30. The citronellol/

Table 1. Average yield of *R. damascena* essential oil between 2019 and 2023

Year	Collected flowers (kg)	Distilled flowers (kg)	Obtained oil (g)	Oil yield g/kg	Effectiveness (oil yield) in %
2019	6030	5530	720	0.13	11.95 %
2020	8070	7000	850	0.12	10.53 %
2021	4445	2497	232	0.09	5.22 %
2022	8906	4350	442	0.10	4.96 %
2023	6253	3809	495	0.12	7.92 %

geraniol ratio of Armenian (Kotayk region) *R. damascena* oil, determined by spectral analysis, was 1.44, which is slightly above the industry standard and aligns with 'village oils' from Anatolia, primarily produced using non-standard equipment. This discrepancy may be addressed by improving distillation techniques and using standardized equipment. On the other hand, the citronellol content supports the botanical authenticity of the *R. damascena* essential oil. High-quality oils from authentic sources tend to have a higher citronellol content than oils from adulterated or synthetic sources. *R. damascena* essential oil with a higher citronellol content (typically above 30 %) is considered of higher quality and more suitable for various applications.

Citronellol is believed to contribute to the oil's therapeutic properties, including its anti-inflammatory, antiseptic, and antimicrobial effects. The higher the citronellol content, the more pronounced these effects may be. Orchard and van Vuuren (2017) conducted studies on the antimicrobial activities of *R. damascena* EO from the Kotayk region at YSU. The oil demonstrated pronounced antibacterial activity against various Gram-positive and Gram-negative bacteria, exhibiting strong inhibitory effects. These results indicate that this EO is suitable for applications in skin care, pharmacology, and the food industry. Its high citronellol content makes it ideal for skincare products targeting common skin conditions such as acne and rosacea.

Armenian rose oil contains high levels of geraniol (27.97 %) and cis-geraniol (31.41 %), exceeding the concentrations reported for Bulgarian (Atanasova *et al.*, 2016) and Turkish (Mahboubi, 2016) rose oil (Table 2). Armenian rose oil has a lower phenylethyl alcohol content (0.82 %) compared to Bulgarian (5 % – 10 %) (Atanasova *et al.*, 2016) and Iranian oil (Mahboubi, 2016), reducing its sweet and honey-like notes. Likewise, Armenian rose oil contains significantly higher levels of hydrocarbons (eicosane, heneicosane, etc.), giving it a denser texture and longer-lasting aroma but reducing the lightness characteristic of Bulgarian oil.

Armenian rose oil stands out for its distinct composition and therapeutic potential, serving as an excellent alternative to Bulgarian, Turkish, and Iranian oils in products emphasizing skincare benefits over traditional fragrance profiles.

The presence of additional hydrocarbons and sesquiterpenes in the oil contributes to its depth and the longevity of the fragrance, reflecting both the exceptional quality of the raw materials and the favorable climatic conditions of the region for rose cultivation.

Table 2. Chemical composition of *Rosa damascena* essential oil from Aragyugh Village

Rt	Name	Area %
21.16	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (Z)- (cis-Geraniol)	31.4
22.18	Geraniol	27.97
33.4	Eicosane	8.65
37.25	Heneicosane	6.38
25.03	Caryophyllene	5.59
25.38	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate (Geranyl acetate)	2.64
26.14	Humulene	2.11
16.45	Linalool	2.09
29.7	Caryophyllene oxide	1.63
20.12	α -Terpineol	1.53
40.45	Dibutyl phthalate	1.22
22.92	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)- (Citral)	1.19
27.02	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a α ,7 α ,8 $\alpha\alpha$)]	0.89
19.92	Phenylethyl Alcohol	0.82
29.08	Heptadecane	0.81
32.13	11,11-Dimethyl-4,8-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecan-3-ol	0.6
32.82	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	0.39
31.46	(1R,3E,7E,11R)-1,5,5,8-Tetramethyl-12-oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene	0.37
24.71	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	0.32
28.08	Methyleugenol	0.31
43.96	Octacosane	0.31
42.36	Heptacosane	0.2
31.23	Octadecane	0.18
23.53	Ethanol, 2-phenoxy-	0.12
17.46	(2S,4R)-4-Methyl-2-(2-methylprop-1-en-1-yl)tetrahydro-2H-pyran	0.11
24.39	Pentadecane	0.11
49.95	1-Heptatriacotanol	0.09
19.15	3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1,3,4-trimethyl-	0.08
34.23	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	0.08
18.76	2H-Pyran,3,6-dihydro-4-methyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-	0.07
31.65	2-Naphthalenemethanol, 1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydro-a,a,4a,8-tetramethyl-, (2R-cis)-	0.07
41.92	Geranic acid, 2-Phenylethyl ester	0.07

Conclusion

The cultivation of *R. damascena* in Armenia presents a promising opportunity for agricultural development, particularly considering the challenges posed by global warming and desertification. Damask rose, known for its high essential oil content, thrives in moderate temperatures and humid conditions, but its adaptability to high altitudes and arid conditions makes it well-suited for Armenian climates.

The research underscores several key factors influencing the quality of rose essential oil, including propagation methods, harvest timing, temperature, humidity, and distillation techniques. The favorable climatic conditions in regions such as Aragayugh and other high-altitude areas of Armenia –characterized by significant precipitation, thunderstorms, and altitude– demonstrate that these areas are well suited for high-quality rose cultivation.

Armenia's diverse climatic conditions and wide altitude range make it an ideal location for cultivating *R. damascena*. This suggests that the cultivation of *R. damascena* could represent both a lucrative and sustainable agricultural practice for Armenia.

High concentrations of cis-geraniol and geraniol are responsible for the oil's floral and sweet aroma and exhibit potent antiseptic and anti-inflammatory properties. The unique chemical profile of this oil distinguishes it from Bulgarian, Turkish, and Iranian rose oils, characterized by a notably lower phenylethyl alcohol content, which reduces its sweet and honey-like notes. Higher levels of hydrocarbons (eicosane, heneicosane, etc.) contribute to a denser texture and longer-lasting fragrance. Additionally, the oil demonstrates significant therapeutic potential, making it an excellent alternative for skincare products that prioritize therapeutic benefits over traditional fragrance profiles. This study highlights the exceptional quality of the raw material and the favorable climatic conditions of the region for cultivating *Rosa damascena*.

Given the limited availability of arable land in Armenia, focusing on high-value crops like Damask rose could enhance agricultural productivity and economic returns. The potential for developing new cultivars suited to highland conditions, along with improvements in agricultural practices, further supports the viability of this endeavor.

Overall, *R. damascena* offers a promising avenue for Armenia to expand its agricultural sector, leveraging its unique environmental conditions to produce high-quality essential oil. This approach aligns with global trends towards sustainable agriculture and could position Armenia as a significant player in the essential oil market. Adaptability of *R. damascena* to high altitudes and the quality of the essential oil produced suggest that, with improved cultivation and distillation techniques, Armenia could become a significant player in the global rose oil market.

Considering its unique composition and properties, Armenian rose essential oil offers a range of opportunities for use in the following industries and applications:

- Perfumery and fragrance industry: Its distinct floral scent, characterized by high levels of geraniol and cis-geraniol, makes it an attractive

component for creating niche fragrances and perfumes that deviate from traditional “rosy” profiles.

- Skincare and cosmetics: The potent antiseptic and antioxidant properties of Armenian rose oil, along with its anti-inflammatory effects, make it an excellent addition to skincare products aimed at addressing issues such as acne, aging, and sensitive skin.
- Aromatherapy and wellness: The calming and uplifting qualities of the oil's floral and woody notes, coupled with its therapeutic benefits, suggest potential applications in aromatherapy and wellness products.
- Pharmaceuticals and medicine: The oil's antiseptic and anti-inflammatory properties could be utilized in the development of pharmaceuticals and medical products.
- Food and beverages: The unique fragrance profile of Armenian rose oil presents opportunities for its use in food and beverage products, such as flavored beverages, desserts, and confectionery items.

Developing sustainable and environmentally friendly methods for cultivating Armenian roses would not only ensure the long-term viability of their production but also contribute to environmental stewardship. To fully capitalize on the potential of Armenian rose essential oil –and as a consequence, to enhance yield and oil quality–, further research and development are necessary.

Acknowledgements

We would like to express our deepest gratitude to our colleagues at the Department of Higher Plant Taxonomy and Geography of the A. Takhtajian Institute of Botany, NAS RA, for their support and insightful discussions. We also thank the curators of the ERE and ERCB herbaria, as well as the team at “Nairian” CJSC. Finally, we would also like to thank the reviewers whose comments helped improve this manuscript.

References

- Abdel-Hameed, E.-S. S.; Bazaid, S. A. and Salman, M. S. (2013). Characterization of the phytochemical constituents of Taif rose and its antioxidant and anticancer activities. *BioMed Research International*, 2013, 345465. <https://doi.org/10.1155/2013/345465>
- Afsari Sardari, F.; Mosleh, G.; Azadi, A.; Mohagheghzadeh, A. and Badr, P. (2019). Traditional and recent evidence on five phytopharmaceuticals from *Rosa damascena* Herrm. *Research*

- Journal of Pharmacognosy*, 6(3), 77-84. <https://doi.org/10.22127/RJP.2019.89469>
- Amasiatsi, A. (1926). "Useless for the Ignorant or Dictionary of Medicinal Substances" — ed. K. Basmadzhyan; pub. Mkhitaristov, Vienna, p. 766
- Atanasova, T.; Kakalova, M.; Stefanof, L.; Petkova, M.; Stoyanova, A.; Damyanova, S. and Desyk, M. (2016). Chemical composition of essential oil from *Rosa damascena* Mill., growing in new region of Bulgaria. *Ukrainian Food Journal*, 5(3), 492-498. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2016-5-3-8>
- Babaei, A.; Tabaei-Aghdaei, S. R.; Khosh-Khui, M.; Omidbaigi, R.; Naghavi, M. R.; Esselink, G. D. and Smulders, M. J. M. (2007). Microsatellite analysis of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) accessions from various regions in Iran reveals multiple genotypes. *BMC Plant Biology*, 7, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-12>
- Baser, K. H. C.; Husnu, C.; Kürkçüoğlu, M. and Özek, T. (2003). Turkish rose oil research: Recent results. *Perfumer and Flavorist*, 28, 34-42. https://img.perfumerflavorist.com/files/base/allured/all/document/2016/02/pf.PF_28_02_034_08.pdf
- Baydar, H. and Baydar, N. G. (2005). The effects of harvest date, fermentation duration and Tween 20 treatment on essential oil content and composition of industrial oil rose (*Rosa damascena* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 21(2), 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.004>
- Baydar, N. G.; Baydar, H. and Debener, T. (2004). Analysis of genetic relationships among *Rosa damascena* plants grown in Turkey using AFLP and microsatellite markers. *Journal of Biotechnology*, 111(3), 263-267. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2004.04.014>
- Boskabady, M. H.; Shafei, M. N.; Saberi, Z. and Amini, S. (2011). Pharmacological effects of *Rosa damascena*. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14(4), 295-307. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3586833/>
- Chen, X.; Li, B.; Li, Q.; Li, J. and Saparnov, A. (2012). Spatio-temporal pattern and changes of evapotranspiration in arid Central Asia and Xinjiang of China. *Journal of Arid Land*, 4(1), 105-112. https://www.researchgate.net/publication/279294442_Spatio-temporal_pattern_and_changes_of_evapotranspiration_in_arid_Central_Asia_and_Xinjiang_of_China
- Fatemi, F.; Golbodagh, A.; Hojhosseini, R.; Dadkhah, A.; Akbarzadeh, K.; Dini, S. and Malayeri, M. R. M. (2020). Anti-inflammatory effects of deuterium-depleted water plus *Rosa damascena* Mill. essential oil via cyclooxygenase-2 pathway in rats. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 17(1), 99-107. <https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2018.24381>
- Ghavam, M. (2021). Relationships of irrigation water and soil physical and chemical characteristics with yield, chemical composition and antimicrobial activity of Damask rose essential oil. *PLoS ONE*, 16(4), e0249363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249363>
- Grand View Research. (2019). Rose essential oil market: Industry analysis, 2019-2025. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/rose-oil-market>
- Gudin, S. (2000). Rose: Genetics and breeding. *Plant Breed Reviews*, 17, 159-189. <https://doi.org/10.1002/9780470650134.ch3>
- Islam, A. R. M. T.; Islam, H. M. T.; Shahid, S.; Khatun, M. K.; Ali, M. M.; Rahman M. S.; Ibrahim, S. M. and Almoajel, A. M. (2021). Spatiotemporal nexus between vegetation change and extreme climatic indices and their possible causes of change. *Journal of Environmental Management*, 289, 112505. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112505>
- Khaleghi, A. and Khadivi, A. (2020). Morphological characterization of Damask rose (*Rosa x damascene* Herrm.) germplasm to select superior accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67, 1981-1997. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00954-z>
- Khatamsaz, M. (1992). Rosaceae. In Assadi et al. (Eds.), *Flora of Iran* (vol. 6, p. 68). Research Institute of Forests and Rangelands.
- Kholyavko, V. S. and Globa-Mikhaylenko D. A. (1976). *Dendrology and fundamentals of green construction* (p. 238). Vysshaya Shkola.
- Kovacheva, N.; Rusanov, K. and Atanassov, I. (2010). Industrial cultivation of oil bearing rose and rose oil production in Bulgaria during 21st century, directions and challenges. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(2), 1793-1798. https://www.researchgate.net/publication/247884960_Industrial_Cultivation_of_Oil_Bearing_Rose_and_Rose_Oil_Production_in_Bulgaria_During_21_ST_Century_Directions_and_Challenges
- Kovatcheva, N.; Zheljazkov, V. D. and Astatkie, T. (2011). Productivity, oil content, composition, and bioactivity of oil-bearing rose accessions. *HortScience*, 46(5), 710-714. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/46/5/article-p710.xml>
- Kumar, R.; Sharma, S.; Kaundal, M.; Sood, S. and Agnihotri, V. K. (2016). Variation in essential oil content and composition of Damask rose (*Rosa damascena* Mill) flowers by salt application under mid hills of the western Himalayas. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(2), 297-306. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1153985>
- Labban, L. and Thallaj, N. (2020). The medicinal and pharmacological properties of Damascene Rose (*Rosa damascena*): A review. *International Journal of Herbal Medicine*, 8(2), 33-37. https://www.researchgate.net/publication/353996773_The_medicinal_and_pharmacological_properties_of_damascene_rose_rosa_damascenaa_review
- Mahboubi, M. (2016). *Rosa damascena* as holy ancient herb with novel applications. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 6(1), 10-16.
- Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia. (2014). Fifth national report of the Republic of Armenia to the Convention on biological diversity. <https://www.cbd.int/doc/world/am/am-nr-05-en.pdf>
- Misra, A.; Sharma, S.; Singh, A. and Patra, N. K. (2002). Influence of topographical and edaphic factors on Rose. II. Flowering quality and quantity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(15-18), 2771-2780. <https://doi.org/10.1081/CSS-120014479>
- Muhlemann, J. K.; Klempien, A. and Dudareva, N. (2014). Floral volatiles: From biosynthesis to function. *Plant, Cell & Environment*, 37(8), 1936-1949. <https://doi.org/10.1111/pce.12314>
- Nedkov, N. and Attanassova, M. (2004). *Essential oil and medicinal crops*. Kameja Press.
- Nikbakht, A. and Kafi, M. A. (2004). A study on the relationships between Iranian people and Damask rose (*Rosa damascena*) and its therapeutic and healing properties. *Acta Horticulturae*, 790, 251-254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.790.36>
- Nunes, H. and Miguel, M. G. (2017). *Rosa damascena* essential oils: A brief review about chemical composition and biological properties. *Trends in Phytochemical Research*, 3(1), 111-128. <https://doi.org/10.1001.1.25883623.2017.1.3.2.7>
- Ochard, A. and van Vuuren, S. (2017). Commercial essential oils as potential antimicrobials to treat skin diseases. *Hindawi*.

- Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2017, 4517971. <https://doi.org/10.1155/2017/4517971>
- Pal, P. K. and Mahajan, M. (2017). Pruning system and foliar application of $MgSO_4$ alter yield and secondary metabolite profile of *Rosa damascena* under rainfed acidic conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 507. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00507>
- Rakhshandeh, H.; Vardati-Mashhadian, N.; Karim, D. and Mahmoud, H. (2008). Antinociceptive effect of *Rosa damascena* in mice. *Journal of Biological Sciences*, 8(1), 176-180. <http://doi.org/10.3923/jbs.2008.176.180>
- Rusanov, K.; Kovacheva, N.; Vosman, B. J.; Zhang, L.; Rajapakse, S.; Atanassov, A. and Atanassov, I. (2005). Microsatellite analysis of *Rosa damascena* Mill. accessions reveals genetic similarity between genotypes used for rose oil production and old Damask rose varieties. *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 804-809. <http://doi.org/10.1007/s00122-005-2066-9>
- Sahakyan, N. Z.; Petrosyan, M. T. and Trchounian, A. H. (2020). Some peculiarities of essential oil of Damask rose growing in high altitude Armenian landscapes. *Proceedings of the YSU B: Chemical and Biological Sciences*, 54(1), 68-74. <https://doi.org/10.46991/PYSU:B/2020.54.1.068>
- Singh, S. P. and Kayiyar R. S. (2001). Correlation and path coefficient analyses for flower yield in *Rosa damascena* Mill. *Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants*, 8(1), 43-49. http://doi.org/10.1300/J044v08n01_06
- Tabaei-Aghdaei, S. R.; Babaei, A.; Khosh-Khui, M.; Jaimand, K.; Baher Rezaee, M.; Hassan Assareh, M. and Reza Naghavi, M. (2007). Morphological and oil content variations amongst Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) landraces from different regions of Iran. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.010>
- Takhtajan A. (1958). *Flora of Armenia* (vol. 3). Academy of Sciences of the Armenian SSR.
- Topalov, V. (1978). *The Kazanlak rose and the rose production in Bulgaria* (p. 211). Christo G. Danov Press.
- Topalov, V. D. (1962). *Essential oil and medicinal plants* (p. 200). Hr. G. Danov Press.
- Yousefi, B. and Aghdaei, S. R. T. (2018). Essential oil yield and stability of various *Rosa damascena* Mill landraces under different ecological conditions. *Horticulture International Journal*, 2(5), 271-275. <https://doi.org/10.15406/hij.2018.02.00063>
- Zargari, A. (1982). *Medicinal plants* (vol. 1). Tehran University Press.
- Zheljazkov, V. D.; Yankuloff, Y.; Raev, R. T. C.; Stanev, S.; Margina, A. and Kovatcheva, N. (1996). Achievements in breeding on medicinal and aromatic plants in Bulgaria. *Beiträge zur Züchtungsforschung - Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen*, 2(1), 142-145. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19971610755>
- Zielinski, J. (1982). Genus *Rosa*. In K. Rechinger (Ed.), *Flora Iranica* (vol. 152, p. 3). Akademische Druck- und Verlagsanstalt.

Labranza de conservación y asociación maíz-calabaza en el control de erosión hídrica en Chiapas, México

Conservation tillage and corn-squash intercropping for water erosion control in Chiapas, Mexico

Carlos Ernesto Aguilar Jiménez ^{1,3}, José Galdamez ^{1,4}, Franklin Martínez ^{1,5}, Isidro Zapata Hernández ^{1,6}, Juan Francisco Zamora Natera ^{2,7}, Héctor Vázquez ^{1,8}.

¹Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México. ²Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

³ ✉ ejimenez@unach.mx; ⁴ ✉ jose.galdamez@unach.mx; ⁵ ✉ franklin.martinez@unach.mx;

⁶ ✉ chilo0602@hotmail.com; ⁷ ✉ jfzamoranatera@gmail.com; ⁸ ✉ hector.vazquez@unach.mx



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.112540>

2024 | 73-2 p 210-219 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-01-18 Acep.: 2025-07-04

Resumen

La erosión hídrica es uno de los principales problemas de la degradación de suelos en regiones tropicales. El uso de la mecanización en terrenos agrícolas con pendientes acelera este proceso. Con el objetivo de evaluar el efecto de la labranza y de sistemas de asociación maíz-calabaza para el control del escurrimiento superficial y la erosión hídrica, se desarrolló esta investigación en el municipio de Villaflores, estado de Chiapas (México), durante un ciclo de temporal. Se establecieron 2 sistemas de labranza (mínima y cero) y 3 sistemas de cultivo (maíz, maíz-calabaza y calabaza), lo que generó 6 tratamientos con 3 réplicas. Para evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica, se implementaron lotes de escurrimiento con una repetición para cada tratamiento. La menor pérdida de suelo se cuantificó en el sistema cero de labranza maíz-calabaza con $1.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y una pérdida acumulada de N, P_2O_5 , K_2O y MO de 10.38, 0.12, 0.48 y $197.14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente, mientras que la mayor pérdida de suelo se observó en el sistema labranza mínima de maíz en monocultivo con $7.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y 36.30 (N), 1.23 (P_2O_5), 1.80 (K_2O) y 527.02 (MO) $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La cobertura foliar de la calabaza contribuyó a reducir la pérdida de suelo en ambos sistemas de labranza, principalmente en cero labranza. El sistema de labranza mínima con asociación maíz-calabaza presentó 196 % de uso equivalente de la tierra (UET).

Palabras clave: degradación, ecológico, escurrimiento, manejo sustentable, suelos tropicales.

Abstract

Water erosion is one of the main causes of soil degradation in tropical regions. The use of mechanized agriculture on sloped terrain accelerates this process. This research was conducted in the municipality of Villaflores, Chiapas, Mexico, during a rainfed growing season with the objective of evaluating the effects of different tillage and cropping association systems on surface runoff and water erosion control. Two tillage systems (minimum and zero tillage) and three cropping systems (corn, corn-pumpkin, and pumpkin) were implemented, resulting in six treatments with three replicates each. To evaluate soil loss due to water erosion, runoff plots were implemented in one replicate of each treatment. The lowest soil loss was measured in the no-tillage corn-squash system, with $1.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, and cumulative losses of N, P_2O_5 , K_2O and OM of 10.38, 0.12, 0.48 and $197.14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ respectively. In contrast, the highest soil loss occurred in the minimum tillage corn monoculture system, with $7.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, and 36.30 (N), 1.23 (P_2O_5), 1.80 (K_2O) and 527.02 (OM) $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. The pumpkin foliar cover of pumpkin contributed to a reduction in soil loss in both tillage systems, mainly in the no-tillage system. The minimum tillage system with the corn-squash association achieved an equivalent land use (ELU) of 196 %.

Keywords: degradation, ecological, runoff, sustainable management, tropical soils.

Introducción

La erosión hídrica es un proceso que consiste en el desprendimiento, arrastre y deposición del suelo por la precipitación pluvial (Somoza y Vázquez, 2023). El fenómeno ocurre debido a la exposición de la capa fértil del suelo, originado por su mal manejo. Los impactos son múltiples, ya que no solamente arrastra el suelo, sino que también se deteriora el contenido nutrimental y la materia orgánica (Matías *et al.*, 2020). En regiones tropicales con práctica de agricultura convencional, la erosión hídrica ha contribuido con la degradación sistemática de los suelos agrícolas (López *et al.*, 2022). Se estima que en México el 45 % de los suelos se encuentran degradados, y destaca la erosión por las prácticas agrícolas, el sobrepastoreo y deforestación (Anglés *et al.*, 2021). A su vez, Cotler *et al.* (2020) estiman que 16 % de las tierras agrícolas nacionales dedicadas a la agricultura de temporal están erosionadas.

Para reducir la erosión hídrica destacan los sistemas de labranza de conservación, cuyo objetivo es reducir la pérdida de suelo y restaurar progresivamente las características agronómicas (Martínez-Gamiño *et al.*, 2019). Entre estos, sobresalen la cero y mínima labranza por el nulo o bajo movimiento de la capa superficial del suelo, que contribuyen a reducir la erosión hídrica, mejorar la capacidad de retención de agua, incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la porosidad, regular la temperatura e incrementar la actividad biótica (Gómez-Calderón y Estrada-León, 2020). En regiones tropicales su implementación en terrenos agrícolas con pendiente contribuye a reducir de manera significativa la pérdida de suelo y a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Leyva *et al.*, 2020). La mínima labranza involucra suprimir el uso del arado de discos y realizar únicamente el rastreo; mientras que con la cero labranza se suprime el uso total de la mecanización (Borbón-Gracia *et al.*, 2020).

Por otra parte, las asociaciones de cultivo son arreglos que involucran la siembra combinada de plantas en un mismo espacio y tiempo (Tamayo y Alegre, 2022). Las especies que se asocian presentan diferentes características fisiológicas. Las asociaciones, también conocidas como policultivos, tienen como principal propósito mejorar el uso equivalente de la tierra (UET) (Castillo *et al.*, 2022); estos sistemas contribuyen con la conservación del suelo y del agua (Rivière *et al.*, 2022), reducen la presencia de plagas y enfermedades (León *et al.*, 2000), ayudan con el control de la flora arvense y mejoran el paisaje agrícola. La siembra del maíz asociado con calabaza constituye un sistema agrícola milenario de la cultura mesoamericana, el cual tiene efectos positivos sobre la fertilidad del suelo debido a las interacciones ecológicas que ocurren en el agroecosistema (Aguilar *et al.*, 2020). La reducción de la pérdida de suelo es uno de los principales

beneficios de los cultivos de cobertura (Capurro y Montico, 2020); en este caso, el cubrimiento foliar de la calabaza disminuye el impacto directo de las gotas de lluvia, lo que reduce la erosión.

Con el propósito de evaluar el efecto de los sistemas de labranza de conservación y la asociación maíz-calabaza para el control del escurrimiento superficial y la erosión hídrica, así como su impacto en la UET de los cultivos básicos, se desarrolló la presente investigación.

Materiales y métodos

Descripción del sitio experimental

La investigación se desarrolló durante el ciclo agrícola de temporal en Villaflores, estado de Chiapas (México), con coordenadas geográficas latitud 16° 15' N y longitud 93° 14' W, altitud de 610 m.s.n.m. Clima cálido subhúmedo, temperatura media de 22 °C y precipitación pluvial de 1200 mm anuales. Se acumularon durante el ciclo experimental (19 de junio al 30 de octubre), 817.3 mm, con temperatura media de 25.9 °C (Figura 1). La lluvia se distribuyó en 47 % de la siembra hasta el inicio de la antesis del maíz, y casi el 50 % en la etapa de llenado de grano. Los datos indican un ciclo de temporal atípico con lluvias limitadas, originado por el fenómeno de sequía intraestival, conocido regionalmente como canícula y que se caracteriza por un periodo de intensidad variable en la ausencia de lluvias durante el ciclo del temporal (Fonseca-Flores *et al.*, 2023).

Caracterización edáfica del sitio experimental

El suelo del sitio experimental fue luvisol, con pendiente media de 8 %, típico para el cultivo de maíz en la región Frailesca; para su caracterización se tomó una muestra compuesta (0-20 cm). El resultado representó un suelo típico con aparente degradación de interés agronómico (Tabla 1).

Diseño del experimento

Se utilizó diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas en parcelas grandes de 33 m de largo por 2.5 m de ancho, y se expusieron 2 sistemas de labranza (cero y mínima); a su vez, en las parcelas chicas, de 10 m de largo y 2.5 m de ancho, se ubicaron los 3 sistemas de cultivo (maíz, maíz-calabaza y calabaza), dejando calles de 2.5 m entre unidades experimentales. En total, el ensayo ocupó 891 m². La combinación generó los tratamientos: labranza mínima maíz-calabaza (LMMC), labranza mínima maíz (LMM), labranza mínima calabaza (LMC), cero labranza maíz-calabaza (CLMC), cero labranza maíz (CLM) y cero labranza calabaza (CLC), los cuales estuvieron representados en tres réplicas, 18 unidades experimentales.

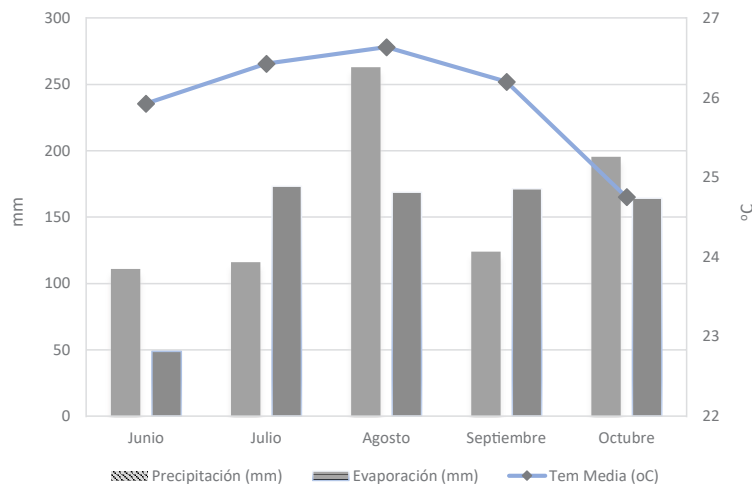


Figura 1. Precipitación, evaporación y temperatura media en el sitio experimental durante la fase de la investigación, Villaflores, estado de Chiapas (México).

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo del sitio experimental

Característica	Método	Resultado
pH	CaCl ₂	4.6
Materia orgánica (%)	Walkley and Black	2.08
N total (%)	Kjeldahl	0.21
P (mg kg ⁻¹)	Olsen	29.4
K (meq _c 100 g)	Emisión atómica	0.27
Ca (meq _c 100 g)	Absorción atómica	4.90
Mg (meq _c 100 g)	Absorción atómica	0.92
Na (meq _c 100 g)	Emisión atómica	0.00
ClC (meq _c 100 g)	Absorción atómica	6.09
CC (%)	Columna de Colman	17.53
Pmp (%)	Cc/1.84	9.52
Da (t m ⁻³)	De probeta	1.30
Arena (%)	Bouyoucos	62.04
Limo (%)	Bouyoucos	16.0
Arcilla (%)	Bouyoucos	21.96
Clasificación textural		Franco-arcillo-arenoso

Lotes de escurrimiento

Para estimar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo se utilizaron lotes de escurrimiento de 2.5 m x 2.5 m (6.25 m²), los cuales se confinaron con espalderas de madera de 40 cm de altura. Aguas abajo se enterraron recipientes metálicos con capacidad de 200 l. El lote se conectó con el depósito con tubos PVC para conducir agua y sedimentos; en la entrada de cada recipiente se colocaron bolsas plásticas

para capturar el sedimento grueso (grava), el cual se cuantificó al final del ciclo del cultivo. Después de cada evento de lluvia se removía el volumen de agua recibido y el sedimento captado; se medía el volumen de escurrimiento recolectado y se tomaba una muestra de 1 l de solución para llevar al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Las muestras se depositaron en vasos de precipitado, agregando 50 gotas de ácido clorhídrico (0.6 N) para promover la precipitación de la muestra de suelo durante 24 horas. Después se decantó el suelo y se colocó en botes de aluminio para su secado en la estufa de circulación de aire a 120 °C durante 24 horas. Al final del ciclo agrícola se cuantificó el peso total de sedimento captado en cada tratamiento evaluado. El escurrimiento superficial por muestreo se obtuvo dividiendo el volumen captado en el tambo () entre la superficie del lote de escurrimiento (6.25 m²).

Preparación del terreno

La preparación del suelo consistió en 2 pasos de rastra para la labranza mínima, mientras que en la cero labranza únicamente se eliminaron las malezas de forma manual.

Siembra

La semilla de maíz fue una variedad nativa de la raza tuxpeño (Coutiño *et al.*, 2021); de la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) se usó semilla criolla común de la región de estudio. La siembra del maíz se realizó en forma manual, 0.80 m entre filas y 0.40 m entre plantas, depositando 2 semillas por punto de siembra. La calabaza en monocultivo se sembró a 1.0 m entre filas y plantas, con 2 semillas por punto. Para la asociación maíz-calabaza, la siembra fue imbricada.

Manejo del cultivo

El maíz se fertilizó con la fórmula 160-60-00 usando nitrato de amonio y el fosfato diamónico; se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno a los 10 días después de la siembra (DDS), el restante del nitrógeno se aplicó a los 45 DDS. El control de la flora arvense se realizó de forma manual durante 3 tiempos del ciclo; en este predominaron *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Digitaria horizontalis* Will, *Melampodium divaricatum* e *Ipomoea* sp. En maíz se presentaron los lepidópteros *Spodoptera frugiperda* Smit. y *Mocis latipes* (Guenée), por lo que se realizaron 2 aplicaciones de Clorpyrifos (0.36 l ha^{-1}). La cosecha del maíz se realizó a los 134 DDS (14 % humedad) y la calabaza se cosechó cuando los frutos estuvieron maduros y secos (144 DDS).

Humedad del suelo

Cada 5 días se cuantificó la humedad del suelo con el método termogravimétrico; se obtuvieron en campo muestras (0-20 cm), posteriormente en laboratorio se determinó el peso de suelo húmedo (PSH, g), y se secaron durante 48 horas a 120°C en una estufa de circulación de aire (GCA corporación modelo 17). Con el peso de suelo seco (PSS, g) se estimó el contenido de humedad (HA, %) mediante la Ecuación 1.

$$HA = \left(\frac{PHS - PSS}{PSS} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Mediante el método de doble cilindro se estimó la velocidad de infiltración (VI) e infiltración acumulada (Z) del agua en el suelo, en ambos sistemas de labranza antes de la siembra y después de la cosecha. La tasa de infiltración fue calculada mediante la Ecuación 2.

$$I = K T^n \quad (\text{Ec. 2})$$

Para la lámina de agua acumulada se utilizó la Ecuación 3.

$$Z = \frac{K t^{n+1}}{60(n+1)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde I: infiltración (cm.h), K: infiltración inicial, t: tiempo, n: pendiente de la curva y Z: infiltración acumulada (cm.h).

Cobertura foliar

El porcentaje de cobertura foliar de la calabaza se calculó de forma directa (Rangel *et al.*, 1997), con la ayuda de un cuadrado (1 m^2) dividido en cuadrantes

pequeños ($10 \times 10 \text{ cm}$); este se lanzó al azar cuantificando en cada caso el número de cuadrantes ocupados por la cobertura de la cucurbitácea.

Variables agronómicas en maíz y calabaza

En maíz se cuantificó el rendimiento del grano y en calabaza se midió el rendimiento de los frutos, para lo cual se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey ($p \geq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SPSS versión 24.

Uso equivalente de la tierra

Para conocer el uso equivalente de la tierra (UET) o la eficiencia del uso del suelo (Willey, 1979), se utilizó la Ecuación 4.

$$UET = La + Lb = \frac{Ma}{Sa} + \frac{Mb}{Sb} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde: La y Lb = rendimientos relativos para los cultivos individuales. Ma y Mb = rendimientos de los cultivos en policultivos. Y Sa y Sb = rendimientos de los cultivos solos.

Resultados y discusión

Humedad del suelo

Se presentó un comportamiento irregular de los contenidos de humedad (Tabla 2), sin que se presentara un efecto en los sistemas de labranza y en los patrones de cultivo. Se destacó el mayor contenido medio de agua en cero labranza en cultivo de calabaza. Por otro lado, la cobertura que originó la calabaza en su crecimiento horizontal, además de los residuos vegetales, favorecieron la retención de humedad. Aguilar-Jiménez *et al.* (2020) señalan beneficios de la calabaza cuando se asocia al maíz, debido a que su cobertura foliar favorece la regulación de la temperatura y, como consecuencia, se reduce la evaporación, lo cual mejora la retención de la humedad en el suelo. Esto favorece a los agroecosistemas dependientes del temporal de lluvias cuando las condiciones meteorológicas son atípicas, como ocurrió en esta investigación.

Escurrimiento superficial

En labranza mínima escurrió un total de 3053.85 mm; y la cero labranza acumuló 2681.42 mm, esto señala un efecto positivo de la no remoción del suelo en la reducción del escurrimiento, lo cual disminuyó la erosión hídrica laminar (Tabla 3). Crespo *et al.* (2010) destacan el efecto protector de la cobertura vegetal en detener el impacto de la lluvia, ya que limita el escurrimiento y la pérdida de suelo. En la

Tabla 2. Contenido de humedad del suelo (%) en los tratamientos experimentales

DDS	LMMC	LMM	LMC	CLMC	CLM	CLC
0	12.96	15.18	15.15	16.58	11.47	17.87
5	15.49	15.76	11.02	12.56	13.97	18.27
10	19.10	24.95	21.12	22.90	16.52	17.27
15	11.34	11.36	12.28	12.21	11.67	17.63
20	12.83	16.26	12.80	16.76	12.97	12.33
25	14.49	13.73	12.04	10.39	12.40	18.08
30	12.45	14.94	11.02	13.39	11.35	17.91
35	14.12	14.22	10.97	11.63	13.02	16.06
40	10.75	12.30	11.86	9.53	9.10	15.42
45	20.88	17.64	13.40	13.77	17.66	24.68
50	12.58	12.46	11.17	15.77	11.77	18.12
55	14.38	12.06	12.33	11.00	13.96	17.65
60	10.80	11.29	10.82	13.75	11.12	15.53
65	22.40	22.43	19.11	19.96	20.07	25.12
70	19.66	15.70	10.69	10.71	13.48	16.86
75	15.40	16.38	19.12	14.72	11.75	15.79
80	18.27	15.14	19.07	20.77	14.28	15.88
85	15.49	17.41	17.91	15.80	16.51	19.43
90	18.35	24.19	19.48	18.65	19.82	17.80
95	18.30	14.31	16.63	16.21	15.69	15.36
100	10.06	15.55	15.23	12.71	11.59	16.46
105	17.31	17.24	18.00	18.71	15.13	17.29
110	17.63	16.88	21.80	23.10	18.91	17.04
115	14.45	22.75	19.39	13.91	19.18	17.65
120	14.86	11.21	22.93	17.86	18.10	16.02
125	14.27	11.64	7.10	10.47	9.04	17.41
130	11.30	13.81	13.60	17.14	10.76	9.94
X̄ =	15.18	15.81	15.04	15.22	14.16	17.22

*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

asociación maíz-calabaza el total escurrido fue de 1234.66 mm, para maíz 2308.91 mm y para calabaza 2191.17 mm; esto representa una reducción del escurrimiento superficial con la asociación en comparación a monocultivos; Huerta-Olague *et al.* (2018) reconocen el papel de la cobertura vegetal y las raíces de los cultivos para proveer protección a los terrenos agrícolas, al reducir el impacto de la precipitación y disminuir la fricción del escurrimiento superficial. En el sistema CLMC se produjo reducción del escurrimiento superficial, lo que evidenció que la siembra directa y la asociación disminuyen el volumen de escorrentía.

Erosión hídrica

El mayor volumen erosionado se registró en labranza mínima, ya que acumuló 21.01 y 1.87 t ha⁻¹ año⁻¹ de suelo y de grava respectivamente. En cero labranza se perdieron 11.43 y 2.63 t ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 4). Esto quiere decir que se redujo la erosión en casi 10 t ha⁻¹ año⁻¹ en siembra directa, por la no perturbación del

suelo y de los residuos vegetales, que permiten mayor infiltración y reducen la erodabilidad. Turrent *et al.* (2017) argumentan que la erosión hídrica ha sido un factor central de degradación de los suelos agrícolas en tierras de ladera en México, por ello la labranza de conservación constituye una estrategia agronómica pertinente. En la asociación de maíz-calabaza se perdieron 7.71 t ha⁻¹ año⁻¹ de suelo y grava; en maíz 16.65 t ha⁻¹ año⁻¹ y en calabaza 13.58 t ha⁻¹ año⁻¹. Con la asociación de cultivos, los volúmenes erosionados disminuyeron en casi 100 %, lo que indica que la cobertura contribuye a reducir la erosión hídrica por salpicamiento. Castelán *et al.* (2017) reportaron menores volúmenes de sedimento en la asociación maíz-calabaza con respecto al monocultivo. Con el tratamiento CLC se acumuló la menor pérdida de suelo, lo cual evidenció que ambas prácticas contribuyen a reducir la erosión hídrica en la región Frailesca de Chiapas, donde se cultivan de forma anual aproximadamente 60 000 ha de maíz (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

Lámina erosionada y pérdida de macronutrientes

La mayor lámina se perdió en labranza mínima, debido a que la remoción incrementa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. El sistema cero labranza redujo la lámina erosionada, y fue el tratamiento CLMC el que menor capa de suelo perdió (Tabla 5), lo cual evidenció una reducción de erosión laminar por efecto de siembra directa. Las mayores pérdidas de materia orgánica sucedieron en labranza mínima en monocultivos, que se redujo en CLMC; además, la siembra directa con cultivo de cobertura redujo el detrimento. Las pérdidas de Nt (nitrógeno total), P₂O₅ (pentóxido de fósforo) y K₂O (óxido de potasio) fueron mayores en los sistemas de labranza mínima en monocultivos, y menores con CLMC. Castelán *et al.* (2017) señalan que la asociación maíz-calabaza es eficiente para disminuir el arrastre de las partículas de suelo, pero no así para evitar la disolución de nutrientes como nitrógeno y fósforo en el agua de escorrentía. La pérdida anual y gradual de la fertilidad del suelo significa una fuerte inversión con respecto al precio comercial actual de las diversas fuentes de fertilizantes inorgánicos de N-NO₃, P y K.

Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Para cero labranza la velocidad de infiltración e infiltración acumulada de agua aumentó después de la cosecha (Figura 2), lo que fue promovido por los residuos orgánicos en siembra directa. Al evaluar el impacto acumulado de la agricultura de conservación Martínez-Gamiño *et al.* (2019) concluyeron que la infiltración inicial más siembra directa afecta favorablemente la porosidad y densidad aparente en

Tabla 3. Escurrimiento superficial (mm)

Muestreo (DDS)	LMMC	LMM	LMC	CLMC	CLM	CLC
0	20.41	19.50	27.09	2.55	35.72	28.06
1	68.89	100.98	179.79	140.34	188.63	160.76
2	20.41	0.00	6.15	0.00	8.93	3.82
7	33.17	21.20	24.63	0.00	22.96	12.75
10	45.93	18.47	19.70	0.00	26.79	12.75
20	33.17	12.31	36.94	0.00	28.06	15.31
36	15.31	12.31	41.87	6.37	74.00	15.31
45	7.65	4.92	20.93	0.00	21.68	20.41
48	178.62	177.33	174.87	58.69	178.62	181.17
49	0.00	6.15	17.24	0.00	0.00	10.20
66	0.00	4.92	2.46	0.00	5.10	17.86
67	0.00	14.77	7.38	0.00	22.96	12.75
70	0.00	4.92	3.69	0.00	8.93	10.20
71	0.00	4.92	4.92	0.00	8.93	7.65
83	0.00	7.38	3.69	0.00	19.13	12.75
88	22.96	17.24	64.03	56.13	30.62	30.62
89	30.62	56.64	105.9	10.2	122.48	94.41
123	7.65	4.92	27.09	22.96	10.20	7.65
139	17.86	22.16	19.04	0.00	35.72	25.51
143	35.72	147.78	86.20	12.75	114.82	71.44
144	75.00	174.87	179.79	12.75	127.58	76.55
$\Sigma(\text{mm}):$	613.37	866.11	1053.40	322.74	1091.86	827.93

*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

Tabla 4. Erosión hídrica total de suelo y grava

Tratamiento	Suelo	Grava	Total
	t ha ⁻¹ año ⁻¹		
LMMC	5.50	1.01	6.51
LMM	7.83	0.52	8.30
LMC	7.68	0.34	8.05
CLMC	1.08	0.12	1.20
CLM	5.37	1.97	7.35
CLC	4.98	0.54	5.53

*LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

Tabla 5. Lámina erosionada, pérdida de materia orgánica y macronutrientes

Tratamiento	Lámina Erosionada (mm ha ⁻¹ año ⁻¹)	M.O	Nt	P ₂ O ₅ ¹	K ₂ O ²
		Kg ha ⁻¹ año ⁻¹			
LMMC	0.4546	346.59	15.56	0.50	0.53
LMM	0.5928	527.20	36.30	1.23	1.80
LMC	0.6097	484.10	28.43	0.72	2.27
CLMC	0.0833	197.14	10.83	0.11	0.48
CLM	0.4302	430.25	24.04	1.18	1.50
CLC	0.3988	224.33	12.31	0.62	1.06

^{*1}= P₂O₅*0.437 = P; ²= K₂O* 0.83 =K. LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

comparación con labranza convencional. En labranza mínima la velocidad de infiltración e infiltración acumulada fueron mayores después de la cosecha (Figura 3); los sistemas de labranza de conservación favorecen la solución del suelo, así mismo, pueden contribuir a solucionar el problema generalizado de la compactación superficial y del subsuelo en la región de estudio, López Báez et al. (2018) reportan el

efecto del “encomstramiento” que reduce la emergencia de las plántulas y disminuye la infiltración del agua en el suelo, lo cual origina encharcamientos, escurrimientos y erosión, reduciendo la capacidad de conservación de humedad y provocando que el rendimiento del maíz se reduzca hasta 58 % en periodos críticos de sequía.

Tabla 6. Rendimientos y uso equivalente de la tierra en los sistemas asociados

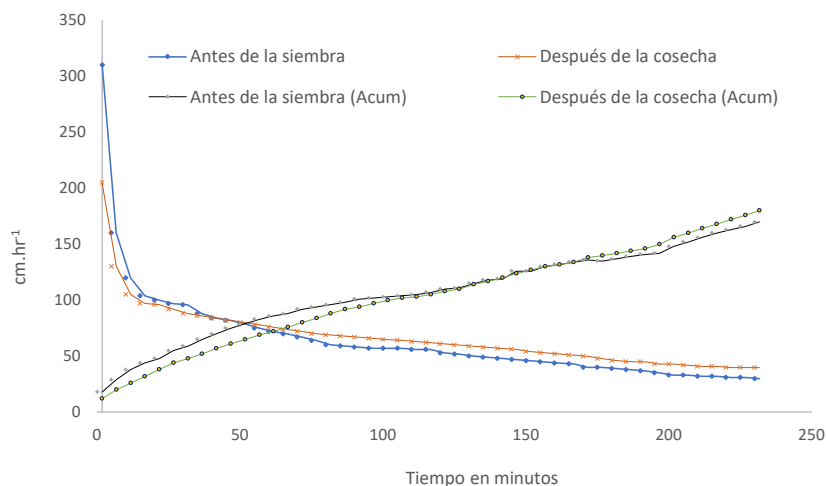
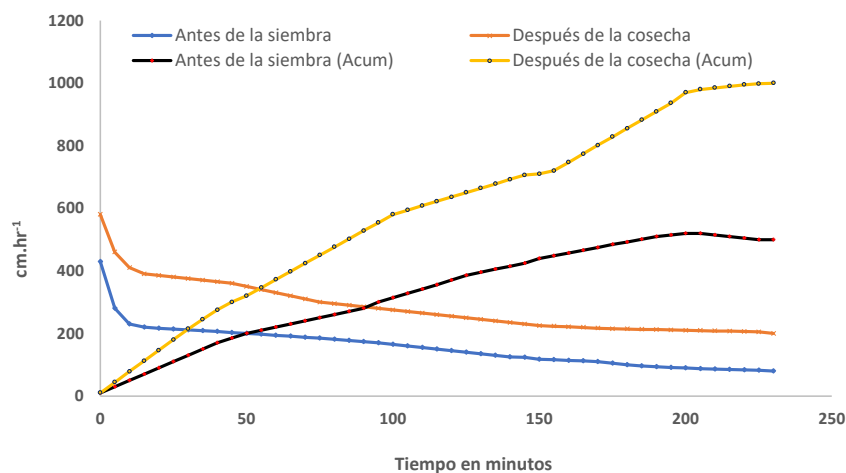
Tratamiento	Rendimiento (t ha ⁻¹)		Rendimientos relativos (%)		UET
	Maíz	Calabaza	Maíz	Calabaza	
LMMC	2.09 b	13.60	84	212	296
LMM	2.48 a	-	100	-	100
LMC	-	6.40	-	100	100
CLMC	1.98 b	4.13	79	16	95
CLM	2.51 a	-	100	-	100
CLC	-	25.20	-	100	100
P-Valor	0.050*	ns			

*Letras diferentes en la misma columna señalan diferencias estadísticas entre tratamientos. * Diferencia significativa (Tukey ≤ 0.05), ns: no significativo. LMMC: labranza mínima maíz-calabaza; LMM: labranza mínima maíz; LMC: labranza mínima calabaza; CLMC: cero labranza maíz-calabaza; CLM: cero labranza maíz; y CLC: cero labranza calabaza.

Cobertura foliar y pérdida de suelo

La LMMC a 20 DDS con cobertura foliar de 10 % y precipitación de 160 mm provocó mayor pérdida de suelo. A los 60 DDS, con una cobertura foliar de 90 %, y mayor precipitación, la pérdida de suelo fue menor (0.2 t ha⁻¹) (Figura 4) y se redujo la erosión conforme se incrementó la cobertura de la calabaza; esto es un efecto positivo de la imbricación que representa el agroecosistema denominado *milpa* (Mariaca, 2023).

La cobertura vegetal originada por las asociaciones de cultivo y el laboreo mínimo contribuyen a reducir los niveles de pérdida de suelo en terrenos montañosos (Blanco *et al.*, 2023). La CLMC a 40 DDS con cobertura foliar de 40 % y precipitación de 40 mm, provocó menor pérdida de suelo (0.05 t ha⁻¹). A los 60 DDS, con 70 % de cobertura y precipitación de 280 mm, se tuvo una pérdida de suelo (0.15 t ha⁻¹). A los 80 DDS el maíz se encontraba en R1, con cobertura

**Figura 2.** Velocidad de infiltración e infiltración acumulada en cero labranza, Villaflores, Estado de Chiapas (México).**Figura 3.** Velocidad de infiltración e infiltración acumulada en labranza mínima Villaflores, Estado de Chiapas (México).

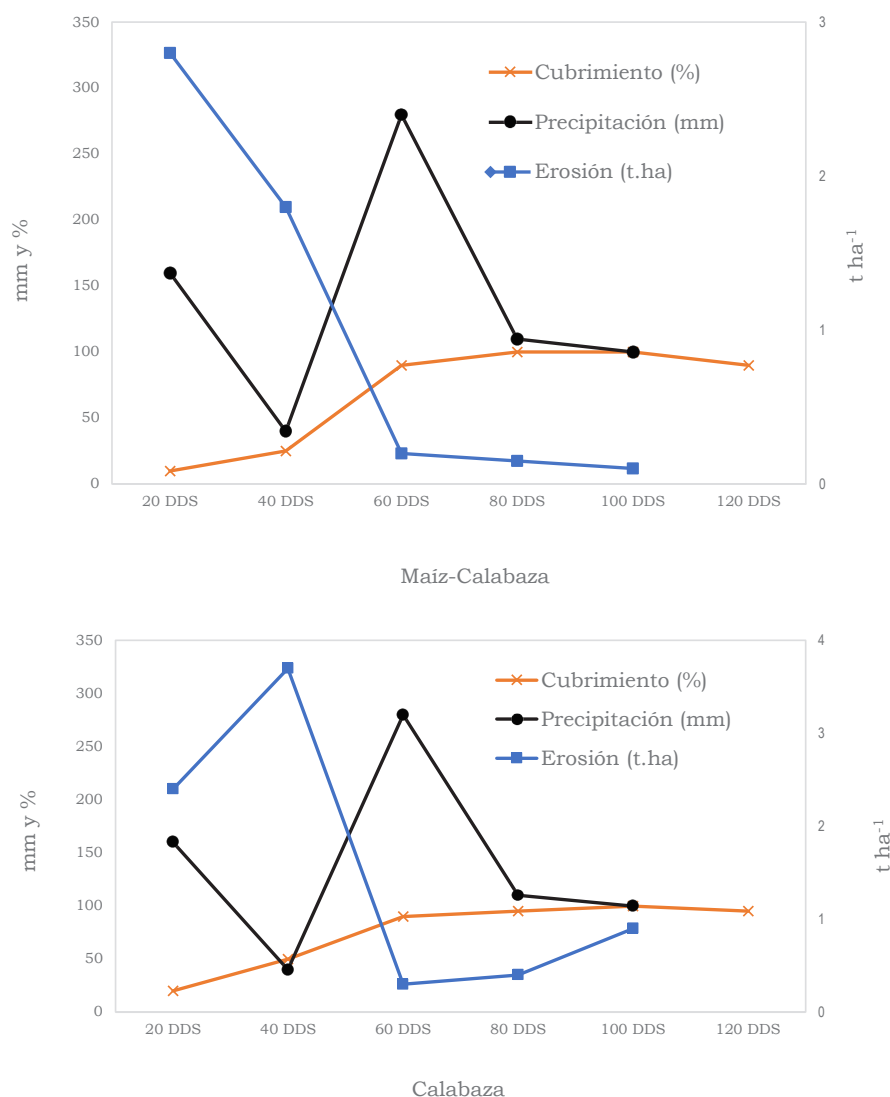


Figura 4. Cobertura foliar y pérdida de suelo en labranza mínima, Villaflores, Estado de Chiapas (México).

foliar de 90 % y precipitación de 110 mm, se tuvo una pérdida de suelo de 0.8 t ha^{-1} (Figura 5). El incremento de la cobertura en 20 % redujo la pérdida de suelo en 50 %. En CLC el cubrimiento foliar fue más rápido: a los 40 DDS hubo 85 % y a los 70 DDS alcanzó el 100 %, lo que muestra la menor pérdida de suelo. De tal manera, el efecto combinado de la cobertura foliar con la siembra directa es viable en los procesos de manejo ecológico del suelo (Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota, 2001).

Rendimientos y uso equivalente de la tierra (UET)

Los tratamientos de monocultivo de maíz fueron superiores estadísticamente en ambos sistemas de labranza. En calabaza no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Tabla 6). El

UET en LMMC produjo 196 % más por unidad de superficie en comparación con los monocultivos. Una mayor eficiencia del uso del suelo al realizar la asociación favorece también la conservación del suelo, debido a la cobertura que reduce la erosión hídrica. La asociación maíz-calabaza es un sistema que contribuye con la conservación del suelo, aun cuando los rendimientos relativos sean inferiores a los monocultivos. La mayor producción combinada de los policultivos básicos Mesoamericanos se atribuye a efectos de selección en los que prospera la especie dominante y a la complementariedad de nicho de las asociaciones (Ebel *et al.*, 2017). Igualmente, las arquitecturas del maíz y la calabaza benefician las condiciones ecológicas del sistema de cultivos (Postma y Lynch, 2012).

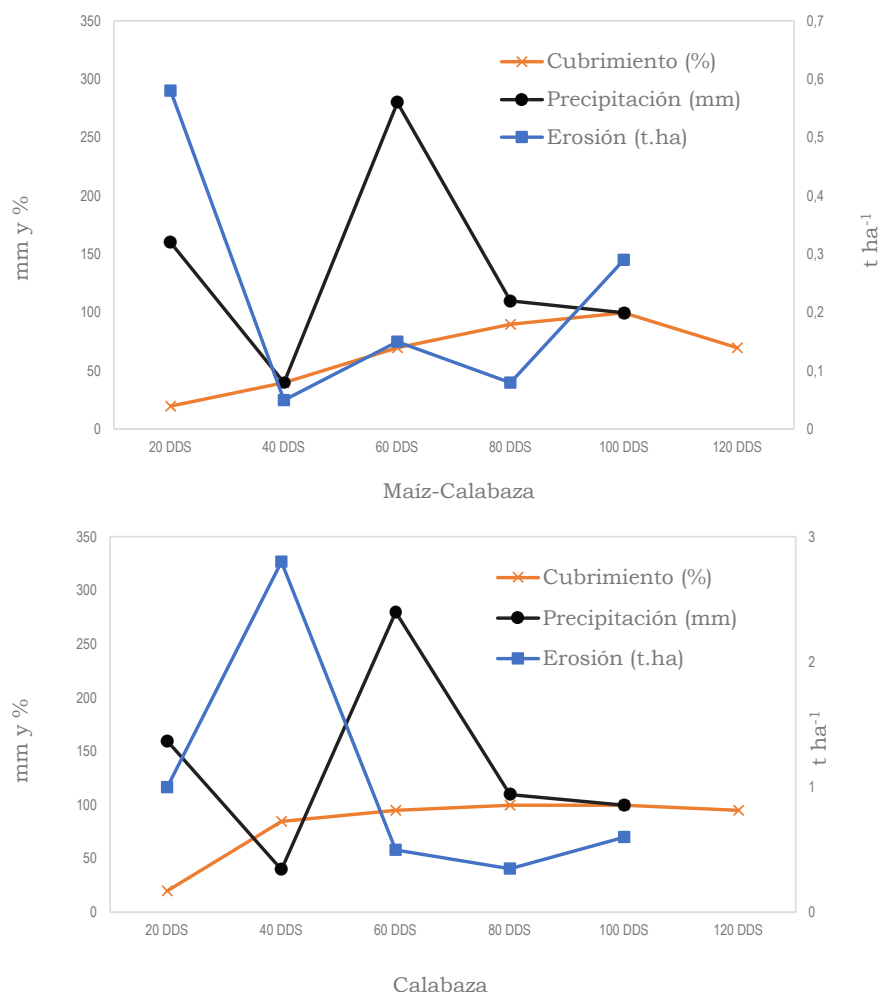


Figura 5. Cobertura foliar y pérdida de suelo en cero labranza, Villaflores, Estado de Chiapas (México).

Conclusiones

Se cuantificó menor escurrimiento superficial en cero labranza con respecto a labranza mínima. La menor pérdida de suelo y grava por erosión hídrica se cuantificó en la asociación cero labranza maíz-calabaza. En el sistema cero labranza maíz-calabaza las pérdidas de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio fueron menores. Las mayores láminas de suelo erosionadas ocurrieron en labranza mínima de maíz y calabaza.

Referencias

- Aguilar Jiménez, C. E.; Galdámez Galdámez, J.; Martínez Aguilar, F. B.; Guevara Hernández, F. y Vázquez Solís, H. (2020). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72. <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/318>
- Anglés, M.; Bocco, G.; Cotler, H.; Cram, S.; Lee, W. H.; Ortiz, S.; Prado, B.; Reyes, L. B.; Saniger, J. M. y Siebe, Ch. (2021). Por una gestión sostenible del suelo que promueva su reconocimiento, recuperación, preservación y gobernanza. Vol. 2. Pronunciamento: gestión sostenible del suelo. <https://pueis.unam.mx/wp-content/uploads/2022/03/Pronunciamento-PUEIS.pdf>
- Blanco Sepúlveda, R.; Lima, F. J.; Gómez Moreno, M. L.; Enríquez Narváez, F. y Aguilar Carrillo, A. (2023). Buenas prácticas agrícolas para el control de la erosión hídrica del suelo en los cultivos anuales de las montañas de Guatemala y Nicaragua. *Ikara - Revista de Geografías Iberoamericanas*, 3. <https://doi.org/10.18239/Ikara.3319>
- Borbón-Gracia, A.; Lugo-García, G. A.; Reyes-Olivas, Á.; Valenzuela-Herrera, V. y Saucedo-Acosta, C. P. (2020). Rotación de trigo, maíz y cártamo en labranza de conservación vs. labranza tradicional. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 43(4), 371-378. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/43-4/2a.pdf>
- Capurro, J. y Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM*, 26, 41-47. <https://doi.org/10.35305/curiham.v26i0.147>
- Castelán Vega, R.; López Teloxa, L. C.; Tamariz Flores, J. V.; Linares Fleites, G. y Cruz Montalvo, A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Terra Latinoamericana*, 35(3), 229-235. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i3.134>

- Castillo Gómez, M. J.; Morejón García, M.; Suárez Venero, G. M. y Acuña Velázquez, I. R. (2022). Diversificación de cultivos en un sistema agroforestal cacaotero en el macizo del jamal, municipio Baracoa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(3), 364-379. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/754>
- Cotler, H.; Corona, J. A. y Galeana-Pizaña, J. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59976>
- Coutiño Estrada, B.; Cruz Vázquez, C.; Gómez Montiel, N. O.; Hernández Casillas, J. M.; Cruz Chávez, F. J.; Vidal Martínez, V. A. y Aguilar Jiménez, C. E. (2021). *Diversidad fenotípica de razas de maíz cultivadas en Chiapas, México*. Libro Técnico Núm. 14. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP.
- Crespo, R. J.; Ares, G.; Sfeir, A.; Wingeyer, A. B. y Usunoff, E. (2010). Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 93-106. <https://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=3508>
- Ebel, R.; Pozas Cárdenas, J. G.; Soria Miranda F. y Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35, 149-160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es
- Fonseca-Flores, A. M.; Hernández, F. G.; García, A. G.; Rosano, C. M. y Vázquez, M. R. P. (2023). Diversidad de maíces locales en ejidos de la Fraileasca chiapaneca de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <http://doi.org/10.56369/tsaes.4397>
- Gómez-Calderón, N. y Estrada-León, R. J. (2020). Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: un caso en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 123-139. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.7>
- Huerta-Olague, J. D. J.; Oropeza Mota, J. L.; Guevara Gutiérrez, R. D.; Ríos Berber, J. D.; Martínez Menes, M. R.; Barreto García, O. A.; Olguín López, J. L. y Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- León, A.; Pino, M. A.; González, C. y Del Pozo, E. (2000). Evaluación comparativa de densidades de fitófagos y enemigos naturales en policultivo tomate-maíz. *Cultivos Tropicales*, 21(1), 53-60. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/726>
- Leyva, R. S. L.; Espinosa, B. Z.; Ruz, R. R. y Gutiérrez, G. O. (2020). Propiedades de los suelos en diferentes sistemas de labranza. *Ojeando la Agenda*, 65, 1. <https://ojeandolaagenda.com/2020/05/31/propiedades-de-los-suelos-en-diferentes-sistemas-de-labranza/>
- López Báez, W.; Reynoso Santos, R.; López Martínez, J.; Camas Gómez, R. y Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Fraylesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- López, D. E. L.; López, E. J. L.; Acevedo, T. R. y Flores-Pacheco, J. A. (2022). Riesgos de degradación hídrica del suelo posterior al fuego en el trópico húmedo. *Wani*, 76, 54-69. <https://doi.org/10.5377/wani.v38i76.14402>
- Mariaca, M. R. (2023). El milenarismo sistema de la milpa maya bajo roza-tumba-quema de Yucatán, México en los últimos años. En N. E. M. Costa y F. L. Silveira (orgs), *Prácticas investigativas em etnobotânica: distintos olhares, afins encontros* (pp. 261-308). Editora Zarte.
- Martínez-Gamiño, M. Á.; Osuna Ceja, E. S. y Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765-778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Matías Ramos, M.; Gómez Díaz, J. D.; Monterroso Rivas, A. I.; Uribe Gómez, M.; Villar Hernández, B. D. J.; Ruiz García, P. y Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 51-71. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>
- Postma, J. A. y Lynch, J. P. (2012). Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Annals of Botany*, 110, 521-534. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs082>
- Rangel, O., Lowy, P. D. y Aguilar, M. (1997). Colombia diversidad biótica II. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81934>
- Ramírez-Cruz, M. E. y Oropeza-Mota, J. L. (2001). Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. *Agrociencia*, 35(5), 489-495. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30235502.pdf>
- Rivière, C.; Béthinger, A. y Bergez, J. E. (2022). The effects of cover crops on multiple environmental sustainability indicators. A review. *Agronomy*, 12(9), 2011. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092011>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SAGARPA. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Somoza, A. y Vázquez, P. (2023). Erosión hídrica e intensificación agrícola considerando unidades ambientales. El caso de Tandil, región Pampeana Argentina. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 62(1), 273-299. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.24561>
- Tamayo Ortiz, C. V. y Alegre Orihuela, J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), e3287. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>
- Turrent Fernández, A.; Cortés Flores, J. I.; Espinosa Calderón, A.; Hernández Romero, E.; Camas Gómez, R.; Torres Zambrano, J. P. y Zambada Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- Willey, R. (1979). Intercropping-its importance and research needs part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*, 32(1), 1-10.

Cambios en la calidad de suelos Pardos Sialíticos de acuerdo con el manejo agrícola

Changes in the quality of Sialitic Brown soils under different agricultural management practices

Elein Terry Alfonso ^{1,5}, Yoandris Socarrás Armenteros ^{2,6}, Lucía Fernández Chuairey ^{3,7}, Hugo Armando Morales Morales ^{4,8}

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas, Cuba. ²Universidad de Cienfuegos (UCF). Cienfuegos, Cuba. ³Universidad Agraria de la Habana (UNAH). San José de las Lajas, Cuba. ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Chihuahua México. ⁵✉ terry@inca.edu.cu; ⁶✉ ysocarras@ucf.edu.cu; ⁷✉ lucia@unah.edu.cu; ⁸✉ hmorales@uach.mx



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.115283>

2024 | 73-2 p 220-227 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-06-25 Acep.: 2025-07-10

Resumen

Las prácticas de manejo inadecuadas en los suelos pueden provocar modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; por tanto, evaluar los cambios que afectan su calidad es de vital importancia para aplicar técnicas agrícolas que contribuyan a su recuperación. Bajo este criterio, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar las modificaciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas según el manejo agrícola y su influencia en las modificaciones de la calidad del suelo Pardo Sialítico. La investigación se realizó en un agroecosistema de Cienfuegos, Cuba, entre los meses de mayo y junio de 2022. Se seleccionaron 3 sitios: suelo bajo bosques, más de 50 años (considerado de referencia); conservados, pastos de 10 a 20 años; agrogénicos, bajo caña de azúcar por más de 60 años y en la actualidad con cultivos de granos, hortalizas y viandas. Para la evaluación de los indicadores de calidad del suelo, se tuvieron en cuenta las propiedades más sensibles a modificación según el manejo, y fueron escogidos a través de las características químico-físicas y biológicas. Los resultados mostraron 13 variables edáficas identificadas como indicadores potenciales para determinar la calidad del suelo. Una estructura de correlación mostró una relación positiva y directa entre pHMO; pH-RCO; pH-PT; NI-pH; PT-MO; NI-MO; Keh-SCC; y RCO-NI, todos con coeficiente de correlación superior a 0.99. La variante de suelo bajo bosque tuvo mayor índice de calidad (0.90), contrario al suelo agrogénico, en el que se evidencia que la acción del ser humano deterioró el sistema del suelo con un índice de 0.63.

Palabras clave: agroecosistemas, degradación, edafología, índice, propiedades del suelo.

Abstract

Inappropriate soil management practices can alter its physical, chemical, and biological properties. Therefore, evaluating the changes that affect soil quality is vital for implementing agricultural techniques that contribute to its recovery. On that basis, the present study was conducted to evaluate the influence of different agricultural management practices on the chemical, physical, and biological properties of Sialitic Brown soil. The research was carried out in an agroecosystem located in Cienfuegos, Cuba, between May and July 2022. Three sites were selected: soil under forest (more than 50 years old) as reference; preserved soil (with pastures between 10 and 20 years old); and Agrogenic Soil (cultivated with sugar cane for more than 60 years, and currently with grain, vegetable and root crops). Soil quality indicators were evaluated based on properties most sensitive to changes due to management, selected through their chemical, physical, and biological characteristics. 13 edaphic variables were identified as potential soil quality indicators. The correlation structure revealed a positive and direct relationship between the following variables: pH - OM; pH - RCO; pH - PT; NI - pH; PT - MO; NI - MO; Keh - SCC; and RCO - NI, all with correlation coefficients greater than 0.99. The low forest soil variant exhibited a higher quality index (0.90), in contrast to the Agrogenic Soil, where human activity has clearly deteriorated the soil system, resulting in a lower index of 0.63.

Keywords: Agroecosystem, degradation, edaphology, index, soil properties.

Introducción

Se reconoce que el suelo es un recurso natural no renovable, además de ser imprescindible para los individuos y el medio ambiente en general. Este proporciona servicios ecosistémicos que son necesarios para el equilibrio terrestre. Por lo anterior, la evaluación de la fertilidad del suelo de un área o región es una herramienta básica que ayuda a cuantificar las propiedades químicas, físicas y biológicas para realizar el manejo sostenible de sus nutrientes (Echeverría *et al.*, 2023); esto permite lograr una adecuada producción agrícola, así como la necesaria seguridad y sostenibilidad alimentaria y ecológica.

Según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo se considera como *calidad del suelo* a la capacidad que este tiene para realizar funciones dentro de ciertos límites que imponen la naturaleza y el ser humano, y debe respaldar la producción de cultivos y la producción animal, conservar la calidad del aire y del agua, así como garantizar la salud de las plantas, los animales y el ser humano (Hernández *et al.*, 2017). Por otra parte, Amorin *et al.* (2020) propusieron el término *multifuncionalidad del suelo*, el cual, además de las relaciones de producción, abarca otras funciones tales como la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad y la regulación del ciclo hidrológico, entre otras.

Los cambios en el funcionamiento del suelo pueden estar relacionados con las formas de uso, las tecnologías de cultivos y sus prácticas de manejo, así como el empleo de fertilizantes minerales y plaguicidas, lo cual conlleva la necesaria evaluación y monitoreo de las modificaciones que en ellos se producen. Para ello, la aplicación de índices de calidad (IC) constituye una herramienta factible para evaluar la capacidad agroproductiva de un suelo (Ojeda *et al.*, 2018).

Estos IC pueden constituir una valiosa herramienta para la toma de decisiones en cuanto al uso y manejo del suelo, ya sea a nivel de país o de región. Vallejo *et al.* (2020) plantean que estos índices pueden reflejar los cambios edáficos en función de los procesos que tienen lugar en él.

Es posible crear relaciones entre propiedades edáficas que resulten sensibles a las modificaciones y que, a la vez, tengan una relación estrecha con las funciones del suelo, de manera que constituyan un indicativo de la recuperación o de su estado degradativo (Rutigliano *et al.*, 2023). Autores como Cruz *et al.* (2020) expresaron como esenciales en la evaluación de los sistemas agrícolas las propiedades químicas y físicas. También refirieron que la vida microbiana del suelo es fundamental, entre lo que destacan el carbono en la biomasa microbiana, los cocientes metabólicos y microbianos y la eficiencia metabólica, así como la microbiota del suelo.

En el caso específico de Cuba, los suelos Pardos Sialíticos son representativos de la región central del país y se ha demostrado que estos están sometidos a un proceso de degradación que se refleja en serios problemas de erosión y degradación biológica (Hernández, 2021). Por tanto, el reto actual está en monitorear la calidad del suelo, teniendo en cuenta que la degradación de la tierra es uno de los problemas ambientales que inciden en la producción de alimentos y que son originados por la acción antrópica y la incidencia de eventos climáticos extremos (Rodríguez *et al.*, 2023). De ahí la necesidad de aplicar técnicas agrícolas que permitan su recuperación agroproductiva.

A partir de estos antecedentes, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar las modificaciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo según el manejo agrícola y su influencia en la calidad del tipo Pardo Sialítico.

Materiales y métodos

El trabajo fue ejecutado en suelos Pardos Sialíticos (Hernández, 2021) de la provincia Cienfuegos, Cuba, ubicada al sur de la región central, entre los 21°22' y los 23°55' de latitud norte y entre los 80°20' y 81°10' de longitud oeste, en el periodo de mayo a junio del 2022. Se seleccionaron 3 agroecosistemas con diferentes formas de manejo: suelo bajo bosques, más de 50 años (considerado de referencia), sin disturbio; conservados, bajo pastos de 10 a 20 años; y agrogénicos, bajo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por más de 60 años, y en la actualidad con cultivos continuados de granos, hortalizas y viandas, que corresponde a la finca Aeropuerto del municipio de Cienfuegos (Figura 1).

Para determinar los indicadores de calidad del suelo (Tabla 1) se realizaron muestreos al azar en diferentes localizaciones y de forma longitudinal, tomando 3 muestras de suelo por cada manejo, al mismo tiempo y con iguales condiciones. Para determinar los indicadores de calidad se tuvieron en cuenta aquellas variables más sensibles a los cambios según el manejo, las cuales fueron seleccionadas a través del estudio de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Para la caracterización química y física las muestras se tomaron en las diferentes áreas (referencia, conservado y agrogénico), a una profundidad de 0-20 cm; además, se tomaron 5 muestras simples para conformar una muestra compuesta. Estas fueron analizadas en el laboratorio de suelo y foliar del Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA). Para la realización de estos análisis se utilizó el manual de técnicas analíticas para suelo, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Paneque *et al.*, 2002).



Figura 1. Representación del agroecosistema estudiado (finca Aeropuerto), con los diferentes manejos de suelo, municipio de Cienfuegos. Fuente: imagen propia satelital a escala 1:10 000.

Tabla 1. Indicadores químicos, físicos y biológicos seleccionados para evaluar la calidad del suelo Pardo Sialítico de la provincia Cienfuegos, Cuba.

Indicador	Indicadores estudiados
Propiedades químicas	Suma de cationes cambiabiles (SCC), fósforo (P), pH, reserva de carbono orgánico (RCO) y materia orgánica (MO)
Propiedades físicas	Humedad (H), porosidad total (PT), densidad real (Dr), densidad aparente (Da), índice de estabilidad estructural (Ies), estabilidad estructural en seco (Kes) y estabilidad estructural en húmedo (Keh)
Propiedades biológicas	Número de insectos (NI) y respiración basal (RB)

Fuente: elaboración propia.

Análisis químico del suelo

Se obtuvo el pH (H_2O) por potenciometría, relación suelo-agua: 1:2,5; carbono total ($g\ kg^{-1}$ - combustión húmeda, Walkley y Black); fósforo asimilable ($mg\ kg^{-1}$ - extracción con $H_2SO_4\ 0.1\ mol\ l^{-1}$ y determinación colorimétrica); cationes intercambiables ($cmolc\ kg^{-1}$ - extracción con $NH_4Ac\ 1\ mol\ l^{-1}$ a pH 7); y reserva de carbono orgánico ($mg\ ha^{-1}$) calculado por el método de la masa de suelo.

Análisis físico del suelo

En el análisis de las propiedades físicas se realizó la medición de la humedad por el método gravimétrico Kaurichev; la densidad aparente del suelo se determinó utilizando cilindros de $100\ cm^3$ de volumen; la densidad real por el método del terrón con parafina; la estabilidad estructural se hizo por el método de Savinov, tanto en tamiz seco como en tamiz húmedo, según la metodología descrita por Bernal y Hernández (2017).

Análisis biológico del suelo

Para el conteo del número de insectos de la macrofauna edáfica (depredadores, detritívoros y herbívoros), los muestreos se realizaron entre las 7:00 y 9:00 a. m., en los sitios representativos de cada agroecosistema. Se seleccionaron transeptos cuyo punto de origen y dirección se determinó al azar. Para el estudio se excavaron 10 monolitos de $25 \times 25 \times 20\ cm$, los cuales se dividieron en 3 estratos: hojarasca, 0-10 cm y de 0-20 cm de profundidad. Cada monolito estuvo separado por una distancia de 5 m. Se utilizó la metodología del programa de investigación internacional Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (Anderson e Ingram, 1993).

Las lombrices se conservaron en formaldehído al 4 % y los invertebrados restantes en alcohol al 70 % para su posterior identificación en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la provincia de Cienfuegos. La medición de respiración basal (RB) se realizó a partir del humedecimiento de 25 g de suelo al 60 % de la capacidad máxima de retención de humedad y la determinación del CO_2 se evaluó al cabo de 24 horas de incubación a $30\ ^\circ C$ (Cabrera, Sánchez y Ponce de León, 2022).

Los datos obtenidos de los análisis químico, físico y biológico se emplearon en la estimación del índice de calidad del suelo (ICS), utilizando el software SENCAS para la obtención de un rango de calidad entre 0 y 1, en el cual el 1 el estado ideal del suelo (Ojeda, 2018).

Para el análisis estadístico de los resultados, se realizó un análisis de varianza (Tukey 0.05) y análisis multivariado de componentes principales, para agrupar los mejores tratamientos por similitud en sus

valores medios para cada propiedad. Fue realizado un análisis Biplot, para agrupar las variables que más contribuyeron al tipo de manejo del suelo. Para el procesamiento estadístico se utilizaron los paquetes SPSS 13.0 y Statgraphics Centurión (2012).

Resultados

Un total de 14 variables químico-físicas y biológicas fueron identificadas entre los principales indicadores que pueden aportar a la calidad de estos suelos Pardos sialíticos (Tabla 2). En este caso se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p < 0.05$) en la mayoría de las propiedades analizadas, excepto la densidad real (Dr), que no presentó diferencias significativas.

Por tanto, únicamente 13 variables fueron incluidas con el objetivo de ser evaluadas a través del análisis de componentes principales (ACP), lo cual permite reducir la redundancia de los indicadores y seleccionar las variables a incluir para el cálculo del índice de calidad del suelo (ICS).

Como se observa en la Tabla 3, la selección de 2 componentes (autovalores por encima de 1), con las 2 primeras se explicó el 100 % de la variabilidad total.

El número 1 está caracterizado fundamentalmente por las variables pH, MO, RCO, PT, RB, NI, P y la Da, mientras que el componente 2 se caracteriza por SCC, Ies, humedad, Keh y Kes (Tabla 4).

El ACP evidenció un efecto significativo del manejo agrícola en las propiedades edáficas, lo que permitió confirmar que las variables escogidas mostraron la variabilidad total de los indicadores y, de esta manera, expusieron las diferencias entre los sistemas de manejo A y B ($p < 0.05$). Mediante la gráfica de ordenación (Figura 2) se identificó la

separación entre los grupos comparados (manejos), lo que mostró una mayor diferencia entre el bosque, el suelo conservado y el agrogenico.

La representación de la Figura 2 reafirma el comportamiento de dichas variables e indica que el sistema de bosque es el que mejor responde a este tipo de comportamiento. Ello pudiera estar explicado, entre otros aspectos, a que en este sistema, debido al aporte de la hojarasca, la acumulación de carbono orgánico (CO) en suelo es alta.

En el caso del componente 2, a medida que aumentan los valores de SCC, humedad, Keh e Ies disminuye la estabilidad estructural en seco (Kes) (Tabla 4). Igualmente se refleja en el gráfico de Biplot (Figura 3) que el agroecosistema de suelos conservados es el que más se asocia a este comportamiento, lo que indica que la permanencia de estas especies (pastos) sobre el suelo, incrementa la fertilidad y se mejora su estructura.

A partir de los resultados anteriores, se procedió a evaluar el índice de calidad del suelo (ICS) para cada uno de los sistemas estudiados. Por otra parte, Font (2008), citado por Ojeda *et al.* (2018), plantea que el ICS oscila entre 0 y 1 y que, a medida que este se acerque más a uno, mayor será la calidad del suelo. Los resultados obtenidos indican que el suelo bajo bosque tiene mayor ICS (Tabla 5), lo que demuestra que la permanencia de especies de plantas que cubren el suelo contribuye a mejorar la fertilidad de manera significativa con respecto a los demás sistemas de manejo.

Dada la estrecha relación entre las propiedades químicas, físicas y biológicas, se realiza a continuación la discusión general de los resultados obtenidos, de manera que se aborde de forma integral la estrecha relación que existe entre las propiedades edáficas.

Tabla 2. Valores promedios de las variables físicas, químicas y biológicas de suelos Pardos Sialíticos con diferentes manejos, en el municipio de Cienfuegos, Cuba

Manejo	Indicadores estudiados						
	pH H ₂ O	MO (g kg ⁻¹)	SCC (cmolc kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	RCO (mg ha ⁻¹)	PT (%)	H (%)
Bosque	8.12a	37.5a	39.82b	28.52c	61.13a	50.10a	39.05c
Pasto	7.77b	27.6b	53.79a	30.88b	46.10b	37.10b	59.04a
Cultivo continuado	7.25b	25.5c	35.91c	33.74a	43.07c	33.55c	46.05b
ESx	0.06*	0.09*	0.01*	0.01*	0.03*	0.15*	0.017*
Manejo	Ies	Kes (%)	Keh (%)	Da (mg m ⁻³)	Dr (mg m ⁻³)	RB (mg CO ₂ 100 g ⁻¹)	NI
Bosque	0.61b	0.71b	0.52b	1.28a	2.67ns	65.2a	60.0a
Pasto	0.82a	0.66c	1.58a	1.65b	2.65ns	32.4b	38.6b
Cultivo continuado	0.40c	1.14a	0.27c	1.74c	2.54ns	14.5c	37.0b
ESx	0.009*	0.007*	0.010*	0.012*	0.02ns	0.11*	0.01*

Medias con letras distintas en la misma columna difieren entre sí, según prueba de Tukey ($p < 0.05$). MO (materia orgánica); SCC (suma de cationes cambiabiles); P(fósforo); RCO (reserva de carbono orgánico); PT (porosidad total); H (humedad); Ies (índice de estabilidad estructural); Keh (estabilidad estructural en húmedo); Kes (estabilidad estructural en seco); da (densidad aparente); Dr (densidad real); RB (respiración basal); y NI (número de insectos). Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Número de componentes principales a partir de criterios de autovalor y porcentaje

Número de componentes	Valores	Varianza (%)	Porcentaje acumulado
1	8.61382	66.260	66.260
2	4.38618	33.740	100.000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Ubicación de las propiedades edáficas

Indicadores	Componente 1	Componente 2
pH	0.338688	-0.0521128
Materia orgánica (MO)	0.340165	-0.0273209
Fósforo (P)	-0.319623	-0.16542
Suma de cationes cambiabiles (SCC)	-0.306548	0.475545
Reserva de carbono orgánico (RCO)	0.339958	-0.0319922
Porosidad total (PT)	0.340661	-0.00918339
Humedad (H)	-0.206627	0.379661
Índice de estabilidad estructural (Ies)	0.0769396	0.465149
Estabilidad estructural en seco (Kes)	-0.205966	-0.380366
Estabilidad estructural en húmedo (Keh)	-0.0400503	0.474172
Densidad aparente (Da)	-0.340497	0.0174043
Respiración basal (RB)	0.337767	0.0627639
Número de insectos (NI)	0.334952	-0.0875092

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Valores del ICS Pardo Sialítico bajo diferentes sistemas de manejo agrícola

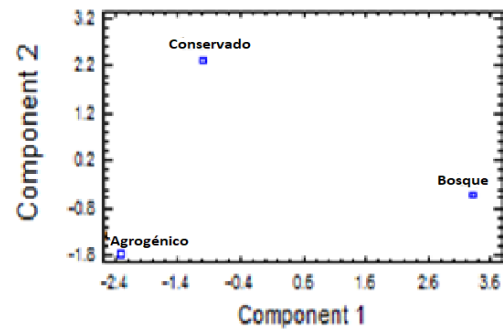
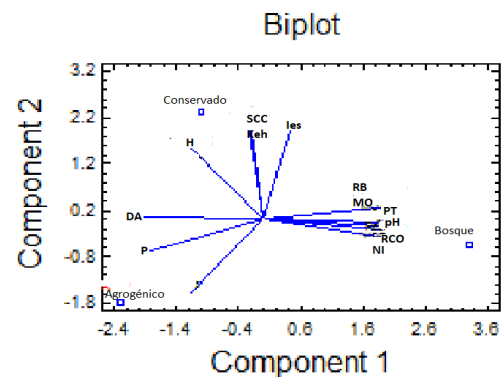
Manejo	ICS
Bosque	0.90
Conservado	0.88
Agrogénico	0.63

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Un efecto significativo del manejo agrícola se aprecia sobre las propiedades químico-físicas y biológicas, lo cual permite reconocer que los indicadores seleccionados explican apropiadamente su variabilidad total y exponen las diferencias entre los manejos estudiados.

El resultado obtenido, en cuanto a la Dr, se relaciona con el volumen real ocupado por las partículas y la masa del material sólido seco, de lo cual se infiere que esta es una propiedad inherente al

**Figura 2.** Análisis gráfico del comportamiento de los agroecosistemas según el manejo. Fuente: elaboración propia.**Figura 3.** Agrupamiento de los indicadores edáficos según el manejo del suelo. Fuente: elaboración propia.

tipo de suelo, donde las partículas se asocian según su tamaño y se agregan estructuralmente formando una masa estable que tipifica el tipo de suelo condicionado por el desarrollo geológico y evolutivo (Hernández, 2021).

En suelos pardos agrogénicos con diferentes manejos, Socarrás *et al.* (2019) obtuvieron resultados similares a los de esta investigación, en la cual la suma de bases cambiabiles es alta en la parte superior del perfil de pasto y cultivos, y muy alta en el horizonte superior del perfil de bosque, por su parte, el contenido de materia orgánica fue mayor en el perfil de bosque en los horizontes superiores. Estudios realizados por Vallejo *et al.* (2020) demostraron cómo incide el número mínimo de datos en la información certera sobre la fertilidad de un suelo; esto, a su vez, contribuye a alertar sobre la calidad edáfica y, con base en ello, adoptar las medidas correspondientes.

Vargas *et al.* (2023), al comparar diferentes tipos de hojarascas (encino y pino) demostraron que aportan cantidades considerables al suelo, con una media de 8475 mg ha⁻¹. Resultado similar fue obtenido por Contreras *et al.* (2023), quienes demostraron que la presencia de árboles en los sistemas agrícolas mejora la calidad del suelo, lo que conlleva la captura de carbono en más de 19 %. En suelos ferralíticos rojos lixiviados de Cuba, se establecieron los cambios en el

CO bajo diferentes coberturas (arboledas, pastizales y áreas de cultivo); con ello se determinó mayor contenido en las arboledas, seguidas de los pastizales y las más bajas se registraron en las áreas de cultivo continuado (Hernández *et al.*, 2017).

Por otra parte, Núñez *et al.* (2023) destacan que entre los factores que influyen en la respiración del suelo se encuentran, entre otros, la estructura, la porosidad, la disponibilidad de oxígeno, los sistemas agrícolas en particular, el manejo, el tipo de cultivo y la composición bioquímica de los residuos de cultivo que ingresan en el suelo. Asimismo, el pH es una de las propiedades más importantes para determinar la calidad edáfica, a partir de su influencia en la disponibilidad de nutrientes, en las reacciones químicas del suelo y en la actividad de los microorganismos (Vallejo *et al.*, 2020).

En este estudio se demostró que el periodo de descanso en los pastizales contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo a través del reciclaje de nutrientes y la fijación de nitrógeno realizada por algunas especies; así como a la regulación del balance hídrico al conservar agua y reducir la evaporación; y también contribuye a la fijación de CO₂ (Roca *et al.*, 2023). Además, los periodos largos de barbechos con pastos hacen que las raíces de estas especies mejoren algunas propiedades del suelo, ya sea como cobertura vegetal o por defoliación a causa del pastoreo, lo que hace que el carbono se incorpore al suelo incrementando la materia orgánica; ello contribuye a una mejor calidad del suelo.

El sistema de cultivo continuado demuestra un efecto perjudicial del manejo agrícola en las propiedades que fueron evaluadas. La preparación intensiva del suelo y su cultivo intensivo durante un periodo largo pueden provocar el deterioro de la fertilidad del suelo. La no aplicación de prácticas agroecológicas, como el uso de los residuos de las cosechas, el intercalamiento de cultivos, las barreras vivas o muertas, entre otras, podría provocar la degradación del recurso suelo.

Un estudio realizado en suelo Pardo bajo diferentes manejos demostró que la humedad del suelo presenta los valores mayores en las profundidades de 0-13 cm en el suelo de bosque, de 18-42 cm en el suelo cultivado y de 25-45 cm en suelo de pasto. En el perfil de suelo bajo bosque la porosidad total fluctuó entre satisfactorio a excelente con 57 % de poros, mientras los perfiles bajo pastos y cultivo continuado mostraron valores muy bajos, además, se originaron alteraciones en la densidad aparente y real, la porosidad y en la estabilidad estructural (Socarrás *et al.*, 2022).

Por otra parte, las propiedades bioquímicas y biológicas del suelo se modifican rápidamente, por ello constituyen un llamado de alerta frente su degradación agroproductiva (Zhijun *et al.*, 2018). Este criterio se vio reflejado en las modificaciones

de las propiedades del suelo conservado con respecto al cultivo continuado, donde la presencia de microorganismos en el suelo fue baja. Así mismo, la presencia de insectos es también un indicador del estado de salud de un suelo, ya que su población depende de la disponibilidad de recursos nutricionales para su supervivencia.

Resultados obtenidos por Dagatti *et al.* (2024), al evaluar el impacto de 2 sistemas de producción (convencional y agroecológico) sobre la comunidad de insectos, colémbolos y arañas, demuestran que en el sistema agroecológico existe una distribución más equitativa en los distintos grupos funcionales. La disminución de la presencia de insectos en el sistema agrogénico pudiera deberse a la aplicación de fertilizantes minerales, el uso de plaguicidas y herbicidas que han tenido lugar por largos periodos, lo cual ha podido influir en pérdida de la vida microbiana del suelo.

Sobre este tema, estudios realizados por Cabrera *et al.* (2022) consideraron que la macrofauna edáfica agrupa los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro, las termitas y las hormigas; estos tienen la función de actuar como ingenieros del suelo al incidir en la formación de poros, la humificación y mineralización de la materia orgánica, y la infiltración del agua. Lo anterior se corrobora en observaciones realizadas durante los muestreos, en las que se hallaron ejemplares de la macrofauna, tales como detritívoros, depredadores, herbívoros e ingenieros del suelo, que fueron muy escasos en el suelo agrogénico (menos del 20 % de individuos).

Un importante atributo asociado a los procesos microbiológicos lo constituye la respiración basal, la cual está relacionada con la transformación de la MO, el secuestro de carbono y la disponibilidad de nutrientes (Acosta *et al.*, 2024). De esta manera, los resultados descritos en esta investigación corroboran el criterio de mejor funcionamiento biológico del suelo en aquel sistema que se mantiene en equilibrio (bosque) y donde el ser humano no ha intervenido con acciones que han conllevado procesos de degradación progresiva (agrogénico).

Estudios realizados por Somoza y Vázquez (2023) evidenciaron que la agriculturización resulta un motor clave en el deterioro de la capacidad del suelo para mantener la provisión de servicios ecosistémicos asociados. Por otra parte, investigaciones realizadas por García *et al.* (2024) demostraron que la densidad aparente, el pH (KCl), el contenido de materia orgánica, el carbono orgánico total, el nitrógeno mineral y los grupos microbianos (bacterias, hongos y actinomicetos) resultaron indicadores de calidad para la evaluación de los suelos.

Los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan por sí solos la calidad edáfica; en contraste, varios estudios concuerdan en que la MO constituye el principal indicador de la degradación

de un suelo (Ojeda *et al.*, 2018). Los resultados de este estudio indican que los valores del ICS fueron superiores en el sistema bajo bosque de más de 50 años y fue inferior para el sistema donde el factor humano incidió con sus prácticas inadecuadas (agrogénico). Por otra parte, al ser este sistema muy dependiente de insumos químicos (fertilizantes, plaguicidas y herbicidas) así como del uso de maquinaria agrícola, se produce un impacto negativo en la calidad del suelo.

Un resultado intermedio se obtuvo para el sistema conservado (pastizal), el cual está más próximo al estado de calidad ideal (bosque), lo que podría estar relacionado con el periodo de barbecho, lo cual favorece el descanso del suelo y, con ello, su recuperación. Investigaciones realizadas para evaluar el efecto de la presencia o no del marabú (*Dichrostachys cinerea* L.) en suelos pardos sialíticos degradados, demostraron que el suelo cubierto con esta especie mejora sus indicadores químicos, físicos y biológicos (Rutigliano *et al.*, 2023).

Los ICS mostraron que existen indicadores capaces de reflejar los cambios ocasionados por las prácticas de manejo en este tipo de suelo, entre ellos, la materia orgánica (MO) y la respiración basal (RB), esta última considerada como un indicador directo de la actividad microbiana e indirecta de los contenidos de MO del suelo. Por tanto, se hace necesaria la implementación de prácticas de conservación de suelos como el uso de plantas de coberturas, el empleo de abonos orgánicos, la rotación e intercalamiento de cultivos, la mínima o cero labranza, las cuales, en su conjunto, contribuyen a mejorar y mantener la calidad agroproductiva del suelo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron demostrar la degradación de los suelos agrogénicos, ya que alcanzaron un bajo índice de calidad, el cual, en contraste, es alto bajo las condiciones de bosque, lo que evidencia el efecto de las inadecuadas prácticas agrícolas sobre el suelo. Las variables edáficas como materia orgánica, respiración basal, pH, reserva de carbono orgánico y presencia de insectos resultaron buenos indicadores para evaluar la calidad del suelo y permitieron detectar los cambios producidos en los diferentes sistemas de manejo a partir de la transformación que sufren de bosque>conservado>cultivo continuado.

Referencias

- Acosta, L. L.; Salcedo, E.; Benedicto, G. S.; Gallardo, J. F.; Zamora, J. F. y Casas, J. (2024). Bagazo y composta de bagazo de agave tequilero en suelos contrastantes: 3. Respiración del suelo y emisiones de gases efecto invernadero. *Biotecnica*, 26, 222-232. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v26.2178>
- Amorin, S. H.; Ashworth, J. A.; Wiemhold, J. B.; Savin, M.; Allen, F.; Saxton, A.; Owens, P. y Curi, N. (2020). Soil quality indices based on long-term conservation cropping system management. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), e20036. <https://doi.org/10.1002/agg2.20036>
- Anderson, J. M. e Ingram, J. S. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. 2º Ed. CAB International. http://www.researchgate.net/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods
- Bernal, A. F. y Hernández, A. J. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*, 2017, 38(4), 50-57. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr10417.pdf>
- Cabrera, G. C.; Sánchez, J. A y Ponce de León, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21. <https://cu-id.com/2402/v221e01>
- Contreras, J. L.; Martínez, J.; Rodríguez, J. L.; Barragán, W.; Garrido, J. y Falla, C. K. (2023). Índice de calidad del suelo bajo sistemas agropecuarios en el bosque seco tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-18. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694>
- Cruz, G.; Guerra, E. A.; Valderrábano, J. M. y Campo, J. (2020). Indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la Reserva de la Biosfera los Volcanes, México. *Terra Latinoamericana*, 38, 781-793. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>
- Dagatti, C. V.; Fernández, C. F.; González, M. F.; Mazzitelli, M. E.; Marcucci, B.; Solís, S. E.; Bonfanti, S. y Uliarte, E. M. (2024). Diversidad de insectos, colémbolos y arañas en viñedos bajo diferentes sistemas de producción, convencional y agroecológico, en Mendoza, Argentina. *Ecología Austral*, 34(1), 141-158. <https://doi.org/10.25260/EA.24.34.1.0.2272>
- Echeverría, E. G.; Castañeda, E.; Robles, C.; Martínez, V.; Santiago, G. M. y Rodríguez, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 49-67. <https://doi.org/10.60158/rma.v10i1.376>
- García, C.; Martínez, F.; Rivero, B.; Morales, A. N.; Dueña, G.; Carabaloso, A.; Oliva, D. y Oliva, D. (2024). Evaluación de indicadores de calidad de suelos en la finca "Los Olivas", provincia Matanzas. *Ingeniería Agrícola*, 14(2). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1860>
- Hernández, J. A. (2021). Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 42(3), e13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300013&lng=es&tlng=es
- Hernández, A.; Vargas, D.; Bojórquez, J. I.; García, J. D.; Madueño, A. y Morales, M. (2017). Carbon losses and soil property changes in Ferralic Nitisols from Cuba under different coverages. *Scientia Agrícola*, 74(4), 311-316. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0117>
- Núñez, P. J. L., Pérez, N. J., & Prado, H. J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(6), e3148. Epub 30 de octubre de 2023. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Ojeda, L. J.; Machado, Y.; Bernal, Y.; Hernández, M. E.; Font, L.; Hernández, C. y Casanovas, E. (2018). Índice de calidad del suelo en la Empresa Pecuaria El Tablón (Cienfuegos, Cuba). *Pastos y Forrajes*, 41(1), 13-20. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000100002

- Paneque, M.; Calaña, M. J.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, C. T. y Caruncho, M. (2002). *Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas - INCA. [manual-de-tecnicas-analiticas-para-el-analisis-de-las-aguas-residuales-5df2a1876ce26 \(xdoc.mx\)](#)
- Roca, J. A.; Vera, J. C.; Coveña, F. A. y Rivadeneira, R. T. (2023). Revisión bibliográfica de la arborización en sistemas de pastoreo racional sobre efecto del estrés calórico en vacas. *Maestro y Sociedad*, 20(4), 959-966. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6179>
- Rodríguez, I.; González, F.; Reyes, N. y Betancourt, I. (2023). Principales problemas ambientales en la finca La Victoria del municipio Guisa, Granma, Cuba. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 1(02). <https://www.cct-uleam.info/index.php/chone-ciencia-y-tecnologia/article/view/62>
- Rutigliano, F. A.; Marzaioli, R.; Grilli, E.; Coppola, E. y Castaldi, S. (2023). Microbial, physical and chemical indicators together reveal soil health changes related to land cover types in the southern European sites under desertification risk. *Pedobiología*, 99-100, 150894. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2023.150894>
- Socarrás, Y.; Hernández, A.; Terry, E.; González, P. J.; Sánchez, Á. L. y Delgado, O. (2019). Changes in the morphological properties of sialitic Brown soils subjected to different agricultural management in Cuba. *Idesia (Arica)*, 37(3), 47-53. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000300047>
- Socarrás, Y.; Olivera, D.; Terry, E.; Hernández, A.; Bernal, A. y González, P., J. (2022). Efectos de diferentes sistemas de manejo sobre las propiedades físicas de un Cambisol tropical, Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 565-571. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2667>
- Somoza, A. y Vázquez, P. (2023). Variación espacio temporal del stock de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 476-513. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.18>
- Vargas, B.; Amezcua, M.; López, J. O.; Cueto, J. A.; Cruz, F.; Nájera, J. A. y Aguirre, C. G. (2023). Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México. *Botanical Sciences*, 101(1), 90-101. <https://doi.org/10.17129/botsci.3094>
- Vallejo, Q. V. E., Afanador, B. L. N., Coca, P. D. A., Vargas, G. A. F., Bautista, M. M. F., y Mendoza, H. A. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia forestal*, 23(1), 35-50. <https://doi.org/10.14483/2256201X.14856>
- Zhijun, H.; Selvalakshmi, S.; Vasu, D.; Liu, Q.; Cheng, H.; Guo, F. y Ma, X. (2018). Identification of indicators for evaluating and monitoring the effects of Chinese fir monoculture plantations on soil quality. *Ecological Indicators*, 93, 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.034>



Acta Agronómica



Revista Acta Agronómica

Página web: http://bit.ly/Acta_Agronomica_UNpal
ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118
actagronomica_pal@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
www.palmira.unal.edu.co

Carrera 32 # 12-00, Edificio posgrados, 2^{do} piso
57 (2) 286 8888 Ext.: 35190
Palmira, Valle del Cauca, Colombia, Suramérica