

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

 **LA TÉCNICA**  
Revista de las Agrociencias



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
MANABÍ  
Fundada en 1952

**15**  
VOLUMEN  
Núm. 2



JULIO - DICIEMBRE 2025

ECUADOR

## Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Rector**

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Vicerrectora Académica**

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Director del Instituto de Investigación**

## Equipo editorial

 Joan Manuel Rodríguez Díaz, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Director de la revista**

 Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*


**Editora General**

## Editores de sección

 Ana María Santana Piñeros, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Acuicultura y pesca**

 Liudmila Shkiliova, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Agricultura y silvicultura**

 Juan Carlos Vélez Chica, MSc.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Agroeconomía**

 Wagner Antonio Gorozabel Muñoz, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Agroindustria**

 Mirna Cecilia Oviedo, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Ciencias de la vida**

 Yulien Fernández Romay, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Producción y salud animal**

 Henry Pacheco, PhD.

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

**Protección del ambiente**



## Cuerpo editorial

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

## Consejo editorial

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

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

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

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

## Equipo Técnico

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

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

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

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

# ÍNDICE

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Evaluación sanitaria de *Apis mellifera* africanizada en la provincia de Pastaza**

*Health evaluation of Africanized *Apis mellifera* in the province of Pastaza*

*Jaime Andrés Chamba Tivan Chamba Tivan, Danilo-Reni Vinocunga-Pillajo*

75-84

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **La vinaza como bioherbicida y biofertilizante: una alternativa sostenible para la agricultura ecológica**

*Vinasse as a bioherbicide and biofertilizer: a sustainable alternative for organic farming*

*Washington Guzmán Paredes, Ever Darío Morales Avendaño*

85-96

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Importancia de la interpretación conjunta del coeficiente de variación y de determinación en ensayos agrícolas: Un estudio de caso con rendimiento de frijol**

*Importance of joint interpretation of the coefficient of variation and determination in agricultural trials: A case study with bean yield*

*Freddy Carlos Gaviláñez Luna*

97-102

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Propagación regional y perspectivas filogenéticas sobre la transmisión del virus de la rabia en el ganado bovino del sur de Ecuador**

*Regional spread and phylogenetic perspectives on rabies virus transmission in cattle in southern Ecuador*

*Jorge Rodrigo Espinoza Samaniego, Edilberto Chacón Marcheco, Luis Alfredo Mena Miño, Rubén Alexander Maldonado Orbe*

103-111

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Valoración de residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes autóctonos en la obtención de compost**

*Assessment of organic agricultural waste and efficient native microorganisms in obtaining compost*

*Jesús Eduardo Vázquez Quirumbay, Ángel Monserrate Guzmán Cedeño*

112-124

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Caracterización agro socio productiva de los usuarios del sistema de riego Maconta Abajo, Manabí, Ecuador**

Caracterización agro socio productiva de los usuarios del sistema de riego Maconta Abajo, Manabí, Ecuador

*Yaser Galarza Alava, Cristian Valdivieso López, Saskia Guillen Mendoza, Lenin Vera Montenegro, Leonardo Vera Macías*

125-133

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Efecto sobre el desarrollo agronómico del plátano Dominico Hartón sometido a condiciones de sequía e inundación**

Effects on the agronomic development of the Dominico Hartón plantain under drought and flood conditions

*María José Loor Quijije, Leridy Mercedes Sabando Loor, Cristian Sergio Valdivieso Lopez, Myrian Elizabeth Herrera Centeno, Javier Alejandro Miguashca Guzmán, José Luis Rivadeneira García, Carlos Alberto Molina Hidrovo, Jim Raphael Ochoa Ramos*

134-145

## AGRICULTURA Y SILVICULTURA

### **Morfometría de órganos digestivos en gallinas criollas (Gallus domesticus)**

Morphometry of digestive organs in Creole hens (Gallus domesticus)

*María Teresa Cedeño Loor, Paula Leonela Macías Moreira, Vicente Alejandro Intriago Muñoz*

146-154





## Evaluación sanitaria de *Apis mellifera* africanizada en la provincia de Pastaza

### Health evaluation of Africanized *Apis mellifera* in the province of Pastaza

#### Autores

<sup>1</sup>Jaime Andrés Chamba Tivan   
✉ agi2017107@uea.edu.ec

<sup>1</sup>Danilo-Reni Vinocunga-Pillajo   
✉ danilovinocunga@gmail.com

<sup>1</sup>Universidad Estatal Amazónica, El Puyo, Pastaza, Ecuador.

**Citación sugerida:** Chamba Tivan, J. A., Vinocunga-Pillajo, D. R. (2025). Evaluación sanitaria de *Apis mellifera* africanizada en la provincia de Pastaza. *La Técnica*, 15(2), 75-84. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7137>.

Recibido: Diciembre 20, 2024

Aceptado: Mayo 22, 2025

Publicado: Julio 01, 2025

#### Resumen

Aproximadamente el 35% de todos los alimentos producidos depende de la polinización biológica y el 90% de esta polinización involucra a *Apis mellifera*. Esta especie es vital para la polinización agrícola, pero enfrenta amenazas como plagas, enfermedades y cambio climático que han aumentado la mortalidad de colonias. El objetivo del trabajo fue realizar una evaluación sanitaria de la *A. mellifera* en la provincia de Pastaza. El enfoque metodológico fue observacional y descriptivo empleando muestreo estratificado en colmenas activas para evaluar la presencia de enfermedades como loque americana y europea, y el ácaro *Varroa destructor*. Para *V. destructor*, se utilizó la “prueba de frasco” y cultivos bacteriológicos para las loques. Los resultados revelaron que no se detectaron casos de loque americano ni europeo en las colmenas, mostrando que las condiciones ambientales en Pastaza podrían ser menos favorables para estos patógenos. Sin embargo, la prevalencia de *V. destructor* fue significativa afectando al 34,21% de las colmenas evaluadas con algunas superando el umbral crítico del 5% de infestación, lo que representa un riesgo considerable para la salud de las colonias. Estos resultados muestran la necesidad urgente de implementar estrategias de manejo apícola integradas para controlar la infestación por *V. destructor* y prevenir el colapso de las colonias. En conclusión, la ausencia de loques es un hallazgo positivo, la alta prevalencia de *V. destructor* evidencia la importancia de mejorar las prácticas de manejo apícola en Pastaza para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la apicultura en la región.

**Palabras clave:** apicultura, enfermedades, infestación, polinización, sostenibilidad.

#### Abstract

Approximately 35% of all food produced depends on biological pollination and 90% of this pollination involves *Apis mellifera*. This species is vital for agricultural pollination, but faces threats such as pests, diseases and climate change that have increased colony mortality. The objective of the work was to carry out a sanitary assessment of *A. mellifera* in the province of Pastaza. The methodological approach was observational and descriptive using stratified sampling in active hives to evaluate the presence of diseases such as american and european foulbrood, and the *Varroa destructor* mite. For *V. destructor*, the “jar test” and bacteriological cultures for the foulbrood were used. The results revealed that no cases of american or european foulbrood were detected in the hives, showing that environmental conditions in Pastaza could be less favorable for these pathogens. However, the prevalence of *V. destructor* was significant, affecting 34.21% of the evaluated hives, with some exceeding the critical threshold of 5% infestation, which represents a considerable risk to the health of the colonies. These results show the urgent need to implement integrated beekeeping management strategies to control *V. destructor* infestation and prevent colony collapse. In conclusion, the absence of foulbrood is a positive finding, and the high prevalence of *V. destructor* shows the importance of improving beekeeping management practices in Pastaza to ensure the long-term sustainability of beekeeping in the region.

**Keywords:** beekeeping, diseases, infestation, pollination, sustainability.



## Introducción

A nivel mundial la abeja melífera *Apis mellifera* es el principal polinizador en la agricultura (Requier et al., 2019). Aproximadamente el 35% de todos los alimentos producidos depende de la polinización biológica y el 90% de esta polinización involucra a *A. mellifera* (Chagas et al., 2019). Además, la contribución económica de los polinizadores asciende a aproximadamente el 30% del ingreso agrícola anual total de los cultivos dependientes, lo que equivale a casi 12 mil millones de dólares estadounidenses de un total de casi 45 mil millones de dólares estadounidenses (Giannini et al., 2015). Según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) el estado de Rio Grande do Sul (RS) ubicado en el sur de Brasil produjo 6,42 mil toneladas de miel en 2018 (Marcolin et al., 2021). En Ecuador, la productividad apícola alcanza un promedio de 10,2 kilogramos de miel por colmena al año. Además, en las provincias de Tungurahua y Chimborazo, los productores experimentados logran una media de 25,08 kilogramos por colmena (Masaquiza-Moposita et al., 2023). En la región Amazónica en Pastaza la producción de miel está en crecimiento, aunque no se dispone de datos exactos sobre su volumen actual

En los últimos años la mortalidad de colonias de *A. mellifera* ha aumentado afectando sus poblaciones silvestres y plantas esenciales para los ecosistemas principalmente por plagas, cambio climático, degradación del hábitat, agroquímicos y problemas nutricionales (Akongte et al., 2023). Además, enfrentan patógenos como virus, parásitos, bacterias, virus, hongos y falta de alimentos de calidad. La principal amenaza para las colonias de abejas es el trastorno del colapso de colonias (CCD), agravado por un manejo deficiente que propicia infestaciones de *Varroa destructor*, junto con enfermedades como el loque americano ocasionada por *Paenibacillus larvae* y el loque europea producida por *Melissococcus plutonius* (Osterman et al., 2021). Estos patógenos se transmiten fácilmente debido al comportamiento social de las abejas que viven en grandes colonias acortando su vida o provocando el colapso gradual de la colonia (Nekoei et al., 2023). La transmisión puede ser vertical de reina a descendencia u horizontal mediante contacto entre abejas y trofalaxis, que acelera la transmisión de enfermedades (Hernández-Fuentes et al., 2021).

La evaluación sanitaria de *A. mellifera* africanizada en la provincia de Pastaza es esencial debido a su papel crítico en las relaciones planta-polinizador impulsando la biodiversidad en la tierra. La sanidad en las abejas es crucial para prevenir la pérdida de colonias por enfermedades y parásitos como *V. destructor*, asegurando así la productividad. Actualmente, no existen programas de cría en la región que promuevan la resistencia a

parásitos, lo cual es esencial para mantener colonias saludables y minimizar la dependencia de tratamientos químicos. Por tanto, la implementación de métodos de selección para características de resistencia es necesaria (Büchler et al., 2020). La salud reproductiva de las reinas y la viabilidad de los zánganos se vieron afectadas por factores ambientales y condiciones internas de la colmena, aspecto que puso de relieve la necesidad de comprender y mitigar estos factores para asegurar la estabilidad y productividad de las colonias (Rangel y Fisher, 2019).

El control del ácaro *Varroa* se abordó a través de una combinación de métodos mecánicos, químicos y biológicos. Autores como Jack y Ellis (2021) describieron tres métodos mecánicos, primero, la eliminación del zángano que implicó retirar los panales de cría antes de que emergieran para reducir la población de ácaros. Segundo método con tablas inferiores perforadas, que permiten que los ácaros caigan al suelo y previenen su reinfestación. Por último, la técnica de espolvoreo con azúcar en polvo que estimula el acicalado de las abejas haciendo que los ácaros caigan al fondo de la colmena. Estos métodos, aunque efectivos deben combinarse con otros para lograr un control integral.

En el ámbito químico, Devi et al. (2019) señalaron el uso de ácidos suaves, como el fórmico, que es eficaz contra los ácaros en reproducción al penetrar las celdas de cera, y el oxálico, útil en periodos sin cría, aunque no penetra celdas selladas. El uso de aceites esenciales, especialmente el aceite de tomillo, también es popular, aunque su eficacia es variable y a menudo necesita ser complementada con otros tratamientos (Warner et al., 2024). Por último, Reinbacher et al. (2018) destacaron los métodos biológicos, como el uso de hongos entomopatógenos, que han demostrado alta eficacia contra el ácaro, y depredadores naturales como los pseudoescorpiones, aunque estos últimos aún se encuentran en fase experimental.

En función de las premisas anteriores el objetivo fue realizar una evaluación sanitaria de *A. mellifera* en la provincia de Pastaza. Este análisis se centró en la identificación del nivel de infestación de *V. destructor* y la presencia de *P. larvae* y *M. plutonius* en la producción apícola de la región.

## Materiales y métodos

### Localización

La provincia de Pastaza ubicada en la región amazónica de Ecuador se extiende sobre 29.773 km<sup>2</sup>, con el Puyo como su capital. Caracterizada por un clima tropical húmedo, la temperatura promedio anual oscila entre 23 y 26 °C con precipitaciones que superan los 3.000 mm anualmente (Franco et al., 2024). Esta región rica en biodiversidad y vastos bosques tropicales ofrece condiciones ideales para la apicultura. El estudio se centró en la

provincia de Pastaza y sus alrededores evaluando las condiciones ambientales y su impacto en la sanidad (figura 1).

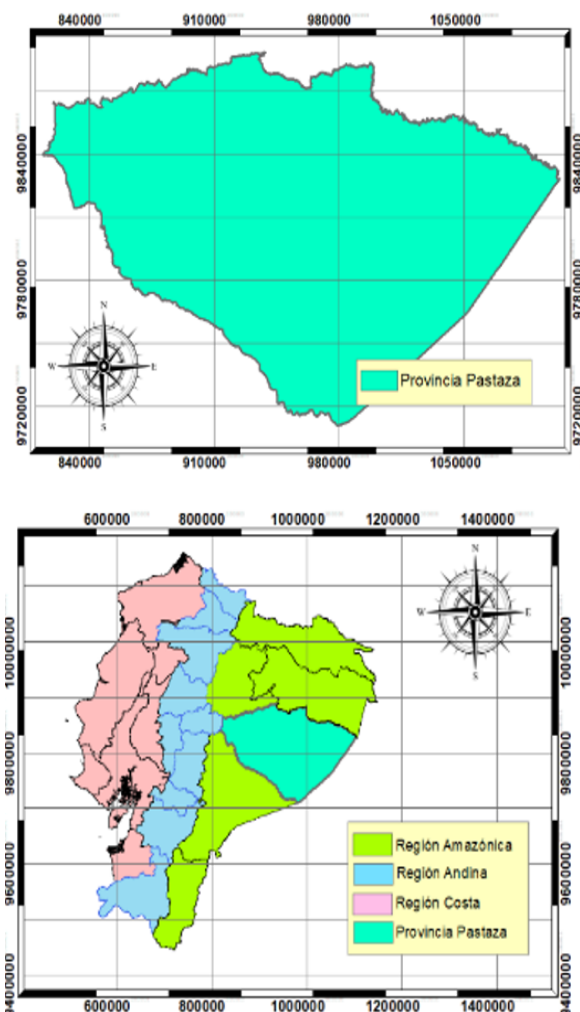


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

### Tipo de investigación

Este estudio empleó un diseño observacional y descriptivo, con un enfoque transversal no experimental, para evaluar la salud de las colonias de *A. mellifera* en Pastaza. Mediante el muestreo estratificado y la recolección de datos en un solo momento en el tiempo, allí se determinó la prevalencia de enfermedades y parásitos sin manipular directamente las variables. La investigación cuantitativa proporcionó medidas objetivas de la incidencia de patógenos y ectoparásitos en las colmenas.

### Métodos de muestreo

Para llevar a cabo el muestreo se utilizó una base de datos de colmenas de *A. mellifera* en la provincia de Pastaza la cual fue compilada a partir de registros oficiales y observaciones directas en el campo. Al iniciar la búsqueda de las colmenas se identificó que algunas no estaban activas lo que llevó a enfocar

la investigación únicamente en aquellas activas y relevantes para el estudio. Entre las colmenas seleccionadas se encontraron tanto las que estaban certificadas por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosario (AGROCALIDAD) como aquellas que, aunque no certificadas presentaban condiciones pertinentes para la evaluación sanitaria.

Estas colmenas ubicadas en las provincias de Pastaza y sus alrededores pertenecen a apicultores locales que mantienen colonias de *A. mellifera* proporcionando una visión más amplia sobre la prevalencia de enfermedades como la loque americano, la loque europeo y la infestación por *V. destructor*.

Para la evaluación de *V. destructor* se utilizó el método de la “prueba de frasco” propuesto por De Jong et al. (1982). Este método consistió en deslizar un frasco de boca ancha por debajo de los cuadros con cría recolectando aproximadamente 200 especímenes de abejas. Luego se añadió alcohol al 70% al frasco se cerró y se agitó durante 5 minutos. Posteriormente el contenido se vació en un sistema de doble tamiz, el tamiz superior retuvo las abejas mientras que el inferior captura los ácaros.

En el caso de encontrar sospechas, signos, síntomas que coincidieran con enfermedades de loque americano como: cría muerta con olor a pescado, se registró todos los signos que puedan crear sospecha mencionados por Alvarado et al. (2012), se utilizó métodos bacteriológicos estándar que incluyeron la recolección de larvas sospechosas en un medio de transporte estéril seguido de cultivos en medios específicos como el agar-sangre para la identificación de *P. larvae*, el agente causante de la enfermedad. La identificación se complementó con pruebas bioquímicas y serológicas para confirmar la presencia de la bacteria (Kušar et al., 2021).

En el caso del loque europeo se empleó un procedimiento similar recolectando muestras de larvas sospechosas en las colmenas afectadas. Estas muestras se cultivaron en agar-sangre para identificar la presencia de *M. plutonius*, el agente etiológico. Al igual que con el loque americano se realizaron pruebas bioquímicas y moleculares para asegurar la identificación precisa del patógeno (Grossar et al., 2023).

### Toma de muestras

Para la recolección de muestras según el procedimiento de De Jong et al. (1982) se capturaron aproximadamente 200 abejas por muestra enfocándose en los cuadros centrales que contienen cría abierta. Estos cuadros fueron particularmente importantes porque fue donde se desarrollaron la mayoría de los ectoparásitos como *V. destructor* y bacterias que producen el loque americano y europeo. Además, en esta zona las abejas nodrizas fueron más vulnerables a las infestaciones debido a la crianza de las crías de la especie.

Para el caso de loque americano y loque europeo no se realizó ningún muestreo considerando que las colmenas no presentaron signos y síntomas compatibles con las enfermedades según Alvarado et al. (2012).

El proceso de muestreo comenzó con la identificación y numeración de las colmenas mediante etiquetas visibles, registrando la ubicación, el número de la colmena y la muestra correspondiente para cada una. Además, se tomó una muestra significativa en ubicación de las colmenas como se muestra en la tabla 1. Esta información fue crucial para garantizar un seguimiento adecuado de las muestras durante el análisis.

**Tabla 1.** Zonas de estudio de las colmenas.

Apicultor	Número de colmenas	Muestras	Ubicación
1	10	6	Unión Base
2	1	1	Vía Puyo-Tena km 102
3	30	17	Madre Tierra. Shell.
4	6	6	Tarqui. Madre Tierra.
5	4	3	Tarqui.
6	6	5	Madre Tierra. Shell.

Para calmar a las abejas se utilizó un ahumador aplicando humo en la entrada de la colmena durante unos 2 minutos (figura 2). Seguidamente se retiró la tapa de la colmena utilizando una palanca tipo J aplicando más humo para minimizar la salida de las abejas. Luego se utilizó una pinza alza cuadros para retirar un marco de una de las esquinas facilitando así la extracción de los cuadros centrales. Con los cuadros centrales identificados se extrajeron uno a uno colocándolos en posición vertical. Un frasco de boca ancha se deslizó suavemente desde la parte superior hasta la inferior del cuadro asegurando la captura de las abejas en su interior. Este procedimiento se repitió en ambos lados de cada cuadro y se realizó de manera similar en los cuatro cuadros restantes



**Figura 2.** Recolección de las muestras en el lugar de estudio.

### Procesamiento de muestras

El procesamiento de las muestras recolectadas se llevó a cabo utilizando el sistema de doble tamiz. En primer lugar, cada frasco

que contenía las abejas junto con posibles ectoparásitos y agentes patógenos como *V. destructor* y los agentes causantes de loque americano y loque europeo, fue destapado y su contenido se vació cuidadosamente en los tamices. Para asegurar que todos los ectoparásitos y bacterias se desprendieran de las abejas se añadió alcohol al 70% sobre las abejas en los tamices varias veces.

El tamiz superior retuvo a las abejas mientras que el tamiz más fino ubicado en la parte inferior capturó los ectoparásitos y otros patógenos. Estos parásitos y bacterias fueron luego transferidos a frascos separados cada uno debidamente etiquetado para identificar la colmena y la ubicación de origen. Posteriormente, se utilizó una lupa para realizar una visualización preliminar de los ectoparásitos y se realizaron cultivos bacteriológicos para identificar *P. larvae* (loque americano) y *M. plutonius* (loque europeo).

Todo el proceso se realizó siguiendo estrictas medidas de seguridad como el uso de guantes y en un ambiente limpio y desinfectado. Una vez separados, identificados y etiquetados los ectoparásitos y bacterias se procedió a su análisis detallado.

Finalmente, se calculó el porcentaje de infestación de *Varroa* en abejas adultas (%IVA) de cada colmena seleccionada, se aplicó la fórmula de De Jong et al. (1982), la cual también puede utilizarse para calcular el porcentaje de infestación de otros parásitos. Un %IVA igual o superior al 5% se consideró positivo para Varroasis, mientras que un porcentaje menor al 5% se consideró negativo (Gregorc et al., 2018). Para finalizar este proceso, se calculó la prevalencia de las enfermedades provocadas por ectoparásitos diagnosticadas en los apiarios, utilizando la siguiente fórmula (2) (Vargas Hidalgo et al., 2024).

$$\%IVA = \left( \frac{\text{Número de ácaros}}{\text{Número de abejas en la muestra}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Promedio de infestacion por apicultor} = \left( \frac{\sum \%IVA}{\text{Número de colmenas}} \right) \quad (2)$$

## Resultados y discusión

### Loque americano en las colmenas en Pastaza

No se detectó la presencia de loque americano (*P. larvae*) en ninguna de las colmenas evaluadas en la provincia de Pastaza. Este hallazgo fue de suma importancia considerando que el loque americano es una de las enfermedades más devastadoras que pueden afectar a las colonias de *A. mellifera*.

Entre los motivos de la ausencia de loque americano se identifica en primer lugar la provincia de Pastaza caracterizada por su clima tropical húmedo y su gran biodiversidad ofrece un entorno menos propicio para la propagación de este patógeno en comparación con regiones más templadas. Las condiciones ambientales tales como la humedad alta y la abundancia de flora

diversa crean barreras naturales que limitan la proliferación de *P. larvae* (Wilhelm et al., 2023). Este entorno en contraste con las áreas donde el loque americano fue común, evidenció que los factores ecológicos incidieron en esta enfermedad.

Además, este resultado se alineó con estudios que mostraron cómo la incidencia del loque americano puede variar significativamente según la región y el clima. Autores como Rowland et al. (2021) demostraron que en áreas con climas más templados y con menor diversidad floral, como ciertas zonas de Europa y Norteamérica, la enfermedad fue más prevalente.

### Loque europeo en las colmenas en Pastaza

No se detectó la presencia de loque europeo (*M. plutonius*) en las colmenas evaluadas en la provincia de Pastaza. Esta enfermedad, aunque menos devastadora que el loque americano, también puede causar graves problemas en las colmenas cuando no se manejan adecuadamente, afectando principalmente a las larvas y causando su muerte antes de que puedan completar su desarrollo.

La ausencia de loque europeo en Pastaza estuvo relacionada con factores similares a los que influyeron en la ausencia de loque americano, como el clima tropical húmedo y la biodiversidad de la región. Estas condiciones pueden no ser favorables para la proliferación de *M. plutonius*, ya que esta bacteria tiende a desarrollarse mejor en climas más templados y en condiciones específicas de manejo apícola que no parecen prevalecer en Pastaza. Estudios han mostrado que la prevalencia de loque Europeo fue mayor en regiones con climas templados, donde las condiciones para el desarrollo de la enfermedad fueron más óptimas (Alburaki et al., 2024).

Además, la gestión sanitaria de las colmenas en la región podría estar contribuyendo a la prevención de esta enfermedad. Es posible que las prácticas de manejo implementadas por los apicultores en Pastaza, como la renovación regular de cuadros y la eliminación de material contaminado, estén ayudando a mantener la salud de las colmenas y prevenir la aparición de esta enfermedad.

### *Varroa destructor* en las colmenas en Pastaza

En las colmenas evaluadas del Apicultor 1, se observó que la colmena número 6 presentó una infestación por *V. destructor* del 7,33%, superando el umbral crítico del 5% lo que indicó un riesgo significativo para la salud de la colonia (tabla 2). Este nivel de infestación mostró que es necesaria una intervención urgente para evitar el deterioro de la colmena. Las demás colmenas mostraron niveles de infestación menores con porcentajes que van desde 0 hasta 4,17%, indicando que, aunque no requieren intervención inmediata deben ser monitoreadas de cerca. Estos resultados resaltaron la importancia de implementar estrategias de manejo apícola para controlar *V. destructor* ya que incluso

infestaciones bajas pueden tener efectos acumulativos negativos a largo plazo. Comparado con estudios globales se evidencia que el manejo adecuado de *V. destructor* fue fundamental para mantener la salud y productividad de las colmenas (Büchler et al., 2020).

**Tabla 2.** Infestación por *Varroa* en el apicultor 1.

Apicultor 1				
Número de colmena	Número de abejas analizadas	Número de parásitos	% de infestación	Infestación
1	284	9	3,16	No
2	160	3	1,87	No
3	106	2	1,88	No
4	407	17	4,17	No
5	106	0	0	No
6	300	22	7,33	Si

En la colmena evaluada del Apicultor 2, donde se analizaron 225 abejas, se identificó un solo parásito de *V. destructor* indicando un porcentaje de infestación extremadamente bajo de 0,44%. Este nivel de infestación fue insignificante y no representó un riesgo inmediato para la salud de la colmena. La ausencia de una infestación significativa fue indicativa de un manejo apícola efectivo o de condiciones ambientales que no favorecieron la proliferación del parásito. Comparado con los estándares generalmente aceptados, un nivel de infestación por debajo del 1% fue considerado seguro y no requiere intervención. Sin embargo, es importante continuar con el monitoreo regular para asegurar que este bajo nivel de infestación se mantuvo y no aumentó con el tiempo lo que podría comprometer la salud de la colmena si no se controla.

En las colmenas evaluadas del Apicultor 3 se observó una variabilidad significativa en los niveles de infestación por *V. destructor*. Las 17 colmenas analizadas presentaron un nivel de infestación superior al umbral crítico del 5%, lo que indicó un riesgo considerable para la salud de estas colonias. La colmena 2 con un 9,63% de infestación y la colmena 9 con un 8% estuvieron en particular peligro y requirieron intervenciones inmediatas (tabla 3).

Estudios han demostrado que niveles de infestación por encima del 5% pueden llevar a una disminución significativa en la población de abejas afectando su productividad y aumentando la susceptibilidad a otras enfermedades (Guichard et al., 2020).

Comparando estos resultados con otros estudios se valida la importancia de un manejo apícola adecuado y de la aplicación de tratamientos preventivos para mantener los niveles de infestación bajo control. El control efectivo de *V. destructor* fue esencial para mantener la salud y la viabilidad de las colmenas a largo plazo como sugirieron investigaciones recientes (Mondet et al., 2020).

**Tabla 3.** Infestación por *Varroa* en el Apicultor 3.

Apicultor 3				
Número de colmena	Número de abejas analizadas	Número de parásitos	% de infestación	Infestación
1	175	3	1,71	No
2	249	24	9,63	Si
3	155	10	6,45	Si
4	226	11	4,86	No
5	186	5	2,68	No
6	203	7	3,44	No
7	277	7	2,52	No
8	170	9	5,29	Si
9	250	20	8,00	Si
10	279	12	4,30	No
11	159	8	5,03	Si
12	216	13	6,01	Si
13	137	9	6,56	Si
14	187	12	6,41	Si
15	203	7	3,44	No
16	179	12	6,70	Si
17	286	7	2,44	No

En las colmenas del apicultor 4 se observó que todas presentaron niveles de infestación por *V. destructor* inferiores al umbral crítico del 5%, indicando un buen estado de salud en las colmenas. Con porcentajes de infestación que oscilaron entre 0 y 3,44%, no se identificaron riesgos inmediatos para las abejas, mostrando que las prácticas de manejo apícola estaban siendo efectivas para mantener bajo control la proliferación del parásito (tabla 4). Específicamente, dos colmenas mostraron un 0% de infestación, resultando una buena gestión en la prevención de *V. destructor*. La presencia de infestación mínima en otras colmenas, aunque no crítica, mostró la necesidad de continuar con el monitoreo regular para asegurar que estos niveles no aumentarían (DeGrandi-Hoffman et al., 2016).

**Tabla 4.** Infestación por *Varroa* en el apicultor 4.

Apicultor 4				
Número de colmena	Número de abejas analizadas	Numero de parásitos	% de infestación	Infestación
1	139	1	0,71	No
3	145	5	3,44	No

**Tabla 4.** Infestación por *Varroa* en el apicultor 4.

4	202	0	0,00	No
4	115	2	1,73	No
5	193	1	0,51	No
6	175	0	0,00	No

En las colmenas del Apicultor 5, se observaron dos colmenas con niveles de infestación críticos por *V. destructor*. La colmena 1 mostró un alto porcentaje de infestación del 10,06%, mientras que la colmena 3 tuvo un 5,30%, indicando una necesidad urgente de intervención para evitar la pérdida de las colonias. Estas cifras mostraron que el parásito afectó seriamente a estas colmenas poniendo en riesgo su viabilidad a largo plazo. Por otro lado, la colmena 2 presentó un nivel de infestación de 4,81% ligeramente por debajo del umbral crítico, aunque no necesitó intervención inmediata, debe ser monitoreada de cerca para prevenir un aumento en la infestación (tabla 5). Autores como Alburaki et al. (2024) destacaron la necesidad de estrategias de control efectivas para manejar *V. destructor* y asegurar la salud continua de las colmenas.

**Tabla 5.** Infestación por *Varroa* en el Apicultor 5.

Apicultor 5				
Número de colmena	Número de abejas analizadas	Número de parásitos	% de infestación	Infestación
1	159	16	10,06	Si
2	166	8	4,81	No
3	226	12	5,30	Si

En las colmenas evaluadas del Apicultor 6, se observó que solo una colmena presentó un nivel de infestación por *V. destructor* superior al umbral crítico del 5%, con un 6,66% de infestación, mostrando un riesgo significativo para la salud de esa colonia. Esta colmena requirió atención inmediata para prevenir el deterioro. Las demás colmenas presentaron niveles de infestación bajos con porcentajes que fueron desde 0,56 hasta 4,22%, mostrando las prácticas de manejo que fueron efectivas para mantener el parásito bajo control (tabla 6). Sin embargo, el caso de la colmena 4 indicó la importancia de un monitoreo continuo y de una intervención oportuna cuando se detectaron niveles de infestación peligrosos. Estos hallazgos coincidieron con estudios que destacaron la necesidad de mantener una vigilancia constante para evitar que las infestaciones suban por encima de los niveles críticos que pueden comprometer la viabilidad de las colmenas (Wagoner et al., 2019).

**Tabla 6.** Infestación por *Varroa* en el Apicultor 6.

Apicultor 6				
Número de colmena	Número de abejas analizadas	Número de parásitos	% de infestación	Infestación
1	142	6	4,22	No
3	176	1	0,56	No
4	90	6	6,66	Si
4	146	2	1,36	No
5	140	4	2,85	No

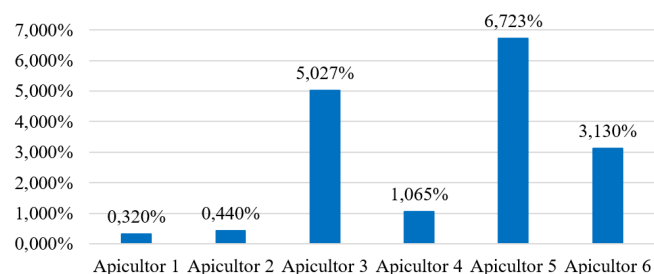
### Promedio de infestación por *Varroa destructor*

El promedio de infestación por *V. destructor* en las colmenas de los diferentes apicultores mostró una clara variabilidad que reflejó las diferencias en las prácticas de manejo y el entorno de cada apiario. En particular, el Apicultor 5 enfrentó una situación crítica con un promedio de infestación del 6,73%, indicando que una proporción significativa de sus colmenas estuvo seriamente afectada como se muestra en la figura 3. Este alto nivel de infestación fue un indicio de posibles deficiencias en el control del parásito y puso de manifiesto que las prácticas de manejo no están siendo suficientemente efectivas de acuerdo a lo señalado por Leclercq et al. (2018).

Comparativamente, los Apicultores 1 y 2, registraron promedios de infestación de 0,32% y 0,44%, respectivamente, se destacaron por un manejo apícola más controlado o por la ventaja de estar en un entorno menos propicio para la proliferación de *V. destructor*. Los bajos niveles de infestación en sus colmenas podrían estar relacionados con la implementación de técnicas preventivas más rigurosas como el monitoreo constante y la aplicación de tratamientos oportunos.

El Apicultor 3 con un promedio de infestación del 5,03% se encontró en una posición preocupante, ya que una parte considerable de sus colmenas estaba infestada. Este resultado indicó que, aunque ciertas prácticas de manejo pueden estar en marcha, no fueron lo suficientemente robustas para controlar la propagación del parásito en su apiario. El Apicultor 4 con un promedio de infestación de 1,06% presentó bajos niveles de infestación mostrando un manejo relativamente eficaz.

Finalmente, el Apicultor 6 con un promedio de infestación del 3,13% ha logrado mantener la infestación en niveles moderados, pero aún necesita mejorar sus estrategias de control para evitar que la infestación se expanda. Estos resultados, según Büchler et al. (2020), destacaron la importancia de un enfoque proactivo en la gestión de colmenas donde la prevención y el monitoreo regular fueron esenciales para mantener la salud y la productividad de las colmenas a largo plazo.

**Figura 2.** Prevalencia de las enfermedades en las colmenas.

Se identificó una muestra total de 38 colmenas en la provincia de Pastaza, donde 13 de estas presentaron signos de infestación por *V. destructor*, resultando en un promedio de infestación total en la provincia de 2,75%, este valor fue un indicador de una sanidad regular en la región. Autores como Traynor et al. (2020) han señalado que prevalencias elevadas de infestación pueden llevar a una disminución significativa en la productividad de las colmenas y a un mayor riesgo de colapso de las mismas, especialmente en regiones donde los apicultores enfrentaron desafíos ambientales y de manejo.

De acuerdo con Rosenkranz et al. (2010) la implementación de métodos integrados de control que incluyeron el uso estratégico de acaricidas junto con técnicas de control biológico y mejoras en las prácticas de manejo, fue crucial para reducir la infestación por *V. destructor* y mejorar la salud general de las colmenas. Además, el monitoreo constante y la detección temprana de infestaciones fueron fundamentales para evitar que las prevalencias se incrementaran a niveles críticos que pudieran poner en peligro la viabilidad de las colmenas. La adopción de un enfoque más proactivo y multifacético en la gestión de *V. destructor* disminuyó la prevalencia observada y aseguró la sostenibilidad a largo plazo de la apicultura en la región de Pastaza.

### Conclusión

La evaluación sanitaria de *A. mellifera* en la provincia de Pastaza revela resultados mixtos para la apicultura local. Por un lado, no se detecta la presencia de loque americano ni loque europeo en las colmenas mostrando que las condiciones ambientales y las prácticas apícolas en la región están ayudando a prevenir estas enfermedades devastadoras.

Por otro lado, la situación con respecto a *V. destructor* es preocupante. Se observa que en algunas colmenas los niveles de infestación por este parásito superaron alarmantemente el umbral crítico del 5%, alcanzando en algunos casos hasta un 10,06%. Esta alta tasa de infestación indica un riesgo significativo de colapso de las colonias afectadas si no se adoptan intervenciones

urgentes. Además, el promedio de infestación total en la provincia es de 2,75%, este valor es un indicador de una sanidad regular en la región.

#### Conflicto de intereses

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

#### Referencias bibliográficas

- Akongte, P. N., Park, B.-S., Jo, Y.-Y., Kim, D.-w., Kim, K.-M., Oh, D.-G. and Choi, Y.-S. (2023). Field evaluation of honeybee colonies (*Apis mellifera* L.) for selecting breeding lines. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(2), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102101>
- Alburaki, M., Abban, S. K., Evans, J. D. and Chen, Y. P. (2024). Occurrence and distribution of two bacterial brood diseases (American and European foulbrood) in US honey bee colonies and resistance to antibiotics from 2015 to 2022. *Journal of Apicultural Research*, 63(4), 701-710. <https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2329854>
- Alvarado Downing, G. E., Mayorga Castañeda, F. J. y Trujillo, M. E. (2012). Patología, diagnóstico y control de las principales enfermedades y plagas de las abejas melíferas. In: F. Suárez Güemes, E. Guzmán Novoa, & A. Correa Benítez (Eds.), *Plagas de las abejas melíferas* (pp. 1-146). Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. <https://dn790009.ca.archive.org/0/items/2007467812012ManualDeAbejas/200746781-2012-Manual-de-Abejas.pdf>
- Büchler, R., Kovačić, M., Buchegger, M., Puškadija, Z., Hoppe, A. and Brascamp, E. W. (2020). Evaluation of traits for the selection of *Apis mellifera* for resistance against *Varroa destructor*. *Insects*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/insects11090618>
- Büchler, R., Uzunov, A., Kovačić, M., Prešern, J., Pietropaoli, M., Hatjina, F., Pavlov, B., Charistos, L., Formato, G. and Galarza, E. (2020). Summer brood interruption as integrated management strategy for effective *Varroa* control in Europe. *Journal of Apicultural Research*, 59(5), 764-773. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1793278>
- Chagas, D. B., Monteiro, F. L., Hübner, S. d. O., Lima, M. d. and Fischer, G. (2019). Viruses that affect *Apis mellifera* and their occurrence in Brazil. *Ciência Rural*, 49, 1-8. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20181042>
- De Jong, D., De Jong, P. H. and Gonçalves, L. S. (1982). Weight loss and other damage to developing worker honeybees from infestation with *Varroa jacobsoni*. *Journal of Apicultural Research*, 21(3), 165-167. <https://doi.org/10.1080/00218839.1982.11100535>
- DeGrandi-Hoffman, G., Ahumada, F., Zazueta, V., Chambers, M., Hidalgo, G. and deJong, E. W. (2016). Population growth of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in honey bee colonies is affected by the number of foragers with mites. *Experimental and Applied Acarology*, 69(1), 21-34. <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0022-9>
- Devi, S., Barwar, C. and Devi, M. (2019). Different methods for the management of *Varroa* mite (*Varroa destructor*) in honey bee colony. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7(4), 178-182. <https://www.entomoljournal.com/special-issue?year=2019&vol=7&issue=4&ArticleId=5438>
- Franco, W., Portero, C. y Picón, G. (2024). Potencialidades y limitaciones de los suelos de las chakras de tres comunidades amazónicas del cantón Arajuno, Pastaza. *Siembra*, 11(3(Especial)), e6631. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/6631>
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M. and Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *J. Econ. Entomol.*, 108(3), 849-857. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>
- Gregorc, A., Alburaki, M., Sampson, B., Knight, P. and Adamczyk, J. (2018). Toxicity of selected acaricides to honey bees (*Apis mellifera*) and *Varroa* (*Varroa destructor* Anderson and Trueman) and their use in controlling *Varroa* within honey bee colonies. *Insects*, 9. <https://doi.org/10.3390/insects9020055>
- Grossar, D., Haynes, E., Budge, G. E., Parejo, M., Gauthier, L., Charrière, J. D., Chapuisat, M. and Dietemann, V. (2023). Population genetic diversity and dynamics of the honey bee brood pathogen *Melissococcus plutonius* in a region with high prevalence. *Journal of Invertebrate Pathology*, 196(3), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2022.107867>
- Guichard, M., Dietemann, V., Neuditschko, M. and Dainat, B. (2020). Advances and perspectives in selecting resistance traits against the parasitic mite *Varroa destructor* in honey bees. *Genet Sel. Evol.*, 52(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00591-1>

- Hernández-Fuentes, A., Chávez-Borges, D., Cenobio-Galindo, A. J., Velázquez, A. P., Figueira, A., Jiménez-Alvarado, R. and Campos-Montiel, R. (2021). Characterization of total phenol and flavonoid contents, colour, functional properties from honey samples with different floral origins. *International Journal of Food Studies*, 10(5), 346-358. <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.2.2021.a6>
- Jack, C. J. and Ellis, J. D. (2021). Integrated pest management control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), the most damaging pest of (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) Colonies. *Zootecnia Tropical*, 21(5). <https://doi.org/10.1093/jisesa/icab058>
- Kušar, D., Papić, B., Zajc, U., Zdovc, I., Golob, M., Žvokelj, L., Knific, T., Avberšek, J., Ocepek, M. and Pislak Ocepek, M. (2021). Novel taqman PCR assay for the quantification of *Paenibacillus* larvae spores in bee-related samples. *Insects*, 12(11), 1-19. <https://doi.org/10.3390/insects12111034>
- Leclercq, G., Blacquièrre, T., Gengler, N. and Francis, F. (2018). Hygienic removal of freeze-killed brood does not predict *Varroa*-resistance traits in unselected stocks. *Journal of Apicultural Research*, 57(2), 292-299. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1426350>
- Marcolin, L. C., Lima, L. R., de Oliveira Arias, J. L., Berrio, A. C. B., Kupski, L., Barbosa, S. C. and Primel, E. G. (2021). *Meliponinae* and *Apis mellifera* honey in southern Brazil: physicochemical characterization and determination of pesticides. *Food Chemistry*, 363, 130175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130175>
- Masaquiza-Moposita, D., Martin, D., Zapata, J., Soldado, G. and Salas, D. (2023). Apicultura ecuatoriana: situación y perspectiva. *Tesla Revista Científica*, 3, e252. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e252>
- Mondet, F., Beaurepaire, A., McAfee, A., Locke, B., Alaux, C., Blanchard, S., Danka, B. and Le Conte, Y. (2020). Honey bee survival mechanisms against the parasite *Varroa destructor*: a systematic review of phenotypic and genomic research efforts. *International Journal for Parasitology*, 50(6), 433-447. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.03.005>
- Nekoei, S., Rezvan, M., Khamesipour, F., Mayack, C., Molento, M. B. and Revainera, P. D. (2023). A systematic review of honey bee (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) infections and available treatment options. *Vet. Med. Sci.*, 9(4), 1848-1860. <https://doi.org/10.1002/vms3.1194>
- Osterman, J., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Bosch, J., Howlett, B. G., Inouye, D. W., Jung, C., Martins, D. J., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C. L. and Paxton, R. J. (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107653. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107653>
- Rangel, J. and Fisher, A. (2019). Factors affecting the reproductive health of honey bee (*Apis mellifera*) drones—a review. *Apidologie*, 50(6), 759-778. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00684-x>
- Reinbacher, L., Fernández-Ferrari, M. C., Angeli, S. and Schausberger, P. (2018). Effects of metarhizium anisopliae on host choice of the bee-parasitic mite *Varroa destructor*. *Acarologia*, 58(2), 287-295. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20184241>
- Requier, F., Garnery, L., Kohl, P. L., Njovu, H. K., Pirk, C. W. W., Crewe, R. M. and Steffan-Dewenter, I. (2019). The conservation of native honey bees is crucial. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(9), 789-798. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.04.008>
- Rosenkranz, P., Aumeier, P. and Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103(1), 96-119. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016>
- Rowland, B. W., Rushton, S. P., Shirley, M. D. F., Brown, M. A. and Budge, G. E. (2021). Identifying the climatic drivers of honey bee disease in England and Wales. *Scientific Reports*, 11(1), 1-23. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01495-w>
- Traynor, K. S., Mondet, F., de Miranda, J. R., Techer, M., Kowallik, V., Oddie, M. A. Y., Chantawannakul, P. and McAfee, A. (2020). *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, 36(7), 592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>
- Vargas Hidalgo, J. S., Pisuña Lluglluna, E. N., Flores Granizo, P. E. y Barrionuevo Quinto, D. F. (2024). Diagnóstico y prevalencia del ácaro *Varroa destructor* en Apiarios de *Apis mellifera* en el Límite Provincial de Tungurahua y Pastaza. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 4861-4875. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10900](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10900)
- Wagoner, K., Spivak, M., Hefetz, A., Reams, T. and Rueppell, O. (2019). Stock-specific chemical brood signals are induced by *Varroa* and Deformed Wing Virus, and elicit hygienic response in the honey bee. *Scientific Reports*, 9(1), 8753. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45008-2>
- Warner, S., Pokhrel, L. R., Akula, S. M., Ubah, C. S., Richards, S. L., Jensen, H. and Kearney, G. D. (2024). A scoping review on the effects of *Varroa* mite (*Varroa destructor*) on global honey bee decline. *Science of The Total Environment*, 906(2), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167492>
- Wilhelm, E., Korschineck, I., Sigmund, M., Paulsen, P., Hilbert, F. and Rossmannith, W. (2023). Monitoring of



*Paenibacillus* larvae in lower Austria through DNA-based detection without de-sporulation: 2018 to 2022.

*Veterinary Sciences*, 10(3), 1-19. <https://doi.org/10.3390/vetsci10030213>

**Declaración de contribución a la autoría según CRediT**


**Jaime Andrés Chamba Tivan:** conceptualización del estudio, procedimientos metodológicos, redacción-borrador original. **Danilo Reni Vinocunga-Pillajo:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.



# La vinaza como bioherbicida y biofertilizante: una alternativa sostenible para la agricultura ecológica

## Vinasse as a bioherbicide and biofertilizer: A sustainable alternative for organic ecological

### Autores

**Washington Agapo Guzmán Paredes**   
✉ washington\_guzman\_mga@espam.edu.ec

**Ever Darío Morales Avendaño**   
✉ edmorales@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de  
Manabí Manuel Félix López – ESPAM MFL.

**Citación sugerida:** Guzmán Paredes, W. A., Morales Avendaño, E. D. (2025). La vinaza como bioherbicida y biofertilizante: Una alternativa sostenible para la agricultura ecológica. *La Técnica*, 15(2), 85-96. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7355>.

Recibido: Marzo 05, 2025  
Aceptado: Agosto 19, 2025  
Publicado: Septiembre 25, 2025

### Resumen

La vinaza, un subproducto del bioetanol, tiene un gran potencial como biofertilizante y herbicida en la agricultura ecológica. Este estudio evaluó el efecto de vinaza no tratada y pretratada con  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en parcelas de  $1 \text{ m}^2$ , utilizando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La vinaza fue pretratada para ajustar su pH y se aplicaron distintas dosis, midiendo variables como la altura de las plantas, número de hojas y quemaduras foliares. Los resultados mostraron que los tratamientos con  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  redujeron la conductividad eléctrica (CE) en más del 99%, alcanzando valores cercanos a  $13,64 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , frente al testigo de  $6420 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La  $\text{DBO}_5$  disminuyó a  $5.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , mientras que la DQO aumentó a  $155,250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . El tratamiento con  $\text{CO}_3\text{Ca}$  promovió un notable crecimiento vegetal, con una altura promedio de  $32,25 \pm 1,12 \text{ cm}$  a los 23 días, demostrando su efecto como biofertilizante. En el control de malezas, la vinaza no tratada causó hasta un 80% de quemaduras en *Microtea debilis* y un 100% en *Cyanthillium cinereum*. Los tratamientos con  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mostraron efectos herbicidas de entre un 5% y 60% en 10 especies diferentes. En conclusión, la vinaza tratada con  $\text{CO}_3\text{Ca}$  favorece la biofertilidad, mientras que la vinaza combinada con  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es más efectiva como herbicida.

**Palabras clave:** sostenibilidad agroindustrial, control de malezas, manejo de residuos.

### Abstract

Stillage, a by-product of bioethanol, has great potential as a biofertilizer and herbicide in organic farming. This study evaluated the effect of untreated and pretreated vinasse with  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in  $1 \text{ m}^2$  plots, using a completely randomized design with four replications. The vinasse was pretreated to adjust its pH and different doses were applied, measuring variables such as plant height, number of leaves and foliar burns. The results showed that treatments with  $\text{NaHCO}_3$  and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  reduced electrical conductivity (EC) by more than 99%, reaching values close to  $13.64 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , compared to the control of  $6,420 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .  $\text{BOD}_5$  decreased to  $5,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , while COD increased to  $155.250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . The  $\text{CO}_3\text{Ca}$  treatment promoted remarkable plant growth, with an average height of  $32.25 \pm 1.12 \text{ cm}$  at 23 days, demonstrating its effect as a biofertilizer. In weed control, untreated vinasse caused up to 80% burndown on *Microtea debilis* and 100% on *Cyanthillium cinereum*. Treatments with  $\text{NaHCO}_3$  and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  showed herbicidal effects ranging from 5% to 60% on ten different species. In conclusion, vinasse treated with  $\text{CO}_3\text{Ca}$  favors biofertility, whereas vinasse combined with  $\text{NaHCO}_3$  and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  is more effective as a herbicide.

**Keywords:** agro-industrial sustainability, weed control, waste management.



## Introducción

La agricultura convencional se basa en el uso intensivo de agroquímicos, lo que ha generado preocupaciones ambientales y sociales debido a la degradación del suelo, la contaminación del agua y los efectos adversos sobre la biodiversidad y la salud humana (Tiware, 2023). Frente a estos desafíos, la agricultura ecológica surge como una alternativa sostenible que promueve el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción de insumos químicos, priorizando prácticas que mantengan la fertilidad del suelo y el equilibrio del ecosistema (Beltrán y Bernal, 2022). Uno de los retos fundamentales en este sistema es el control de malezas y el mantenimiento de la productividad, sin recurrir a productos sintéticos (Koskey et al., 2021).

En este contexto, la vinaza como un subproducto líquido generado durante la destilación del alcohol artesanal, ha despertado interés por su potencial agrícola; debido a que su composición química, rica en materia orgánica, minerales esenciales y compuestos fenólicos, le confiere la capacidad de inhibir el crecimiento de ciertas plantas y mejorar la fertilidad del suelo (González et al., 2021; Luz et al., 2021). No obstante, su uso indiscriminado puede generar impactos ambientales negativos debido a su alto contenido de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), conductividad eléctrica (CE) y su pH ácido, lo que puede afectar la calidad del suelo y las fuentes hídricas (Zielińska et al., 2021).

El aprovechamiento de la vinaza en la agricultura ecológica contribuye a la economía circular al reutilizar un residuo agroindustrial que, de otro modo, representaría un problema ambiental (Torres et al., 2022; Rachman et al., 2023). Su aplicación ha demostrado mejorar la estructura del suelo, incrementar la actividad microbiana y favorecer el contenido de nutrientes en cultivos como la caña de azúcar y el maíz (Otoya et al., 2023). Sin embargo, para maximizar sus beneficios y minimizar sus efectos adversos, es necesario someterla a tratamientos fisicoquímicos previos que modulen sus propiedades y reduzcan su fitotoxicidad (Duarte et al., 2023). Entre otros tratamientos se ha reportado la combinación de vinaza con bacterias promotoras del crecimiento en cultivos de riego, cuya aplicación puede contribuir con la seguridad alimentaria mediante el reciclaje de nutrientes para la agricultura (Soares et al., 2024).

En el ámbito donde se ha desarrollado la investigación, la acumulación diaria de vinaza durante la temporada de producción de alcohol artesanal se ubica en sitios improvisados e incluso es arrojada a esteros; lo cual causa un impacto ambiental severo para el ambiente y la comunidad en general.

Es por ello que, se ha realizado previamente un estudio sobre la aplicación de vinaza para establecer un protocolo que optimice su aprovechamiento como fertilizante y/o herbicida, lo que permitirá disminuir su impacto ambiental, mediante su utilización y así reducir los elevados volúmenes diarios que son drenados sin control y, por lo tanto, contribuyendo al desarrollo de tecnologías accesibles de tratamiento y aprovechamiento para transformar este pasivo ambiental en un recurso sostenible.

Investigaciones previas han evaluado estrategias para modificar la composición de la vinaza y optimizar su uso en la agricultura. En un bioensayo *in vitro* y *ex situ*, la aplicación de bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) permitió reducir la DQO y la CE a diferentes valores de pH (4, 5, 6 y 7), modulando su impacto herbicida y limitándolo a un efecto foliar del 5 al 20% en diversas especies de malezas, lo que sugiere la posibilidad de ajustar sus propiedades para mejorar su desempeño como biofertilizante y bioherbicida (Morales et al., 2023). No obstante, se requiere ampliar los estudios explorando otros compuestos que permitan mejorar su eficacia tanto como herbicida como fertilizante, optimizando su aplicación en condiciones agrícolas reales.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Bosque Politécnico de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, ubicado en el sector El Limón, parroquia de Calceta, provincia de Manabí, Ecuador. Los sitios seleccionados presentaron un clima tropical seco y suelos franco arenosos de buen drenaje, con baja pedregosidad y sin restricciones significativas para el uso agrícola (Cárdenas y Vélez, 2024).

La investigación tuvo un enfoque experimental y exploratorio para evaluar el efecto de distintos tratamientos fisicoquímicos aplicados a la vinaza. Se empleó un método cuantitativo enfocado en la medición de variables morfológicas de las plantas y parámetros fisico-químicos. Además, se complementó con un análisis cualitativo que permitió interpretar los datos numéricos considerando observaciones sobre el comportamiento de la vinaza como biofertilizante y bioherbicida. Esta combinación metodológica proporcionó una evaluación integral de los tratamientos, brindando una visión más completa de sus efectos en el control de malezas y el desarrollo vegetal (Gao y Su, 2024).

## Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, lo que resultó en un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en parcelas de 1 m<sup>2</sup>, delimitadas mediante cajones de madera en

campo abierto. Los tratamientos fueron asignados aleatoriamente a las parcelas para garantizar la homogeneidad y minimizar cualquier sesgo y se designaron como se muestra en la tabla 1. Las microparcelas presentaron diferentes especies y poblaciones de plantas silvestres en condiciones *in vivo* e *in situ*, lo que permitió observar el efecto de los tratamientos sobre la vegetación en su entorno natural. Las repeticiones fueron ubicadas aleatoriamente, tanto para evaluar el efecto del fertilizante como del herbicida, asegurando que las variables externas no afectaran los resultados del experimento.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos y nomenclatura.

Nomenclatura	Tratamiento
T1	Vinaza no tratada (VC)
T2	Vinaza + Bicarbonato de sodio (NaHCO <sub>3</sub> )
T3	Vinaza + Hidróxido de calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> )
T4	Vinaza + Carbonato de calcio (CO <sub>3</sub> Ca)

## Manejo del experimento

### Obtención y pretratamiento de la vinaza

Las muestras de vinaza fueron recolectadas como subproducto de la destilación del fermentado utilizado en la producción de alcohol artesanal (currincho) en el sector Agua Fría, ubicado en el cantón Junín, provincia de Manabí. De acuerdo con las normativas de almacenamiento establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013), el subproducto fue envasado en recipientes plásticos de 20 L, asegurando su conservación hasta su posterior tratamiento y aplicación en el ámbito experimental.

Antes de su aplicación experimental, la vinaza fue sometida a un ajuste de pH mediante la adición controlada de 15 g de CaCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> o Ca(OH)<sub>2</sub> por cada 1000 mL de vinaza fresca, con el objetivo de alcanzar un pH en el rango de 6 a 6,5. Cada compuesto fue utilizado con un propósito específico: el CaCO<sub>3</sub> favoreció la precipitación de compuestos solubles, el NaHCO<sub>3</sub> redujo la acidez sin alterar otras propiedades fisicoquímicas, y el Ca(OH)<sub>2</sub> incrementó la alcalinidad de la solución, lo que promovió la solubilidad de nutrientes esenciales para su posterior aplicación como biofertilizante y bioherbicida (Toscano et al., 2022).

### Caracterización fisicoquímica de la vinaza

La caracterización fisicoquímica de la vinaza se realizó una sola vez, después del pretratamiento, para evaluar los cambios en parámetros como la conductividad eléctrica, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la salinidad. Los análisis fueron efectuados en laboratorio utilizando métodos específicos: la conductividad eléctrica se midió con un medidor de conductividad según el protocolo de Bamba et al. (2021), la DQO se determinó por oxidación con dicromato siguiendo la norma ASTM D1252 (Rawajfeh, 2021), la DBO<sub>5</sub> se evaluó mediante incubación a 20 °C durante 5 días de acuerdo con la metodología de la EPA, y la salinidad se midió mediante conductividad directa con un medidor de salinidad.

Estas mediciones permitieron observar los cambios en las propiedades físico-químicas de la vinaza tratada, lo que confirmó que cumplía con las condiciones óptimas para su aplicación como biofertilizante y bioherbicida.

### Aplicación de los tratamientos para biofertilizante

Los tratamientos biofertilizantes fueron aplicados en parcelas previamente desmalezadas y acondicionadas, utilizando el suelo natural del área para replicar condiciones reales del entorno agrícola. Esta elección permitió evaluar la respuesta de las plantas en un contexto más representativo de su desarrollo en campo, tal como sugieren Házi et al. (2023) y Anggraini et al. (2024) al destacar la importancia de utilizar sustratos naturales para la evaluación de biofertilizantes. A cada unidad experimental se le aplicaron 200 mL de la solución correspondiente por tres ocasiones cada 7 días, garantizando una distribución uniforme del tratamiento.

Las variables morfológicas que evaluaron el efecto biofertilizante fueron la altura de las plantas y el número de hojas, mismas que se midieron en los días 9, 16 y 23 del crecimiento vegetativo. Estas variables fueron elegidas debido a su capacidad para reflejar los efectos de los tratamientos sobre el crecimiento, vigor y la salud de las plantas, tal como lo señalaron Atero et al. (2024), quienes recomendaron su uso para evaluar el impacto de biofertilizantes en etapas tempranas. Además, se realizó una identificación botánica de las especies emergentes en cada parcela, utilizando guías botánicas para asignarles los nombres científicos correspondientes. Este enfoque no solo permitió observar la respuesta diferencial de las especies a los tratamientos, sino que también enriqueció el análisis al ofrecer información sobre la efectividad del biofertilizante en distintas especies, tal como lo sugirieron Calcan et al. (2022).

### Aplicación de los tratamientos para bioherbicida

A diferencia del ensayo biofertilizante, en esta evaluación no se alteró la vegetación del área experimental, conservando intactas las especies silvestres no comestibles presentes en el sitio. Este enfoque permitió analizar el impacto del tratamiento sobre la vegetación preexistente en condiciones naturales, evitando sesgos asociados a la eliminación de competencia o modificaciones en el ecosistema, como lo sugirieron Repajic et al. (2021). Se aplicaron en tres ocasiones cada 7 días 50 mL de la solución sobre el follaje de cada parcela en los días de floración (16, 20 y 27), asegurando una distribución homogénea para evaluar el efecto directo del tratamiento a nivel foliar.

Las variables analizadas incluyeron el porcentaje de quemaduras foliares y la altura final de las plantas. El porcentaje de quemaduras foliares se consideró el indicador principal, ya que reflejó el daño visual y fisiológico causado por el herbicida, manifestado en la aparición de áreas secas o necróticas en las hojas, un criterio clave para determinar la efectividad del tratamiento en el control de la vegetación no deseada (Barroso et al., 2022; Kaur et al., 2023). La altura final de las plantas, medida al día 27, permitió identificar posibles efectos secundarios sobre el crecimiento,



considerando que un herbicida efectivo debe inhibir el desarrollo vegetal.

Para clasificar el nivel de daño foliar, se empleó una escala porcentual adaptada de Vieira et al. (2022), estableciendo las siguientes categorías: sin daño (0%), resistente (5%), subletal (6-90%) y letal (100%). Esta clasificación facilitó la comparación entre los tratamientos y proporcionó criterios objetivos para evaluar la severidad del efecto de quemaduras, permitiendo una interpretación precisa de la eficacia del bioherbicida.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos del efecto biofertilizante y herbicida fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Antes de realizar este análisis, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente. Aquellas variables que no cumplieron se ajustaron con la transformación de datos Log10. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) para determinar diferencias específicas entre grupos. El análisis se llevó a cabo con el software InfoStat 2020, garantizando un análisis estadístico riguroso y adecuado a los objetivos del estudio.

### Resultados y discusión

Los aditivos aplicados a la vinaza;  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca(OH)}_2$  lograron reducir significativamente su conductividad eléctrica (CE) y salinidad, lo que indicó una mejora importante en su calidad (tabla 2). Se observó una disminución superior al 99% en la CE para todos los tratamientos, con valores promedio de  $13,64 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para el tratamiento con  $\text{CaCO}_3$ ,  $15,71 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para  $\text{NaHCO}_3$  y  $12,75 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para  $\text{Ca(OH)}_2$ . Esta reducción fue crucial para prevenir la acumulación de sales en el suelo, condición esencial para evitar la salinización y preservar la fertilidad; lo que concordó con los resultados de Cedeño et al. (2024).

Tabla 2. Propiedades físico-químicas de los tratamientos.

Tratamiento	CE	Salinidad	pH promedio	Disminución de CE (%)
	Promedio ( $\mu\text{S m S}^{-1}$ )	(%) promedio		
Vinaza no tratada	$6420 \pm 9,13$	$0,34 \pm 0,008$	$4 \pm 0,09$	-
$\text{CaCO}_3$	$13,64 \pm 0,08$	$0,6 \pm 0,008$	$6 \pm 0,08$	99,82
$\text{NaHCO}_3$	$15,71 \pm 0,09$	$0,9 \pm 0,014$	$6 \pm 0,08$	99,7
$(\text{OH})_2\text{Ca}$	$12,75 \pm 0,13$	$0,7 \pm 0,008$	$5 \pm 0,08$	99,8

En cuanto a la salinidad, aunque los valores aumentaron ligeramente respecto a la vinaza no tratada, estos se mantuvieron dentro de límites aceptables para aplicaciones agrícolas, con promedios que oscilaron entre 0,6 y 0,9. El pH promedio alcanzó valores óptimos para suelos agrícolas de 6,00 en los tratamientos con  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$ , respectivamente, lo que favoreció la neutralización de la acidez inicial de la vinaza. En cambio, el tratamiento con  $\text{Ca(OH)}_2$  mostró un pH promedio de 5,0, ligeramente inferior al deseado, lo que podría requerir ajustes en su dosificación (Hirzel et al., 2021).

La notable remoción de CE, superior al 99%, se atribuyó a la precipitación de sales insolubles, principalmente carbonatos y bicarbonatos, formados durante el proceso.

Soukaina et al. (2022) reportaron disminuciones similares, con reducciones del 96,82% en efluentes industriales tratados con  $\text{NaHCO}_3$ , evidenciando que la formación y precipitación de sales, principalmente carbonatos y bicarbonatos, fue el mecanismo dominante. Aunque siguió siendo efectivo, este comportamiento podría requerir ajustes en su aplicación, tal como lo sugirieron Medina et al. (2024) quienes subrayan que su eficacia depende de las condiciones específicas del medio, especialmente en matrices complejas como la vinaza.

La aplicación de  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca(OH)}_2$  redujo el  $\text{DBO}_5$  de 10.000 a  $5.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y equivalente a un 50% (figura 1), lo que indicó una mejora significativa en la biodegradación de la materia orgánica presente en la vinaza. Este resultado apunta que el aumento de la alcalinidad favoreció la oxidación de compuestos orgánicos simples, optimizando la biodegradabilidad del efluente. Este comportamiento coincidió con el mecanismo propuesto por Mensah et al. (2022) quienes reportaron que los iones hidroxilo generados en medios alcalinos promovieron la división de compuestos orgánicos.

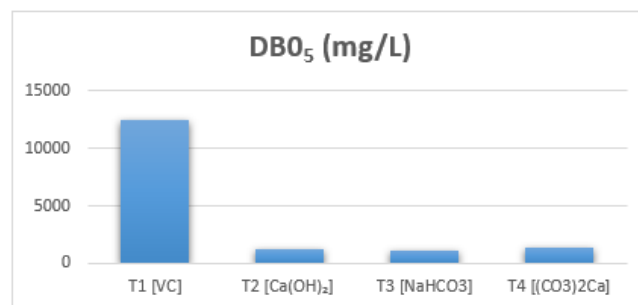


Figura 1. Medida de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en los tratamientos.

Sin embargo, en el caso de la DQO (figura 2), se observó una reducción del 20,58% con  $\text{NaHCO}_3$ , de un 13,04% con  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  y de solo un 6,04% con  $(\text{CO}_3)_2\text{Ca}$  procedente de cáscara de huevo. Este resultado parece ser atribuido a la solubilización de compuestos orgánicos en la cáscara (González et al., 2019) lo cual incrementan la carga orgánica sin ser fácilmente biodegradables (Zielinska et al., 2021). De manera similar, destacaron que el pretratamiento alcalino con  $\text{NaOH}$  solubilizó compuestos orgánicos compatibles, aumentando el carbono disuelto, las proteínas y los carbohidratos.

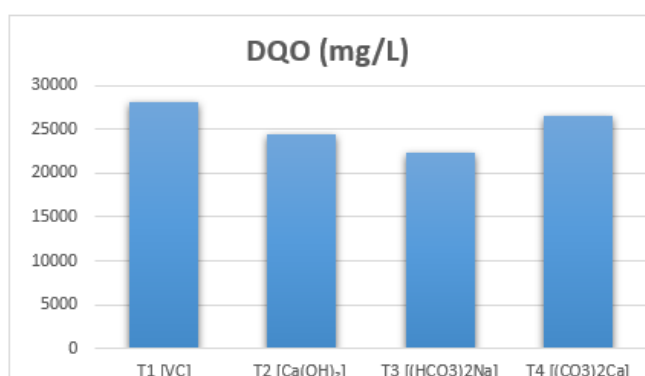


Figura 2. Medida de DQO ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en los tratamientos.

### Efecto biofertilizante

El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados en términos de altura y número de hojas de las plantas. Este resultado concordó con lo señalado por Pino et al. (2022) y Torres et al. (2022) al sugerir que la variabilidad en los efectos de la vinaza impidió diferencias significativas cuando no se controlaron factores ambientales claves, como el tipo de suelo, la humedad y los niveles de nutrientes.

Aun ante la ausencia de significancia estadística, los resultados descriptivos reflejaron ciertas tendencias en la respuesta de las plantas a los tratamientos. Como se observó en la tabla 3, en la mayoría de los casos (T2, T3 y T4), hubo una relación positiva entre la altura de las plantas y el número de hojas, sugiriendo una posible correlación entre ambas variables (Aditiawati et al., 2021). Sin embargo, el ritmo de crecimiento no fue uniforme, lo que indicó que factores como el tipo de tratamiento y el tiempo de evaluación influyeron en el desarrollo de las plantas.

Tabla 3. Crecimiento de plantas silvestres durante los días de muestreo.

Tratamiento	Altura promedio (cm)			Número de hojas			Especies identificadas
	9	16	Días 23	9	16	23	
T1 (Vinaza + $\text{CO}_3\text{Ca}$ )	16,25	17,75	32,25	22,25	23,5	28,75	<i>Rauwolfia tetraphylla</i> <i>Streblus asper</i> <i>Heliotropium indicum</i> <i>H. indicum</i>
T2 (vinaza + $\text{NaHCO}_3$ )	11,25	13,75	16,75	10,75	13,75	19	<i>Tabernanthe sp.</i> <i>Terminalia catappa</i> <i>Allamanda cathartica</i>
T3 (vinaza + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	15,5	23,5	26	16,5	24,5	25,75	<i>Heritiera sp.</i> <i>Nicotiana tabacum</i> <i>H. angiospermum</i>
T4 (Vinaza pura)	9,75	12,75	20,5	10,75	11,75	25,25	<i>Picconia excelsa</i> , <i>Blumea balsamifera</i> <i>H. angiospermum</i>
T5 (Agua - testigo)	13,25	27,25	31,75	19,00	27,75	34,5	<i>Acroceras sp.</i> <i>Streblus</i>

En términos de altura promedio, el tratamiento T1 (Vinaza +  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) mostró un incremento notable, alcanzando  $32,25 \pm 6,83$  cm al día 23. Este resultado reflejó una interacción positiva entre la vinaza y el carbonato de calcio, en la cual la vinaza actuó como una fuente rica en nutrientes, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio, esenciales para el crecimiento vegetal, mientras que el calcio fortaleció la estructura celular y mejoró la absorción de fósforo (Weng et al., 2022). En estudios previos, se ha observado que la vinaza mejoró significativamente el crecimiento en cultivos como la soja y la coliflor, lo que respaldó su eficacia como biofertilizante (González et al., 2018; Ma'rifah et al., 2020). Además, la vinaza puede reemplazar parcialmente los fertilizantes convencionales, cubriendo hasta el 50% del nitrógeno, 40% del fósforo y 100% del potasio necesarios, convirtiéndola en una fuente nutritiva eficiente y sostenible (Mahmoud et al., 2019).

Por otro lado, el tratamiento testigo (T5) con agua, aunque mostró una altura promedio de  $31,75 \pm 6,83$  cm al día 23, tuvo un desarrollo más uniforme a partir del día 16. Este comportamiento resaltó la importancia del agua en procesos fundamentales

como la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la turgencia celular, lo que explicó el crecimiento estable de las plantas sin la aplicación de fertilizantes adicionales (Mahajan et al., 2024). Sin embargo, el hecho de que el testigo tuviera un desarrollo comparable al tratamiento con vinaza no implicó que la vinaza no aportó beneficios. El uso de vinaza en T1 no solo favoreció el crecimiento de las plantas en términos de altura, sino que también mejoró su nutrición general, lo cual puede ser crucial para la salud a largo plazo de las plantas y su capacidad para enfrentar condiciones adversas. De hecho, según Ma'rifah et al. (2020) la aplicación de vinaza también aportó compuestos que favorecieron la calidad del suelo y la retención de nutrientes, lo que podría tener impactos positivos en futuros ciclos de crecimiento.

Por otro lado, los tratamientos T2 (Vinaza +  $\text{NaHCO}_3$ ) y T3 (Vinaza +  $\text{Ca(OH)}_2$ ) registraron menores incrementos en altura, alcanzando  $16,75 \pm 6,83$  cm y  $26,00 \pm 6,83$  cm al día 23, respectivamente. La vinaza no tratada (T4), si bien mostró un aumento moderado en la altura promedio (20,5 cm), destacó particularmente por el desarrollo del número de hojas, alcanzando un promedio de  $25,25 \pm 5,64$  hojas al día 23, un comportamiento que podría estar asociado con la composición fisicoquímica del tratamiento. En términos de número de hojas, con relación al testigo (T5) solo con agua presentó el valor más elevado con  $34,50 \pm 5,64$  hojas, lo cual sugirió un desarrollo foliar óptimo en ausencia de vinaza.

Este comportamiento puede explicarse por la variabilidad en la eficacia de la vinaza, ya que su desempeño como biofertilizante dependió de factores como la especie tratada y las condiciones del suelo. Bridhikitti et al. (2023) destacaron que su efectividad estuvo influenciada por el tipo de suelo, los procesos de pretratamiento y las condiciones ambientales. Asimismo, Pino et al. (2022) y Zamarreño et al. (2022) sugirieron que la vinaza obtenida a partir de tejidos vegetales de caña de azúcar contenía fitoreguladores que contribuyeron al crecimiento vegetal. No obstante, su aplicación debe ajustarse a las condiciones específicas del entorno para maximizar sus beneficios.

La figura 2 resaltó la notable respuesta de *Heliotropium angiospermum* en el tratamiento T5 (testigo), alcanzando una altura máxima de 60 cm y 70 hojas al día 23. Esto confirmó el potencial de crecimiento de esta especie bajo condiciones óptimas y sin la influencia de la vinaza, coincidiendo con los hallazgos de Knauf et al. (2021) quienes argumentaron que las plantas en su estado natural aprovecharon eficientemente los recursos disponibles cuando no estuvieron expuestas a fuentes externas de materia orgánica.

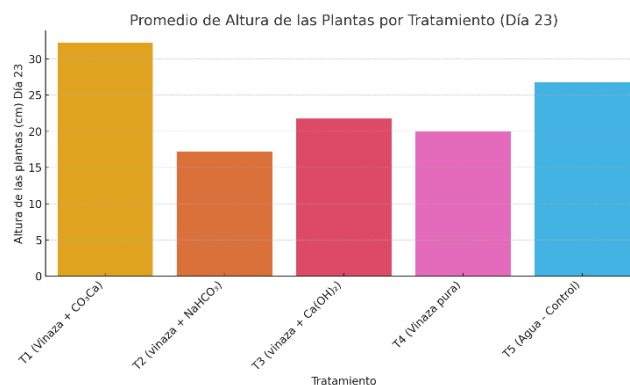


Figura 3. Altura de las plantas al día 23 por especie y tratamiento.

Los tratamientos con vinaza mostraron efectos diferenciados en el crecimiento en altura según el tipo de enmienda utilizada. En T1 (Vinaza +  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), especies como *Rauvolfia tetraphylla* y *H. indicum* alcanzaron alturas destacadas, con promedios superiores a  $38 \text{ cm} \pm 2,5$ , lo cual respaldó la hipótesis planteada por Stephen et al. (2024) sobre la sinergia positiva entre la vinaza y fuentes de calcio carbonatado. En contraste, los tratamientos T2 (Vinaza +  $\text{NaHCO}_3$ ) y T3 (Vinaza +  $\text{Ca(OH)}_2$ ) presentaron respuestas más heterogéneas, con promedios de altura inferiores, lo cual podría explicarse por la limitada disponibilidad de micronutrientes como el hierro y el manganeso, según lo propuesto por Sagwal et al. (2023). El tratamiento 4 que empleó vinaza sin adición alcalina, logró respuestas notables especialmente en *H. angiospermum*, lo que sugirió que en ciertas especies el efecto estimulante de la vinaza no requirió ajustes de pH ni sinergias químicas adicionales. Estos resultados confirmaron que la combinación de vinaza con ciertas enmiendas potenció el crecimiento vegetal dependiendo de la especie y la formulación utilizada.

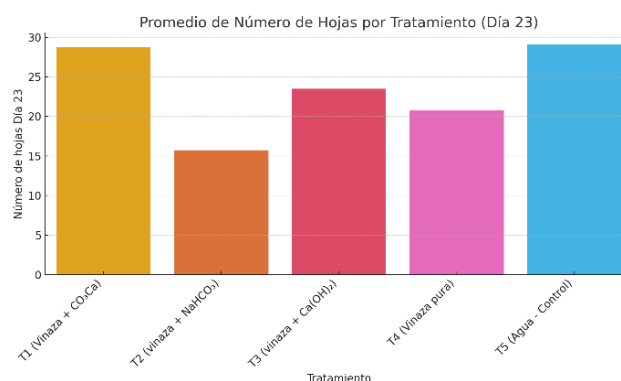


Figura 4. Número de hojas al día 23 por especie y tratamiento.

La variabilidad en el desarrollo foliar fue evidente entre los tratamientos, siendo T1 y T4 los más efectivos en estimular la formación de hojas. En T1, se observó un número elevado de hojas en *R. tetraphylla* y *H. indicum*, lo cual sugirió una respuesta fisiológica favorable atribuible al calcio proveniente del  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , elemento clave en la división celular y la expansión foliar. Por otro lado, T4 (vinaza no tratada) destacó significativamente en *H. angiospermum*, con registros de hasta 61 hojas por planta, lo que confirmó el potencial bioestimulante de la vinaza en aplicaciones dirigidas, en concordancia con lo descrito por Jolayemi et al. (2022). En contraste, los tratamientos con  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (T2 y T3) indujeron un desarrollo foliar más limitado, posiblemente debido a efectos osmóticos adversos o a la reducción en la disponibilidad de nutrientes esenciales. Estos resultados respaldaron el uso estratégico de biofertilizantes derivados de subproductos agroindustriales, especialmente en fases tempranas de desarrollo, donde la densidad foliar fue un indicador clave del vigor vegetal.

### Efecto herbicida

El análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto herbicida, a través del porcentaje de quemadura y el crecimiento de las plantas, mostró resultados claros. En cuanto al porcentaje de quemadura, el *p*-valor de 0,2655 indicó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugirió que los herbicidas no causaron efectos notables en el daño foliar. Las medias de los tratamientos fueron similares (entre 0,29 y 0,65), y la baja desviación estándar de 0,15 reflejó poca variabilidad en la respuesta, lo que confirmó la ausencia de un impacto significativo en las quemaduras. Sin embargo, esto podría indicar una alta variabilidad entre especies y la falta de homogeneidad en la respuesta a los tratamientos, como ha sido documentado en estudios previos sobre variabilidad genética en plantas (Chuchert et al., 2022).

Respecto a la altura, que en este contexto se interpretó como un indicador inverso del efecto herbicida (menor altura implicó mayor eficacia), el *p*-valor de 0,0021 mostró que hubo diferencias significativas entre los tratamientos. La prueba múltiple de Tukey (tabla 4) reveló que el tratamiento con vinaza no tratada (T4) presentó las mayores alturas (20,25 cm), lo que sugirió que este tratamiento tuvo un efecto herbicida menor. En cambio, los tratamientos con vinaza combinado con  $\text{NaHCO}_3$  (T2) y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (T3) mostraron alturas más bajas (10,50 cm y 10,75 cm), lo que implicó un mejor efecto herbicida. La desviación estándar de 1,56 en la altura mostró mayor variabilidad en la respuesta de las plantas en comparación con las quemaduras, lo que señaló que el efecto sobre el crecimiento fue más notorio.

**Tabla 4.** Comparación de las alturas de las plantas según los tratamientos.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Grupo estadístico
T4 (Vinaza pura)	20,25	4	1,56	A
T5 (Agua - Control)	16,25	4	1,56	AB
T1 (Vinaza + $\text{CO}_3\text{Ca}$ )	12,75	4	1,56	B
T3 (Vinaza + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	10,75	4	1,56	B
T2 (Vinaza + $\text{NaHCO}_3$ )	10,5	4	1,56	B

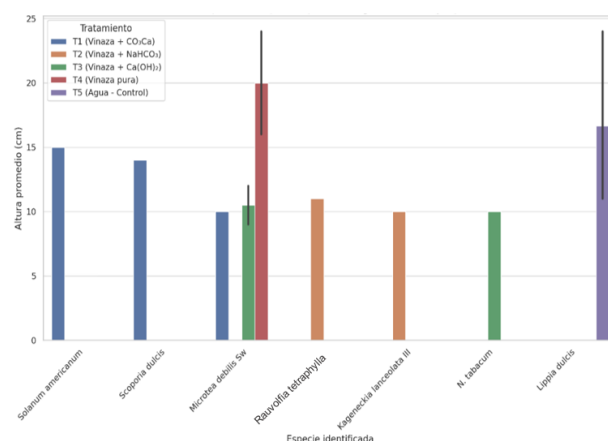
Test: Tukey, Alfa = 0,05, DMS = 6,81212,

E.E.= error estándar.

Error: 9,7333, gl: 15

Estadísticamente, los tratamientos con vinaza combinada con  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y como  $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , demostraron ser más efectivos como herbicidas, reduciendo el crecimiento vegetal de manera más consistente. Estos resultados concordaron con lo reportado por Luz et al. (2021), quienes mencionaron que las fracciones de vinaza produjeron actividad fitotóxica contra las malezas.

Aun ante la evidencia estadística en la reducción del crecimiento, el análisis descriptivo del porcentaje de quemaduras foliares y su relación con la altura de las plantas mostró tendencias interesantes. Se observó una mayor presencia de plantas con quemaduras subletales, lo que sugirió un efecto acumulativo en la estructura foliar y el desarrollo de las especies analizadas. Como se evidenció en la figura 3, la interacción entre el daño foliar y el crecimiento de las plantas parece seguir un patrón consistente, lo que podría indicar según Chen et al. (2021) un mecanismo de respuesta fisiológica ante el estrés inducido por los tratamientos.



**Figura 5.** Altura promedio de plantas quemadas según tratamiento y especies.

El tratamiento T1 (vinaza +  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) afectó a *Solanum americanum*, que presentó una altura promedio de 15 cm y un 70% de quemaduras, indicando alta susceptibilidad. En

*Scoporia dulcis*, con una altura promedio de 14 cm y un 40% de quemaduras, se observó mayor resistencia. Por su parte, *Microtea debilis* alcanzó 10 cm de altura con un 50% de quemaduras, evidenciando una afectación moderada (tabla 5). Este patrón de daño concordó con lo reportado por Hamouzová et al. (2023) quienes indicaron que los compuestos cálcicos aumentaron la eficacia herbicida en plantas sensibles debido a la alteración del pH foliar, lo cual también se observó en los resultados de este estudio.

**Tabla 5.** Plantas con quemaduras subletales (6-90%).

Tratamiento	Altura promedio (cm)	Porcentaje de quemaduras (%)	Especie identificada
T1 (Vinaza + CO <sub>3</sub> Ca)	15	70	<i>Solanum americanum</i>
T1 (Vinaza + CO <sub>3</sub> Ca)	14	40	<i>Scoporia dulcis</i>
T1 (Vinaza + CO <sub>3</sub> Ca)	10	50	<i>Microtea debilis</i>
T2 (Vinaza + NaHCO <sub>3</sub> )	11	47	<i>Rauwolfia tetraphylla</i>
T2 (Vinaza + NaHCO <sub>3</sub> )	10	52	<i>Kageneckia lanceolata III</i>
T3 (Vinaza + Ca(OH) <sub>2</sub> )	12	60	<i>M. debilis</i>
T3 (Vinaza + Ca(OH) <sub>2</sub> )	10	40	<i>N. tabacum</i>
T3 (Vinaza + Ca(OH) <sub>2</sub> )	9	25	<i>M. debilis</i>
T4 (Vinaza no tratada)	16	80	<i>M. debilis</i>
T4 (Vinaza no tratada)	24	50	<i>M. debilis</i>

El tratamiento T2 (vinaza + NaHCO<sub>3</sub>) generó un 47% de quemaduras en *Rauwolfia tetraphylla* con una altura promedio de 11 cm, mientras que *Kageneckia lanceolata III* presentó un 52% de quemaduras y una altura de 10 cm. Estos resultados indicaron una afectación moderada en ambas especies, posiblemente debido a la deshidratación celular por estrés osmótico causada por bicarbonatos, como señalaron Azevedo et al. (2024). En el tratamiento T3 (vinaza + Ca(OH)<sub>2</sub>), *M. debilis* mostró diferencias significativas en el daño recibido, con quemaduras del 60 y 25% y alturas de 12 cm y 9 cm, respectivamente. De manera similar, *Nicotiana tabacum* registró un 40% de quemaduras y una altura de 10 cm, evidenciando una susceptibilidad intermedia. Según Ferreira et al. (2021) este tipo de efectos podría estar relacionado con una cutícula más gruesa en algunas especies, lo que redujo la penetración del tratamiento, esto podría explicar la menor afectación en *N. tabacum* y parte de las variaciones observadas en *M. debilis*.

El tratamiento T4 (vinaza no tratada) produjo efectos contrastantes en *M. debilis*, que presentó quemaduras del 80

y 50%, con alturas de 16 cm y 24 cm, respectivamente. Aun ante la presencia de daño significativo, las plantas mostraron un crecimiento compensatorio, lo que sugirió la activación de mecanismos de recuperación post-estrés. Este hallazgo coincidió con lo propuesto por Bridhikitti et al. (2023), quienes indicaron que las plantas activaron mecanismos de recuperación tras un estrés severo, incluida la sequía, la toxicidad de los metales y la salinidad. Durante el estrés por sequía, los cloroplastos desempeñaron un papel crucial en la activación de respuestas protectoras y mecanismos de reparación tras la rehidratación (Chen et al., 2021).

Finalmente, el tratamiento T5 (agua - testigo) aplicado a *L. dulcis* resultó en alturas de 15, 24 y 11 cm, con quemaduras del 70, 40 y 50%, respectivamente. Aunque este tratamiento no implicó compuestos herbicidas, la presencia de quemaduras bajo condiciones controladas podría sugerir una posible influencia de factores ambientales o predisposición previa (tabla 6). La vinaza es apreciada por su capacidad para mejorar la fertirrigación, una aplicación excesiva puede causar salinización del suelo y toxicidad, afectando negativamente la salud de las plantas (Yin et al., 2019). No obstante, Portocarrero et al. (2023) mencionaron que su uso a largo plazo en campos de caña de azúcar ha mostrado beneficios, como un aumento en la disipación de herbicidas atrazina y ametrina en un 45 y 33%, respectivamente, en comparación con sistemas de fertilización convencionales, lo que sugirió su potencial para mejorar la sostenibilidad de los suelos agrícolas.

**Tabla 6.** Plantas con quemaduras letales (100%).

Tratamiento	Altura promedio (cm)	Especie identificada
T1 (Vinaza + CO <sub>3</sub> Ca)	12	<i>Cyanthillium cinereum</i>
T4 (Vinaza no tratada)	20	<i>Marsdenia</i> sp.

Las plantas que experimentaron un 100% de quemaduras foliares fueron clasificadas como letalmente afectadas, mostrando un colapso total en su estructura foliar. En el tratamiento T1 (Vinaza + CO<sub>3</sub>Ca), *Cyanthillium cinereum* presentó una altura promedio de 12 cm, evidenciando un daño letal considerable. Este resultado está en línea con investigaciones previas, las cuales indicaron que la vinaza, por su alta concentración de nutrientes y compuestos orgánicos, puede alterar el pH del suelo, afectando la absorción de nutrientes y generando un estrés fisiológico extremo en las plantas (Luz et al., 2020). En comparación, el tratamiento T4, con vinaza no tratada, provocó un daño letal en *Marsdenia*, que, aunque mostró una altura promedio de 20 cm, presentó una pérdida total de su estructura foliar, indicando que la vinaza no tratada es igualmente fitotóxica, aunque con un menor impacto sobre la altura de las plantas en comparación con

T1. Estos hallazgos coincidieron con estudios previos que han documentado la alta toxicidad de la vinaza sobre diversas especies vegetales. Tal es el caso de Brito et al. (2024) que mencionó que altas concentraciones pueden ser tóxicas para algunas plantas acuáticas, ciertas especies como *Eichhornia crassipes* mostraron tolerancia a concentraciones de vinaza del 10 al 20%.

Por otro lado, el tratamiento T5, con agua (testigo), mostró que *Richardia scabra* alcanzó una altura promedio de 15 cm, sin efectos letales inmediatos, pero con una ligera disminución en su crecimiento. Este resultado resaltó la importancia de factores adicionales, como la competencia por recursos y las condiciones ambientales, que también influyeron en el desarrollo de las plantas, como sugirieron estudios que analizaron el estrés hídrico y la dinámica del suelo en presencia de nutrientes orgánicos (Parise et al., 2021; Rehling et al., 2021). La comparación con estos estudios mostró que, aunque la vinaza tiene un gran potencial como herbicida, su efectividad y los daños dependieron de la dosis aplicada, el tipo de vinaza y la tolerancia específica de cada especie.

**Tabla 7.** Plantas resistentes (0%-5%).

Tratamiento	Porcentaje de quemaduras	Especie identificada
T2 (Vinaza + NaHCO <sub>3</sub> )	5	<i>Symphytotrichum subulatum</i>
T4 (vinaza no tratada)	2	<i>Microtea debilis</i>

En contraste con las plantas letalmente afectadas, las resistentes mostraron un nivel mínimo de quemaduras foliares. Estas especies demostraron una alta tolerancia a los tratamientos aplicados. En esta categoría, *Symphytotrichum subulatum* (T2, vinaza + NaHCO<sub>3</sub>) mostró un 5% de quemaduras, mientras que *M. debilis* (T4, vinaza no tratada) presentó solo un 2% de quemaduras. Estos resultados sugieren que la vinaza, tanto en combinación con bicarbonato de sodio como pura, fue menos efectiva en estas especies específicas, lo que indicó una variabilidad significativa en la respuesta de las plantas a los tratamientos herbicidas. La tolerancia observada en estas especies podría estar relacionada con mecanismos fisiológicos o bioquímicos que les permiten resistir los efectos de los compuestos presentes en la vinaza sin sufrir daños significativos en la estructura foliar. La resistencia a los herbicidas en las plantas implica mecanismos fisiológicos y bioquímicos complejos. La selectividad puede ocurrir a través de factores físicos o procesos fisiológicos que afectan la retención, penetración, movimiento y desintoxicación de los herbicidas (Gwatidzo et al., 2023).

### Conclusión

El tratamiento de la vinaza con CaCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> y Ca(OH)<sub>2</sub> mejora significativamente su calidad, reduciendo la conductividad eléctrica en más del 99% y manteniendo la salinidad dentro de los límites agrícolas aceptables. Además, el ajuste del pH a valores más cercanos a la neutralidad y la disminución de la DBO<sub>5</sub> sugieren que estos tratamientos pueden mitigar el impacto ambiental de la vinaza y hacerla más viable para su uso agrícola.

La vinaza tratada con CaCO<sub>3</sub> mostró un efecto biofertilizante más pronunciado, favoreciendo el crecimiento de ciertas especies como *Heliotropium angiospermum*, *Rauvolfia tetraphylla* y *H. indicum*. Sin embargo, el desempeño varió según el tratamiento y la especie evaluada, lo que indicó que su efectividad como biofertilizante depende de factores específicos como la composición del suelo y las características de la planta.

La vinaza combinada con compuestos cálcicos, especialmente NaHCO<sub>3</sub> y Ca(OH)<sub>2</sub>, muestra un efecto herbicida significativo al reducir el crecimiento de las plantas (T1 y T4). Sin embargo, su impacto en las quemaduras foliares es variable según la especie, evidenciando diferencias en susceptibilidad y mecanismos de resistencia. Aunque algunos tratamientos causaron efectos letales en ciertas plantas, otras mostraron tolerancia, lo que resalta la necesidad de ajustar las dosis y evaluar su selectividad para un uso eficaz y sostenible como bioherbicida.

### Conflicto de intereses

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

### Referencias bibliográficas

- Aditiawati, P., Viridi, S., Palupi, S., Rostiani, R., Samosir, M. D. y Primaresti, P. D. (2021). Mathematical modelling of soybean var. Anjasmoro plant growth. *Journal of Physics: Conference Series*, 2072(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2072/1/012009>
- Anggraini, D., Idris, M. y Rahmadina, R. (2024). Effectiveness of eco farming as organic fertilizer on vegetative growth Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 774-780. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6694>
- Atero, S., Izquierdo, M. J., García, C., Rodríguez, M., Navarro, I. y Navarro, E. (2024). An evaluation of the effectivity of the green leaves biostimulant on lettuce growth, nutritional quality, and mineral element efficiencies under optimal growth conditions. *Plants*, 13(7), 917. <https://doi.org/10.3390/plants13070917>
- Azevedo, V. M., Fernandes, J. A., De Souza Andrade, G., De Moraes, P. M., Magurran, A. E., Pelicice, F. M. y Giarrizzo, T. (2024). An overview of vinasse pollution in aquatic ecosystems in Brazil. *Environmental Management*, 74(6), 1037-1044. <https://doi.org/10.1007/s00267-024-01999-x>
- Bamba, J. N. Y., Almendrala, M. C., Caparanga, A. R. y Doma, B. T. (2021). Effect of biochemical pretreatment and nutrient supplementation on anaerobic co-digestion of sugarcane press mud and distillery effluent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 801(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/801/1/012001>
- Barroso, G. M., De Carvalho, A. J. E., Custódio, I. G., Correa, J. M., Duque, T. S., Silva, D. V., Fernandes, B. C. C.,



- Batista, L. P. y Dos Santos, J. B. (2022). Sensitivity of *Eucalyptus* clones to herbicides associated with foliar fertilizers. *Forests*, 13(9), 1490. <https://doi.org/10.3390/f13091490>
- Beltrán, M. E. y Bernal, A. A. (2022). Biofertilizantes: Alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Bridhikitti, A., Kaewsuk, J., Karaket, N., Friend, R., Sallach, B., Chong, J. P. J. y Redeker, K. R. (2023). Balancing agriculture and industry through waste utilization for sugarcane sustainability. *Sustainability*, 15(20), 14711. <https://doi.org/10.3390/su152014711>
- Brito, L. F. P. D., Espíndola, E. L. G. y Ogura, A. P. (2024). Tolerance of free-floating aquatic macrophytes to sugarcane vinasse and its implications for phytoremediation strategies. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 14(4), 325-331. <https://doi.org/10.2166/washdev.2024.240>
- Calcan, S. I., Pârvulescu, O. C., Ion, V. A., Răducanu, C. E., Bădulescu, L., Madjar, R., Dobre, T., Egri, D., Moș, A., Iliescu, L. M. y Jerca, I. O. (2022). Effects of biochar on soil properties and tomato growth. *Agronomy*, 12(8), 1824. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081824>
- Cárdenas, A. y Vélez, J. (2024). *Conflictos de usos del suelo como aporte a la sostenibilidad agroproductiva del bosque Politécnico de la ESPAM MFL* [bachelor Thesis, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Felix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2344>
- Cedeño, E. P., Dilas, J. O. y Carrillo, M. D. (2024). Cambios de algunas propiedades químicas en tres suelos salinos, tratados con cinco enmiendas cálcicas. *Agronomía Costarricense*, 111-123. <https://doi.org/10.15517/rac.v48i1.59139>
- Chen, S., Li, P., Tan, S., Pu, X., Zhou, Y., Hu, K., Huang, W. y Liu, L. (2021). Combined proteomic and physiological analysis of chloroplasts reveals drought and recovery response mechanisms in *Nicotiana benthamiana*. *Plants*, 10(6), 1127. <https://doi.org/10.3390/plants10061127>
- Chuchert, S., Nualsri, C. y Soonsuwon, W. (2022). Genetic variability and diversity of upland rice landraces. *Turkish Journal Of Field Crops*, 27(2), 175-181. <https://doi.org/10.17557/tjfc.998285>
- De Sousa, T. A. T., Do Monte, F. P., Silva, J. V. D. N., Lopes, W. S., Leite, V. D., Van Lier, J. B. y De Sousa, J. T. (2021). Alkaline and acid solubilisation of waste activated sludge. *Water Science and Technology*, 83(12), 2980-2996. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.179>
- Duarte, F. P., Silva, A. F. R., Lange, L. C., Amaral, M. C. S., Neta, L. S. D. F. y Moravia, W. G. (2023). Vinasse processing by electrodialysis combined with nanofiltration: Emphasis on process optimization and environmental sustainability. *Water Science & Technology*, wst2023355. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.355>
- Ferreira, L. C., Moreira, B. R. D. A., Montagnolli, R. N., Prado, E. P., Viana, R. D. S., Tomaz, R. S., Cruz, J. M., Bidoia, E. D., Frias, Y. A. y Lopes, P. R. M. (2021). Green manure species for phytoremediation of soil with tebuthiuron and vinasse. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 613642. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.613642>
- Gao, W.-T. y Su, W.-H. (2024). Weed management methods for herbaceous field crops: A review. *Agronomy*, 14(3), 486. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030486>
- González Suárez A., Hernández Alfonso I. y Pereda Reyes I. (2019). Pretratamiento alcalino de bagazo de caña para mejorar la producción de biometano. *Revista Centro Azúcar*, 46, 79-88. <https://centroazucar.uclv.edu.cu>
- González, J. A., Buedo, S. E., Prado, F. E. y Álvarez, S. (2018). Efecto de la vinaza sobre el crecimiento y productividad de la Soja (*Glycine max*) en condiciones semicontroladas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 53(4), 597-608. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n4.21982>
- González, J. A., Languasco, P. y Prado, F. E. (2021). Efecto de las vinazas sobre la germinación de soja, trigo y quinoa en condiciones controladas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 49(4), Article 4. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v49.n4.9825>
- Gwatidzo, V., Chipomho, J. and Parwada, C. (2023). Understanding mechanisms of herbicide selectivity in agro-ecosystems: A review. *Advanced Chemicobiology Research*, 77-86. <https://doi.org/10.37256/acbr.2120232351>
- Hamouzová, K., Sen, M. K., Bharati, R., Košnarová, P., Chawdhery, M. R. A., Roy, A. and Soukup, J. (2023). Calcium signalling in weeds under herbicide stress: An outlook. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1135845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1135845>
- Házi, J., Purger, D., Penksza, K. y Bartha, S. (2023). Interaction of management and spontaneous succession suppresses the impact of harmful native dominant species in a 20-year-long experiment. *Land*, 12(1), 149. <https://doi.org/10.3390/land12010149>

- Hirzel, J., Meier, S., Morales, A., Undurraga, P. y Salazar, F. (2021). Soil chemical properties and wheat production in three Andisol with applications of materials from the cellulose industry. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 45, e0200193. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200193>
- Jolayemi, O. L., Malik, A. H., Ekblad, T., Fredlund, K., Olsson, M. E. y Johansson, E. (2022). Protein-based biostimulants to enhance plant growth—state-of-the-art and future direction with sugar beet as an example. *Agronomy*, 12(12), 3211. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123211>
- Kaur, R., Chahal, P. S., Shi, Y., Lawrence, N. C., Knezevic, S. Z. y Jhala, A. J. (2023). Effect of plant height on control of multiple herbicide-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in glufosinate/glyphosate-resistant corn. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1293293. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1293293>
- Knauf, A. E., Litton, C. M., Cole, R. J., Sparks, J. P., Giardina, C. P., Gerow, K. G. y Quiñones-Santiago, M. (2021). Nutrient-use strategy and not competition determines native and invasive species response to changes in soil nutrient availability. *Restoration Ecology*, 29(5), e13374. <https://doi.org/10.1111/rec.13374>
- Koskey, G., Mburu, S. W., Awino, R., Njeru, E. M. y Maingi, J. M. (2021). Potential use of beneficial microorganisms for soil amelioration, phytopathogen biocontrol, and sustainable crop production in smallholder agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606308. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606308>
- Luz, D., Gomes, A., Simas, N., Heringer, O., Romão, O., Lovatti, W., Scherer, B., Filgueiras, P. and Kuster, R. (2020). Sugarcane waste products as source of phytotoxic compounds for agriculture. 9, 385-397. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2020.1885536.1007>
- Mahajan, M., Singh, R., Gupta, P. y Chelliapan, S. (2024). Quantitative assessment of irrigation water and organic/inorganic amendment on biometric growth profiles of *Abelmoschus esculentus* and *Solanum lycopersicum* and their varieties. 26(7), 1735-1752. <https://doi.org/10.2166/hydro.2024.394>
- Mahmoud, S., Siam, H., Taalab, A. y Mahamed, S. (2019). Significant use of vinasse as a partial replacement with chemical fertilizers sources for spinach and barley production and their effect on growth and nutrients composition of plant. *Plant Archives*, 19(1), 1593-1600.
- Ma'rufah, S., Sari, R. y Rusdiana, R. Y. (2020). Pemanfaatan vinasse sebagai pupuk organik cair untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil bunga kol (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(1), 18. <https://doi.org/10.25181/jppt.v20i1.1552>
- Medina, J. T., Ayllon, M., Julca, C., Moreyra, G., Carrasco, L. A., Ancieta, C. A., Rodríguez, O. J., Avelino, C., Diaz, P. y Montañón, J. A. (2024). Processes coupled to electrocoagulation for the treatment of distillery wastewaters. *Sustainability*, 16(15), 6383. <https://doi.org/10.3390/su16156383>
- Mensah, M., Tia, R., Adei, E. y De Leeuw, N. H. (2022). A DFT mechanistic study on base-catalyzed cleavage of the  $\beta$ -O-4 ether linkage in lignin: Implications for selective lignin depolymerization. *Frontiers in Chemistry*, 10, 793759. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.793759>
- Morales Avendaño, E. D., Navarrete Álava, J., Garzón Cedeño, F., y Zambrano Lara, M. (2023). Aplicación del  $\text{NaHCO}_3$  como estrategia físico-química para mitigar el impacto ambiental de la vinaza producida en la destilación de alcohol artesanal. *La Técnica*, 13(2), 93-101. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i2.6179>
- Otoya, A., Haro, E., Gutiérrez, L. y Solís, H. (2023). *Vinaza. Evaluación de su impacto en un campo de cultivo* (69). Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.69>
- Parise, A. G., Bertoli, S. C. y Souza, G. M. (2021). Belowground interactions affect shoot growth in *Eucalyptus urophylla* under restrictive conditions. *Plant Signaling & Behavior*, 16(9), 1927589. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1927589>
- Pino, A. D., Casanova, O., Hernández, J., Takata, V. y Panissa, G. (2022). Vinasse for sugarcane crop nutrition: Accumulation and efficiency in the use of nutrients. *Australian Journal of Crop Science*, 16(09):2022, 1107-1116. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.09.p3617>
- Portocarrero, R., Vera, J., Vallejo, J., Gerónimo, E., Costa, J. y Aparicio, V. (2023). Long-term vinasse application enhanced the initial dissipation of atrazine and ametryn in a sugarcane field in Tucumán, Argentina. <https://doi.org/10.1002/ieam.4876>
- Rachman, L. M., Hartono, A., Hazra, F., Noorwicaksono, T., Wasono, K. B., Adityasari, A. D., Prabowo, B., Putri, N. y Davik. (2023). Essence, principle, and technique in utilization and converting vinasse waste to bio-organic fertilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1133(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1133/1/012023>
- Rawajfeh, K. (2021). Precipitation of solid waste in olive mill wastewater by coagulation using calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). *Jordanian Journal of Engineering and Chemical Industries (JJECI)*, 4(3), 78-85. <https://doi.org/10.48103/jjeci4102021>
- Rehling, F., Sandner, T. M. y Matthies, D. (2021). Biomass partitioning in response to intraspecific competition



- depends on nutrients and species characteristics: A study of 43 plant species. *Journal of Ecology*, 109(5), 2219-2233. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13635>
- Repajić, M., Cegledi, E., Zorić, Z., Pedisić, S., Elez Garofulić, I., Radman, S., Palčić, I. y Dragović-Uzelac, V. (2021). Bioactive compounds in wild nettle (*Urtica dioica* L.) leaves and stalks: polyphenols and pigments upon seasonal and habitat variations. *Foods*, 10(1), 190. <https://doi.org/10.3390/foods10010190>
- Sagwal, A., Wadhwa, P., Shubham y Kaushal, S. (2023). Essentiality of micronutrients in soil: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(24), 56-65. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i244297>
- Soares, A. D. A. V. L., Prado, R. D. M., Bertani, R. M. D. A., Da Silva, A. P. R., Deus, A. C. F., Kano, C. y Furlaneto, F. D. P. B. (2024). Contribution of using filter cake and vinasse as a source of nutrients for sustainable agriculture—A review. *Sustainability*, 16(13), 5411. <https://doi.org/10.3390/su16135411>
- Soukaina, N., Chaimaa, M., Kabriti, M., Abdelmotalib, N., Naamane, A., Mohamed, C. y Nadia, I. (2022). Treatment of surface treatment effluents by electrocoagulation process using aluminium electrodes. *Journal of Ecological Engineering*, 23(1), 91-99. <https://doi.org/10.12911/22998993/143974>
- Stephen, G. S., Shitindi, M. J., Bura, M. D., Kahangwa, C. A. y Nassary, E. K. (2024). Harnessing the potential of sugarcane-based liquid byproducts—Molasses and spentwash (vinasse) for enhanced soil health and environmental quality. A systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1358076. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1358076>
- Tiwari, A. K. (2023). The role of organic farming in achieving agricultural sustainability: environmental and socio-economic impacts. *Acta Biology Forum*, 2(2), 29-32. <https://doi.org/10.51470/ABF.2023.2.2.29>
- Torres, M. A., Valdez, A. L., Angelicola, M. V., Raimondo, E. E., Pajot, H. F. y Nieto, C. G. (2022). *Cultivation of plant-growth promoters in vinasse: Contributions for a circular and green economy*. Bioengineering. <https://doi.org/10.1101/2022.12.28.522132>
- Toscano, P., Cutini, M., Cabassi, G., Pricca, N., Romano, E. y Bisaglia, C. (2022). Assessment of a deep burial destoning system of agrarian soils alternative to the stone removal and on-site crushing. *AgriEngineering*, 4(1), 156-170. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010011>
- Vieira, G. S., Fonseca, A. U., Rocha, B. M., Sousa, N. M., Ferreira, J. C., Felix, J. P., Lima, J. C. y Soares, F. (2022). Insect predation estimate using binary leaf models and image-matching shapes. *Agronomy*, 12(11), 2769. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112769>
- Weng, X., Li, H., Ren, C., Zhou, Y., Zhu, W., Zhang, S. y Liu, L. (2022). Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 13, 887098. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.887098>
- Yin, J., Deng, C. y Wang, X. (2019). Effects of long-term application of vinasse on physicochemical properties, heavy metals content and microbial diversity in sugarcane field soil. *Sugar Tech*, 21, 62-70. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0630-2>
- Zielińska, M., Bułkowska, K. y Mikucka, W. (2021a). Valorization of distillery stillage for bioenergy production: A review. *Energies*, 14(21), 7235. <https://doi.org/10.3390/en14217235>

#### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**Washington Agapo Guzmán Paredes:** conceptualización, investigación, curación de datos, redacción – borrador original. **Ever Darío Morales Avendaño:** conceptualización, metodología, supervisión, redacción – revisión y edición.



# Importancia de la interpretación conjunta del coeficiente de variación y de determinación en ensayos agrícolas: Un estudio de caso con rendimiento de frijol

## Importance of joint interpretation of the coefficient of variation and determination in agricultural trials: A case study with bean yield

### Autores

Freddy Carlos Gavilánez Luna

✉ fgavilanez@uagraria.edu.ec



### Resumen

Verificar la bondad de un experimento agrícola en los modelos de análisis de varianza (ANOVA) únicamente a través del coeficiente de variación (CV) de sus variables puede inducir a tomar decisiones sobre ensayos poco precisos (error II) o, incluso, llevar al extremo más complicado de recomendar alternativas que en la práctica no tienen efectos significativos (error I). Un estadígrafo que debe acompañar al CV para valorar dicha bondad y que no sea afectado por los grados de libertad del error experimental como en este último, es el coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Ante esta situación se propuso detallar demostrativamente un ejemplo práctico para incrementar el juicio de valor de un investigador al momento de aceptar los resultados de un experimento, considerando para ello lo establecido por el CV y el  $r^2$  de manera simultánea. Se analizó el rendimiento como variable de un experimento con 24 datos, considerando un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Se comprobaron los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad de los residuos; se realizó el ANOVA y se calculó el CV,  $r^2$  y el índice de repetitividad del ensayo. Se demostró la aparente bondad del experimento al obtenerse un CV de 10,88%, por debajo del límite máximo dado por la literatura (30%); no obstante, que el  $r^2$  apenas presentó un valor de 0,47 alejado del límite mínimo de 0,60; lo cual destaca la importancia de observar el CV junto al  $r^2$  cuando se examina la solidez de un resultado experimental.

**Palabras clave:** análisis de varianza, error experimental, sumas de cuadrados, unidad experimental.

Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil,  
Ecuador.

**Citación sugerida:** Gavilánez Luna, F. C. (2025). Importancia de la interpretación conjunta del coeficiente de variación y de determinación en ensayos agrícolas: un estudio de caso con rendimiento de frijol. *La Técnica*, 15(2), 97-102. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7320>

### Abstract

Verifying the goodness of an agricultural experiment in analysis of variance (ANOVA) models only through the coefficient of variation (CV) of its variables can lead us to make decisions about imprecise trials (error II) or even take us to the extreme, more complicated to recommend alternatives that in practice do not have significant effects (error I). A statistician that must accompany the CV to assess this goodness and that is not affected by the degrees of freedom of the experimental error as in the latter, is the coefficient of determination ( $r^2$ ). Given this situation, it was proposed to demonstratively detail a practical example to increase the value judgment of a researcher when accepting the results of an experiment, considering for this purpose what is established by the CV and the  $r^2$  simultaneously. Performance was analyzed as a variable in an experiment with 24 data, considering a randomized complete block design with six treatments and four repetitions. The assumptions of normality, independence and homoscedasticity of the residuals were checked; the ANOVA was performed and the CV,  $r^2$ , was calculated, in addition to the repeatability index of the trial. The apparent goodness of the experiment was demonstrated by obtaining a CV of 10.88%, well below the maximum limit given by the literature (30%), although the  $r^2$  barely presented a value of 0.47 far from the minimum limit of 0.60; which highlights the importance of looking at CV alongside  $r^2$  when examining the robustness of an experimental result.

**Keywords:** analysis of variance, experimental error, experimental unit, sums of squares.

Recibido: Febrero 25, 2025  
Aceptado: Septiembre 22, 2025  
Publicado: Octubre 25, 2025



## Introducción

En todo contexto de investigación experimental, los ensayos constituyen herramientas para tomar decisiones, especialmente cuando de éstos depende cambiar una metodología que requiere una mayor inversión, respecto de la que se ha venido empleando en un proceso productivo. De esta situación no son ajenos los experimentos agrícolas, los cuales, en su gran mayoría y especialmente cuando se trata de que estos tengan la suficiente validez externa, sirvan para recomendar sus resultados a un grupo de agricultores de una zona, de tal forma que adopten los cambios sugeridos como el uso de una nueva semilla, una dosis y/o un fertilizante diferente, una nueva forma de preparar el suelo, una aplicación complementaria de nutrientes orgánicos, entre otras; todo con el propósito de lograr una alta rentabilidad.

Sin embargo, en la toma de decisión respecto de los resultados de un experimento se tendrá un riesgo latente de cometer el error I, consistente en rechazar una realidad en la que todos los tratamientos de una prueba tienen un efecto estadísticamente similar (rechazo de hipótesis nula cuando esta es verdadera), produciendo así un falso positivo; o el error II, que se refiere a la declaración de diferencias no significativas entre un grupo de tratamientos cuando estos en verdad tienen efectos distintos (aceptación de hipótesis nula cuando esta es falsa) (Kuehl, 2001), dando lugar a un falso negativo. Para evitar el primero, la única forma de combatirlo es aleatorizando la asignación de tratamientos a las unidades experimentales o viceversa; mientras que, para eludir el segundo, la alternativa es aumentar el número de repeticiones (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

El error tipo II está ligado a la precisión de los experimentos y se comete cuando el error experimental alcanza cierto valor, a partir del cual, una herramienta estadística clásica como el análisis de varianza (ANOVA) no logra detectar diferencias significativas entre tratamientos, aunque éstas sí existan (Vargas-Rojas et al., 2020). No obstante, la varianza o cuadrado medio del error experimental (CME) puede ser minimizada aumentando el número de repeticiones, con lo cual se consigue una aparente sensibilidad en el experimento para detectar diferencias, reduciendo ilusoriamente el efecto, incluso, de algún posible error sistemático que se haya añadido al error experimental siendo que este último debe ser únicamente aleatorio (Cochran y Cox, 1992).

La mayoría de investigadores agrícolas utilizan el CME para valorar la bondad de sus experimentos a través del coeficiente de variación (CV) (Nardino et al., 2020) aun cuando existen detractores del uso de este último por su dependencia con las medias (Taylor et al., 2008; Vásquez y Caballero, 2011). Sin embargo, el CV ofrece una visión aproximada del cuidado

con que se ha manejado un ensayo (Balzarini et al., 2011), considerándose que los valores por encima del 30% son un indicativo de experimentos no confiables (Mičić y Bosančić, 2012; Gordón-Mendoza y Camargo-Buitrago, 2015) cuando sus modelos de ANOVA arrojan diferencias significativas entre tratamientos. En este sentido, el aumento de repeticiones puede hacer que el CV se reduzca, incluso hasta límites de declarar diferencias “significativas” entre tratamientos, pero inviábiles en términos de rentabilidad que ni siquiera superan los costos de oportunidad del productor (CIMMYT, 1988), especialmente cuando se registra un CV menor al 5% (Mičić y Bosančić, 2012).

En un experimento mal manejado, un número relativamente elevado de repeticiones solo minimizará matemáticamente el error sistemático producido (que no es parte del error experimental); no obstante, éste seguirá presente en el ensayo. Luego, tomar una decisión bajo esta circunstancia puede ser riesgoso. Este riesgo es insuficientemente advertido por el CV debido a que este coeficiente se calcula a partir del CME, es decir, un valor obtenido de la división entre los residuos cuadráticos del error experimental (SCE) de los datos y sus correspondientes grados de libertad (Montgomery, 2004) que están en función del número de repeticiones, lo cual termina ocultando la real variabilidad dentro de cada tratamiento (variabilidad intra-grupos) al presentar un CV supuestamente aceptable (menos del 30%) (Gordón-Mendoza y Camargo-Buitrago, 2015).

Un estadígrafo que debe ser inevitablemente observado de forma complementaria al CV para valorar la precisión de un experimento y poder advertir los defectos antes indicados de éste, es el coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Este coeficiente, a diferencia del CV, toma en cuenta la variación absoluta de los datos representada por las sumas de cuadrados, indicando la proporción de variabilidad que se debe a los factores de interés evaluados dentro de un determinado modelo de ANOVA (variabilidad conocida) respecto de la variabilidad total (Montgomery et al., 2006). En este sentido, el  $r^2$  de un modelo de ANOVA, el cual puede variar entre 0 y 1, permite observar la variación absoluta (sin afectación de los grados de libertad) que le corresponden al error experimental ( $1-r^2$ ) y tener una mayor certeza de la bondad de un experimento cuando su valor es  $\geq 0,7$  (Gutiérrez y De La Vara, 2008), o incluso si se considera un límite inferior como el de 0,6 (Balzarini et al., 2011).

El coeficiente de determinación es una de las medidas de ajuste de modelos lineales que más se utiliza, ya sea que éstos tengan objetivos prospectivos u objetivos confirmatorios (García, 2002). Comparativamente, el  $r^2$  es más inmutable que el CV en el sentido de que sus valores no se relativizan según el tamaño de la muestra (Chicco et al., 2021) y su capacidad de ser más

informativo puede observarse en la selección de los niveles (tratamientos) de los factores de prueba en los experimentos (Gutiérrez y De La Vara, 2008), especialmente aquellos que son de características cuantitativa como los fertilizantes, ya que dosis mal seleccionadas podrían ocasionar una escasa variabilidad conocida, resultando en valores de  $r^2$  no aceptables ( $<0,6$ ) (Balzarini et al., 2011). Además, un aspecto que es destacable del  $r^2$  es su capacidad de mantenerse sin cambios aun cuando se recurre a determinadas transformaciones de los datos para estabilizar las varianzas (Bowman y Watson, 1997), constituyéndose en un elemento fundamental al momento de declarar efectos significativos.

Por lo expuesto, esta nota técnica tiene el objetivo de incrementar el juicio de valor de un investigador al momento de aceptar los resultados de un experimento, considerando para ello lo establecido por el CV y el  $r^2$  de manera simultánea.

### Materiales y métodos

Se utilizaron datos de rendimiento de frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.), ajustado al 12% de humedad, de uno de los experimentos de práctica desarrollados en el Centro Experimental “El Misionero” de la Universidad Agraria del Ecuador (tabla 1) en la ciudad de Milagro, provincia del Guayas. Las condiciones climáticas de la zona están dadas por una precipitación media anual de 1.297 mm, una humedad relativa del 82%, una temperatura promedio de 25,2 °C y una velocidad del viento de 1,2 m·s<sup>-1</sup>. El ensayo se realizó como parte del componente práctico de la asignatura de diseño experimental de la carrera de agronomía, en el cual se evaluaron dosis crecientes del lixiviado de un proceso de lombricultura (desde 0 hasta 25 L·ha<sup>-1</sup> en intervalos de 5 L·ha<sup>-1</sup>). El ensayo incluyó seis tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, bajo un diseño de bloques completos al azar. Con el propósito de garantizar la confiabilidad estadística del experimento, se diseñó de manera que el error experimental contara con un mínimo de 12 grados de libertad, conforme al criterio propuesto por Carballo y Quiroga (1976).

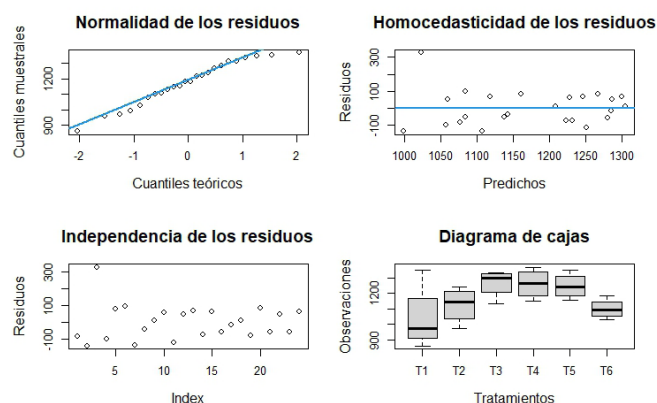
**Tabla 1.** Datos de rendimiento (kg·ha<sup>-1</sup>) de frijol canario en Milagro, Ecuador 2024.

Bloques	Tratamientos						Total
	T1 (0 L·ha <sup>-1</sup> )	T2 (5 L·ha <sup>-1</sup> )	T3 (10 L·ha <sup>-1</sup> )	T4 (15 L·ha <sup>-1</sup> )	T5 (20 L·ha <sup>-1</sup> )	T6 (25 L·ha <sup>-1</sup> )	
1	990,9	1241,4	1315,9	1368,9	1269,9	1080,6	7267,6
2	860,1	1181,0	1287,3	1148,6	1218,7	1109,5	6805,2
3	1350,2	971,0	1132,1	1311,2	1154,9	1027,3	6946,7
4	957,1	1103,1	1336,7	1222,9	1351,2	1184,5	7155,5
Total	4158,3	4496,5	5072,0	5051,6	4994,7	4401,9	28175,0
D e s v . estánd.	214,38	116,73	92,84	97,01	82,97	65,55	
Medias	1039,6	1124,1	1268,0	1262,9	1248,7	1100,5	

Con la información se realizó el ANOVA, previa constatación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuos de forma analítica y gráfica. Conjuntamente se obtuvo el CV, el  $r^2$  y el índice de repetitividad ( $I_r$ ). Estos análisis se desarrollaron mediante el software RStudio (RStudio Team, 2023).

### Resultados y discusión

Los residuos de los datos prácticamente cumplieron con los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia (figura 1), todo lo cual permitió validar los resultados que se obtuvieron posteriormente mediante el modelo de ANOVA (Montgomery, 2004), aun antes de hacerse evidente la incidencia del valor extremo representado en el tratamiento 1 del bloque 3 a través del diagrama de cajas, del gráfico de homocedasticidad e independencia de los residuales. La incidencia de este único valor no alteró el grado de significancia ( $P>0,05$ ) revelado con las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk y de Levene, las mismas que verificaron el cumplimiento de normalidad y homocedasticidad de los residuales, respectivamente (tabla 2).



**Figura 1.** Gráfica para verificación de supuestos del ANOVA.

Las pruebas analíticas para análisis exploratorios de datos experimentales, dado el tamaño muestral que se manejan en éstos, deben aplicarse en conjunto con las evaluaciones gráficas para poder comprobar efectivamente el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuales. En este caso, si se considera únicamente la perspectiva analítica, habría que dar por sentado el cumplimiento de normalidad y homocedasticidad de los datos (tabla 2); sin embargo, el análisis gráfico hizo evidente un valor extremo entre los datos, de allí que se tenga cierta preferencia de este último en los experimentos por cuanto hace posible observar si dicho incumplimiento está soportado por más de dos puntos atípicos que es el límite para restringir irremediablemente el uso de pruebas paramétricas (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

**Tabla 2.** Comprobación analítica de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos de rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) de frijol canario en Milagro, Ecuador 2024.

Prueba	Estadístico observado	P-valor
Shapiro - Wilk	0,9543	0,3355
Levene <sup>1</sup>	1,4303	0,2610

<sup>1</sup>Tomando de centro a la media.

El ANOVA de los datos reveló diferencias no significativas (0,090) entre tratamientos (tabla 3) al nivel del 5% de probabilidad. Sin embargo, las diferencias podrían declararse significativas si se tomara como límite un 10% en la probabilidad de error; situación distinta para los bloques, los cuales han revelado una contundente homogeneidad del terreno ( $P$ -valor=0,729). Esta aparente certeza está respaldada por el CV de los datos al estar por debajo del máximo 30% recomendado para los experimentos agrícolas (Balzarini et al., 2011). Sin embargo, si se observan las sumas de cuadrados de las tres fuentes de variación del ANOVA, es destacable la mayor variación que presenta el error experimental (53,3%) con respecto a la de los tratamientos y de bloques, evidenciando una carga importante de varianza “desconocida” que hace que el ensayo sea insensible y no logre detectar diferencias significativas.

**Tabla 3.** ANOVA de los datos de rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) de frijol canario en Milagro, Ecuador 2024.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Total	23	459498,52			
Tratamientos	5	193116,31	38623,26	2,366	0,090
Bloques	3	21486,95	7162,32	0,439	0,729
Error experimental	15	244895,26	16326,35		

CV: 10,88%,  $r^2$ : 0,47,  $I_1$ : 0,47.

La magnitud del error experimental indicado en la tabla 3 queda plenamente resaltada si se observa el coeficiente de determinación del ensayo, con un valor menor que el mínimo recomendado de 0,70 para tener confianza en lo resuelto por un experimento en cuanto a precisión (Gutiérrez y De La Vara, 2008). Complementariamente, esta precisión también puede ser observada mediante el índice de repetitividad ( $I_1$ ) del experimento, cuyo valor, al estar por debajo de 0,70, es evidencia también de la falta de cuidado del ensayo (Senar, 1999).

Al observar el valor del CV, aparentemente se tendría un ensayo de buena precisión y uniforme por cuanto este valor fue menor al 20% (Ruiz-Ramírez, 2010; Mishra et al., 2023). No obstante, la variabilidad mostrada por este indicador resulta un tanto engañosa al observar concomitantemente el  $r^2$  del ensayo,

el cual revela que la variación explicada efectivamente por el modelo de ANOVA apenas es del 47%; esto es, un experimento que no tiene confiabilidad (Balzarini et al., 2011) debido a la importante variabilidad absoluta desconocida que desmerece cualquier resultado. En este punto es preciso advertir que, entre los diversos ensayos agrícolas, experimentos con valores de CV relativamente altos no necesariamente significa la presencia importante de un error sistemático, dado que este coeficiente depende del tipo de experimento y de la clase de variable que se evalúe (García et al., 2021); sin embargo, el rendimiento es una variable que comúnmente tiene residuales normales debido al control interno de los ensayos (Yaguas, 2017).

Un aspecto defectuoso encubierto por el CV en los experimentos tiene que ver con los grados de libertad del error experimental (GLEE). Su aparente bondad va tomando fuerza a partir de más o menos 12 a 14 GLEE, límites inferiores aproximados desde los cuales varios autores (Mayor-Durán et al., 2012; Mishra et al., 2023) justifican la potencia estadística de pruebas como el ANOVA para lograr sensibilidad experimental. Aun ante ello, tener un experimento con un número elevado de GLEE permite disimular la magnitud absoluta del error experimental a través de la reducción del CV, tal como ha sucedido en este experimento; pudiendo incluso ser contraproducente desde el punto de vista del cometimiento del error tipo I cuando el ANOVA logra detectar mínimas diferencias estadísticas entre tratamientos que, en la aplicación práctica, no son convenientes desde el punto de vista de la rentabilidad (Cumming, 2014; Martínez-Ezquerro et al., 2017) por cuanto la magnitud del incremento en el rendimiento de un cultivo puede no compensar los costos adicionales que más bien disminuirían la utilidad económica del proceso. Además, el incremento excesivo de repeticiones más allá de las necesarias, aparte de generar gastos, tampoco contribuye a un incremento sustantivo de precisión (Martínez-Ezquerro et al., 2017); y que, bajo la presencia de un error no aleatorio por mal manejo experimental, ésta última sería sólo precisión aparente.

### Conclusión

La validez de un experimento en cuanto a precisión no debe supeditarse exclusivamente a lo que revela el CV, debido a que este coeficiente puede encubrir la verdadera magnitud del error experimental. Por esta razón es necesario contemplar otros indicadores como el  $r^2$ , que permitan valorar en términos absolutos y de manera integral el grado de confiabilidad y solidez de un ensayo.

### Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

## Referencias bibliográficas

- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., González, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W. y Casanoves, F. (2011). *Estadística y biometría*. Argentina: Editorial Brujas.
- Bowman, D. T. & Watson, C. E. (1997). Measures of validity in cultivar performance trials. *Agronomy Journal*, 89(6), 860-866. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900060003x>
- Carballo, A. y Quiroga, V. (1976). *Manual práctico para el análisis de experimentos de campo*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). <https://n9.cl/kvk9a>
- Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT). (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. México: CIMMYT. <https://n9.cl/47h35>
- Chicco, D., Warrens, M. J. & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7:e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Cochran, W. G. & Cox, G. M. (1992). *Experimental designs*. Reino Unido: Wiley.
- Cumming G. (2014). The new statistics: why and how. *Psychol Sci.*, 25(1), 7-29. doi: 10.1177/0956797613504966.
- García, B., Amorin, G., Luciene, K., Soares, P., Bastos, A., Almeida, T., Daieny, A. & Menezes, L. (2021). Classification of the coefficient of variation for experiments with eucalyptus seedlings in greenhouse. *Revista Ciência Agrônômica*, 52(4), e20207587. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210050>
- García, R. M. (2002). *Inferencia estadística y diseño de experimentos*. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Gordón-Mendoza, R. y Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 55-63. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2da. Ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos de diseño y análisis de investigación* (2da. Ed.). México: International Thomson Editores S.A.
- Mayor-Durán, V., Blair, M. y Muñoz, J. (2012). Metodología para estimar el coeficiente de heterogeneidad del suelo, el número de repeticiones y el tamaño de parcela en investigaciones con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Agronómica*, 61(1), 32-39. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122012000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122012000100005&script=sci_arttext)
- Mičić, N. and Bosančić, B. (2012). Variability and variation coefficients in biological and agricultural experimental research. *Agroznanje*, 13(3), 331-342. <https://doi.org/10.7251/AGRSR1203331M>
- Mishra, P., Hasham, M. M., Manjunatha, G. R., Ray, S., Homa, F. and Pawariya, V. (2023). Role of design of experiment in agriculture trials and its role in decision making. *International Journal of Agricultural & Statistical Sciences*, 19(1), 389-399. <http://dx.doi.org/10.59467/IJASS.2023.19.389>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (2da. Ed.). México: Editorial LIMUSA S.A.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. y Vining, G. G. (2006). *Introducción al análisis de regresión lineal* (3era. Ed.). México: Compañía Editorial Continental.
- Nardino, M., Machado, J., Torres, V., Costa, F. Dias, F. and Silva, W. (2020). Coefficient of variation: a new approach for the study in maize experiments. *Brazilian Journal of Biometrics*, 38(2), 185-206. <https://doi.org/10.28951/rbb.v38i2.440>
- RStudio Team. (2023). *RStudio: Integrated Development for R* [Computer software]. Posit Software, PBC. <https://posit.co>
- Ruiz-Ramírez, J. (2010). Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 149-154. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792010000200006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200006)
- Senar, J. C. (1999). La medición de la repetibilidad y el error de medida. *Etología*, 5(17), 53-64. [https://www.researchgate.net/publication/233801237\\_La\\_medicion\\_de\\_la\\_repetibilidad\\_y\\_el\\_error\\_de\\_medida](https://www.researchgate.net/publication/233801237_La_medicion_de_la_repetibilidad_y_el_error_de_medida)
- Taylor, S. L., Payton, M. E. and Raun, W. R. (2008). Relationship between mean yield, coefficient of variation, mean square error, and plot size in wheat field experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(9-10), 1439-1447. <https://doi.org/10.1080/00103629909370298>
- Vargas-Rojas, J., Vega-Villalobos, E. y Cerdas-Ramírez, R. (2020). Tamaño y forma de la unidad experimental en ensayos de rendimiento de *Brachiaria* híbrido CIAT 3608. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 144-149. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v43n2/2078-8452-pyf-43-02-144.pdf>
- Vásquez, E. R. y Caballero, A. (2011). Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 59-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193222357008>



**Declaración de contribución a la autoría según CRediT**

**Freddy Carlos Gavilánez Luna:** conceptualización, redacción-borrador original, metodología, investigación, análisis formal, redacción-revisión y edición.



# Propagación regional y perspectivas filogenéticas sobre la transmisión del virus de la rabia en el ganado bovino del sur de Ecuador

## Regional spread and phylogenetic perspectives on rabies virus transmission in cattle in southern Ecuador

### Autores

<sup>1</sup>Jorge Rodrigo Espinoza Samaniego   
✉ joespinozasa@uide.edu.ec

<sup>1</sup>Edilberto Chacón Marcheco   
✉ edilberto.chacon@utc.edu.ec

<sup>2</sup>Luis Alfredo Mena Miño   
✉ luismenamino@hotmail.com

<sup>3</sup>Rubén Alexander Maldonado Orbe   
✉ ruben.maldonado@uisek.edu.ec

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Maestría en Ciencias Veterinarias, Unidad Académica de Posgrado, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

<sup>2</sup>Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD), Sanidad <sup>3</sup>Animal, Quito, Pichincha, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad Internacional SEK-UISEK, Facultad de Ciencias de la Salud, Enfermedades Desatendidas, Emergentes, Ecoepidemiología y Biodiversidad (GIEED), Biomedicina Experimental y Aplicada (GIBEA), Quito, Pichincha, Ecuador.

**Citación sugerida:** Espinoza Samaniego, J. R., Chacón Marcheco, E., Mena Miño, L. A., Maldonado Orbe, R. A. (2025). Propagación regional y perspectivas filogenéticas sobre la transmisión del virus de la rabia en el ganado bovino del sur de Ecuador. *La Técnica*, 15(2), 103-111. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7321>

Recibido: Febrero 26, 2025

Aceptado: Octubre 10, 2025

Publicado: Noviembre 01, 2025

### Resumen

La enfermedad de la rabia es una zoonosis letal que tiene un impacto en humanos como en animales. Para entender la evolución y la epidemiología de la enfermedad, es fundamental su caracterización a nivel molecular. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue realizar la caracterización molecular de los aislamientos del virus obtenidos a partir de tejido cerebral bovino en la Zona 7 de Ecuador, con el propósito de brindar información útil que contribuya al fortalecimiento de los programas nacionales de vigilancia y control. El estudio incluyó en las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro, durante el período 2015-2020, en el cual fueron analizadas 26 muestras positivas mediante inmunofluorescencia directa y cultivo en células BHK-21, confirmándose la presencia del virus de la rabia. El análisis filogenético reveló que los aislados de Ecuador se distribuyeron en clados específicos, con vínculos evidentes entre las variantes históricas y las aisladas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Por otra parte, los aislados de El Oro mostraron una menor diversidad genética, lo que podría indicar que los modelos de transmisión a nivel local fueron más limitados. Loja y Zamora Chinchipe tuvieron un rol fundamental en la diseminación del virus, probablemente debido a las condiciones ecológicas que benefician a los murciélagos hematófagos. Asimismo, la diversidad genética que se ha observado resalta lo crucial de la vigilancia genómica que permita detectar mutaciones genéticas que podrían afectar la efectividad de las vacunas y los métodos de control existentes. Este estudio destaca la relevancia de establecer políticas sanitarias que se alineen con los patrones de distribución local del virus y enfatiza el empleo sustancial de herramientas moleculares y filogenéticas para la vigilancia epidemiológica. La información generada contribuirá al fortalecimiento de programas de control más efectivos, orientados a reducir el impacto de esta enfermedad en la región mejorando los programas de vigilancia y control.

**Palabras clave:** rabia, caracterización molecular, análisis filogenético, Ecuador, vigilancia epidemiológica.

### Abstract

Rabies is a lethal zoonosis that impacts both humans and animals. To understand the evolution and epidemiology of the disease, its molecular characterization is essential. Therefore, the objective of this study was to perform the molecular characterization of virus isolates obtained from bovine brain tissue in Zone 7 of Ecuador, with the aim of providing useful information that contributes to strengthening national surveillance and control programs. This study included cases in the provinces of Zamora Chinchipe, Loja, and El Oro during the period 2015-2020. Twenty-six positive samples were analyzed by direct immunofluorescence and culture in BHK-21 cells, confirming the presence of the rabies virus. Phylogenetic analysis revealed that isolates from Ecuador are distributed in specific clades, with evident links between historical variants and those isolated in the provinces of Loja and Zamora Chinchipe. On the other hand, the isolates from El Oro showed less genetic diversity, which could indicate that local transmission models are more limited. Loja and Zamora Chinchipe play a fundamental role in the dissemination of the virus, likely due to ecological conditions that benefit blood-sucking bats. Furthermore, the observed genetic diversity highlights the importance of genomic surveillance, which allows for the detection of genetic mutations that could affect the effectiveness of existing vaccines and control methods. This study highlights the importance of establishing health policies that align with local distribution patterns of the virus and emphasizes the substantial use of molecular and phylogenetic tools for epidemiological surveillance. The information generated will contribute to the strengthening of more effective control programs, aimed at reducing the impact of this disease in the region by improving surveillance and control programs.

**Keywords:** rabies, molecular characterization, phylogenetic analysis, Ecuador, epidemiological surveillance.



## Introducción

El virus de la rabia (RABV), un miembro del género *Lyssavirus* dentro de la familia Rhabdoviridae, es un patógeno zoonótico responsable de la rabia, una enfermedad neurológica mortal que afecta a los mamíferos, entre ellos el ser humano. Con una longitud de aproximadamente 200 nm y un ancho de cerca de 80 nm, el virus tiene una morfología parecida a la bala. Su genoma es de ARN en cadena negativa y codifica cinco proteínas estructurales: nucleoproteína (N), fosfoproteína (P), proteína de matriz (M), glicoproteína (G), y ARN polimerasa dependiente de ARN (L) (Holmes y Holmes, 2023; Parija, 2023). La nucleoproteína, entre otras, tiene un rol esencial en la transcripción y replicación y se ha utilizado previamente en investigaciones de tipificación molecular y análisis filogenéticos para aclarar la dinámica evolutiva del RABV (Omodo et al., 2020; Nadal et al., 2022; Schreiber y Fachinetto, 2022).

La rabia es una zoonosis viral que representa un grave problema de salud pública y tiene un fuerte impacto económico a nivel mundial (World Organization for Animal Health (WOAH), 2023). Cada año, más de 55.000 personas mueren a causa de esta enfermedad, de las cuales el 40% son niños menores de 15 años, frecuentemente mordidos por animales sospechosos de estar infectados (Khairullah et al., 2023; Wallace y Muller, 2024). La rabia silvestre puede generar brotes de rabia urbana que afectan directamente a las personas, ya que se produce un contacto con animales infectados en el entorno, lo que contribuye a la propagación de esta enfermedad (Ortiz et al., 2017). Cuando surgen los signos clínicos, las opciones de tratamiento fueron muy escasas y la letalidad se aproximó al 100%. Pese a que hay vacunas eficaces, para muchas personas en condiciones de riesgo sigue siendo un reto acceder a ellas (Scheffer et al., 2014).

A nivel mundial, organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) han implementado estrategias que han permitido controlar y, en algunos casos, erradicar la rabia en determinados países. Esto se debe a que, al tratarse de una zoonosis, su control tiene un impacto directo en la salud humana (Ortiz et al., 2017). En Ecuador, el monitoreo de esta enfermedad está a cargo de dos instituciones principales: la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosario-Agrocalidad adscrita al Ministerio de Agricultura, que lidera el programa oficial de prevención y control de la rabia parálitica bovina en el sector agropecuario, y el Ministerio de Salud Pública, en colaboración con el Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI), que maneja el control de zoonosis bajo lineamientos como el NOM-011-SSA2-1993. Agrocalidad, como Agencia de Regulación y Control, realiza diagnósticos de rabia parálitica bovina mediante técnicas como inmunofluorescencia directa, aislamiento viral y

pruebas moleculares desde 2014. Sin embargo, aun ante estos esfuerzos, la alta prevalencia de rabia silvestre en el país ha dificultado la obtención de datos específicos sobre las variantes del virus que circulan en las regiones de mayor incidencia, como la región Amazónica. La caracterización molecular del virus y el análisis de la relación entre brotes permitirían identificar las variantes presentes y establecer estrategias más efectivas dentro del programa nacional, con el objetivo de controlar la enfermedad y, a largo plazo, erradicarla. Esto es importante, ya que esta enfermedad ha ocasionado pérdidas económicas significativas en el sector ganadero (Ortiz et al., 2017).

La Zona 7 del Ecuador, incluye las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro, en las cuales se reporta una alta incidencia de rabia silvestre, donde las características demográficas y geográficas constituyen un ambiente propicio para el murciélago hematófago, el cual es el vector principal de la enfermedad (Ortiz et al., 2017). Entre 2015 y 2020, en el país se registraron 263 casos positivos de rabia silvestre, lo que resalta la necesidad de detectar los reservorios que intervienen en la propagación de esta enfermedad y de implementar acciones para evitar rebrotes posteriores (Vizcaino et al., 2016; Ortiz et al., 2017). Pese a los esfuerzos realizados, resulta importante entender la relación genética entre los brotes que se han registrado. Además, la falta de datos moleculares que permitan caracterizar al virus en esta región, limita las capacidades de vigilancia epidemiológica y control de brotes.

Por ello el objetivo de esta investigación fue caracterizar molecularmente aislamientos del virus obtenidos a partir de tejido cerebral bovino de casos positivos de la Zona 7 del Ecuador, con el fin de establecer relaciones filogenéticas en esta región proporcionando información valiosa que permita fortalecer los programas nacionales de vigilancia y control.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Zona 7 del Ecuador, conformada por las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro, a partir de aislados del virus de la rabia detectados durante el período 2015-2020.

## Diseño del estudio y recolección de datos

La rabia es una enfermedad de notificación obligatoria en Ecuador, lo que exige el reporte de casos sospechosos y brotes en animales de producción. Según las directrices nacionales, se investigan los casos con síntomas neurológicos, como cambios repentinos en el comportamiento o parálisis progresiva. En este sentido, técnicos de campo de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosario-Agrocalidad recolectaron muestras de cerebro bovino provenientes de predios afectados, como parte de las directrices establecidas para la vigilancia rutinaria y

emergente. Con el fin de garantizar el diagnóstico preciso de esta enfermedad, se priorizaron muestras de tallo cerebral y cerebelo debido a su alta utilidad diagnóstica.

Se transportaron las muestras en tubos de polipropileno estériles a través de protocolos de cadena de frío (entre 2 y 8 °C) para prevenir que tanto el tejido como el material genético del virus se degradaran. Al llegar a los laboratorios de Agrocalidad, se realizaron pruebas diagnósticas para confirmar la presencia del agente viral. Después, las muestras fueron almacenadas en congelación (-20 °C) para análisis posteriores o para ser utilizadas material de referencia post-confirmación. Los datos relacionados con los casos de rabia, incluyendo la ubicación geográfica, la fecha de recolección y los resultados diagnósticos, fueron registrados en bases de datos nacionales correspondientes al periodo 2015-2020.

### Selección de muestras

Se utilizó la prueba de inmunofluorescencia directa (IFD) para el diagnóstico de muestras de rabia, durante el período 2015-2020, siguiendo las directrices del Manual de Pruebas Diagnósticas y Vacunas para Animales Terrestres de la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH, 2023). Las muestras fueron evaluadas mediante criterios que comprendían la inspección visual del tejido con el fin de descartar autólisis, la confirmación de la integridad anatómica del encéfalo (presencia de bulbo raquídeo o hipocampo), el control de la temperatura del almacenamiento y la ausencia de contaminación externa.

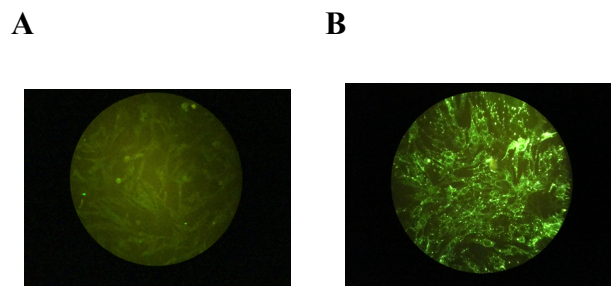
Durante este periodo, 263 muestras de tejido cerebral procedentes de la zona 7 del Ecuador fueron registradas como positivas y reportadas en el Sistema de Información Zoonosaria del Ecuador (SIZSE). A partir de estas muestras se evaluaron inicialmente 136 al cumplir con los criterios para realizar aislamiento viral y pruebas moleculares. De este grupo, se eligieron 46 muestras tomando en cuenta aspectos técnicos como la calidad de conservación, características anatómicas, detección de antígeno viral e importancia epidemiológica.

### Aislamiento del virus de rabia

La línea celular de riñón de hámster neonato (BHK-21) fue utilizada para aislar el virus de la rabia. Previo al aislamiento del virus, las muestras fueron confirmadas mediante inmunofluorescencia directa (IFD), técnica que permitió evidenciar la presencia de proteínas virales características del virus de la rabia. Después, el virus fue aislado por medio de cultivo celular, lo cual se demostró a través de partículas virales fluorescentes observadas en las células en cultivo (figura 1).

El material obtenido de los cultivos celulares fue almacenado a -80 °C para preservar su viabilidad durante el desarrollo de las pruebas posteriores. Este enfoque aseguró la calidad y estabilidad del virus aislado, lo cual fue crucial el estudio molecular y para la construcción de bancos de virus destinados a investigaciones futuras.

La eficacia del cultivo en células BHK-21 y su análisis mediante IFD fue respaldada por estudios previos, que han demostrado la utilidad de esta línea celular para el aislamiento y diagnóstico del virus de la rabia, empleándola también en el análisis de cortes de cerebro humano para confirmar la infección viral (Qin et al., 2019; Wardhani et al., 2021; Harsha et al., 2022; Markbordee et al., 2024). Los resultados del presente estudio refuerzan esta evidencia, destacando la sensibilidad y especificidad de las células BHK-21 como modelo in vitro para el aislamiento del virus.



**Figura 1.** Aislamiento del virus de la rabia en células BHK-21. Las células BHK-21 fueron infectadas con aislados virales obtenidos de tejido cerebral bovino y analizadas mediante la prueba de anticuerpos fluorescentes directos (IFD). A. Control negativo: células no infectadas sin evidencia de fluorescencia, indicando la ausencia de proteínas del virus de la rabia. B. Muestras positivas: células infectadas que presentan focos de fluorescencia verde brillante, característicos de la presencia de proteínas virales específicas del virus de la rabia.

### RT-PCR, electroforesis y secuenciación

Se utilizó el kit de SuperScript IV First-Strand cDNA Synthesis para sintetizar ADN complementario (cDNA), y se utilizó el reactivo TRIzol (Thermo Fisher Scientific™) para extraer ARN total de las células infectadas. El gen de la nucleoproteína (N) se amplificó utilizando los cebadores JW12 (5'-ACGCTTAACAACAARATCARAG-3') y P784 (5'-CCTCAAAGTTCTTGTGGAAGA-3'), reportados para el virus de rabia (Fernandes et al., 2020; Dettinger et al., 2022; Claassen et al., 2023). Las condiciones de PCR incluyeron 30 ciclos de desnaturalización, alineamiento y elongación, y los amplicones se visualizaron en geles de agarosa al 2%, teñidos con SafeView. Con el fin de garantizar datos de calidad, las muestras fueron secuenciadas en ambas direcciones utilizando la técnica Sanger (Macrogen, Corea del Sur).

### Análisis filogenético

Se compiló un conjunto de datos de secuencias del gen de la nucleoproteína, que incluyó tanto los aislamientos ecuatorianos como secuencias de países vecinos disponibles en GenBank. Estos países fueron: Brasil (MN103483), Colombia (JF693463), Ecuador (MF467498, MF467497, HM368179, MF467501, MF467504) y Perú (KU938717) con el objetivo de realizar una comparación entre las secuencias. El genoma del virus de la rabia se utilizó como secuencia de referencia (NC 001542),

mientras que el virus de murciélagos europeo (Eblvf, U22845), un lyssavirus no relacionado con la rabia, se utilizó como el outgroup.

Se incluyeron metadatos, como el año y la ubicación del aislamiento, cuando estaban disponibles. Las secuencias se alinearon utilizando MAFFT (v7.407\_1) (Kato y Standley, 2013), y se eliminaron regiones conservadas pero con divergencias o sitios mal alineados utilizando la herramienta Gblocks (Castresana, 2000; Talavera y Castresana, 2007). Para el análisis filogenético se utilizó el método estadístico de máxima verosimilitud (MV), mientras que el modelo de Tamura-Nei con distribución gamma (TN+F+G2), fue identificado mediante la herramienta Model Finder (Kalyaanamoorthy et al., 2017) como el mejor para estimar las distancias genéticas. El soporte de los clados, se construyó utilizando el software IQ-TREE (v1.6.12) (Nguyen et al., 2015) con 10.000 réplicas de bootstrap (Hoang et al., 2018). Se empleó FigTree (v1.4.4) e iTOL (Letunic y Bork, 2024) para la visualización y anotación del árbol.

**Resultados y discusión**

**Casos de rabia bovina en el sur de Ecuador entre 2015-2020**

Durante el período 2015-2020, un total de 263 casos de rabia bovina fueron confirmados por Agrocalidad correspondientes a las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe. La distribución de los casos bovinos de 2015 a 2020 entre diferentes provincias se presenta en la figura 1. El mayor número de casos confirmados se presentó en Zamora Chinchipe (189 casos; 71,86%), seguido de Loja (70 casos; 26,62%) y El Oro (cuatro casos; 1,52%). Estos resultados coincidieron con estudios previos. Cárdenas (2022), señaló que Zamora Chinchipe fue una de las provincias con mayor incidencia de casos de rabia en bovinos debido a sus condiciones ambientales favorables para la proliferación del virus. De manera similar, se ha reportado entre 2010 y 2018 en Loja 67 casos positivos de rabia bovina a partir de 127 muestras analizadas (Briceño-Loaiza & Alegría-Morán, 2019), lo que subrayó la importancia epidemiológica de esta provincia. Por otro lado, los resultados de este estudio confirmaron que la provincia de El Oro presentó una menor incidencia, en concordancia con el registro histórico de solo cuatro casos positivos reportados en el mismo periodo (Briceño-Loaiza y Alegría-Morán, 2019; Cárdenas, 2022).

**Detección de antígenos virales, amplificación de ARN viral y aislamiento de virus**

Para caracterizar el virus de la rabia, se recolectaron muestras de cerebro de bovinos de la zona de alta incidencia del Ecuador que es la zona 7. La tabla 1 resume los resultados de la detección del antígeno del virus, el aislamiento del virus, la amplificación del ARN viral y la secuenciación de muestras.

Se detectó antígeno viral en las 46 muestras seleccionadas, de las cuales 26 presentaron efecto citopático mediante cultivo celular, lo que indicó la presencia de virus viable. Además, en estas mismas muestras se confirmó la presencia de ARN viral mediante RT-PCR confirmando la detección del virus de rabia. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Muestras positivas de rabia bovina en la Zona 7 en Ecuador.

Año	Provincia	Muestras IFD positivas*	Muestras idóneas	Aislamiento viral	RT-PCR positivas	Muestras secuenciadas
2015	El Oro	0	0	0	0	0
	Loja	1	1	1	1	1
	Zamora Chinchipe	10	7	4	4	4
2016	El Oro	0	0	0	0	0
	Loja	3	3	2	1	1
	Zamora Chinchipe	18	11	5	2	2
2017	El Oro	2	2	2	2	2
	Loja	9	6	1	1	1
	Zamora Chinchipe	45	24	6	3	3
2018	El Oro	1	0	0	0	0
	Loja	35	15	4	2	2
	Zamora Chinchipe	88	37	10	2	2
2019	El Oro	1	0	0	0	0
	Loja	13	8	3	2	2
	Zamora Chinchipe	26	13	4	2	2
2020	El Oro	0	0	0	0	0
	Loja	4	3	1	1	1
	Zamora Chinchipe	7	6	3	3	3
<b>Total</b>		263	136	46	26	26

\*Fuente: Base de datos de notificación de enfermedades de Agrocalidad.

**Distribución de los aislados del virus de la rabia**

La tabla 2 resume la distribución geográfica de los 26 aislamientos del virus de rabia obtenidos en las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro entre los años 2015 y 2020. Los resultados mostraron a Zamora Chinchipe como la provincia con el mayor número de casos, incluyendo 16 aislados a partir de las muestras del periodo de estudio. Zamora Chinchipe presentó condiciones geográficas y climáticas que favorecieron el desarrollo de murciélagos hematófagos, como *Desmodus rotundus*. Esto puede ser un elemento a favor de la presencia de

la enfermedad (Fornace et al., 2013; Meske et al., 2021). Por otra parte, en la provincia de Loja se obtuvieron ocho aislados, esta provincia presentó un incremento de casos notable en el año 2018. Este aumento podría estar relacionado con el fortalecimiento de las actividades agropecuarias en zonas rurales, lo que podría suponer un factor de exposición del ganado a los vectores del virus (Soler-Tovar y Escobar, 2025). En contraste, El Oro solo reportó dos casos aislados en 2017 y uno en cada uno de los años 2018 y 2019, lo cual indicó una menor incidencia.

Geográficamente, las coordenadas latitudinales y longitudinales revelaron una agrupación de casos en áreas rurales, donde las interacciones entre el ganado y los vectores del virus fueron más frecuentes debido a la ausencia de barreras físicas, prácticas tradicionales de manejo pecuario y cercanía con hábitats naturales (Nahata et al., 2021). Estos hallazgos subrayaron la necesidad de implementar estrategias de control enfocadas en estas regiones específicas y periodos de mayor incidencia, especialmente en Zamora Chinchipe, para mitigar el impacto de la rabia en las zonas endémicas.

**Tabla 2.** Aislamientos del virus de la rabia bovina de la zona 7 de Ecuador (2015-2020) con sus correspondientes coordenadas geográficas.

Aislado	Año	Mes	Provincia	Latitud	Longitud
Aislado 1	2015	Julio	Zamora Chinchipe	-4.55	-79.13
Aislado 2	2015	Marzo	Zamora Chinchipe	-3.89	-78.81
Aislado 3	2015	Septiembre	Zamora Chinchipe	-3.71	-78.73
Aislado 4	2015	Julio	Loja	-4.36	-79.39
Aislado 5	2015	Junio	Zamora Chinchipe	-4.03	-78.89
Aislado 6	2016	Febrero	Loja	-4.40	-79.51
Aislado 7	2016	Octubre	Zamora Chinchipe	-3.54	-78.66
Aislado 8	2016	Abril	Zamora Chinchipe	-4.02	-78.65
Aislado 9	2017	Septiembre	Zamora Chinchipe	-4.76	-79.05
Aislado 10	2017	Abril	Zamora Chinchipe	-3.80	-78.76
Aislado 11	2017	Octubre	Loja	-3.66	-79.38
Aislado 12	2017	Abril	Zamora Chinchipe	-3.90	-78.85
Aislado 13	2017	Marzo	El Oro	-3.65	-79.71
Aislado 14	2017	Septiembre	El Oro	-3.49	-79.77
Aislado 15	2018	Enero	Loja	-3.85	-79.19
Aislado 16	2018	Noviembre	Loja	-3.93	-79.21
Aislado 17	2018	Octubre	Zamora Chinchipe	-3.98	-79.02
Aislado 18	2018	Marzo	Zamora Chinchipe	-3.60	-78.93
Aislado 19	2019	Enero	Loja	-3.92	-79.23
Aislado 20	2019	Mayo	Loja	-4.41	-79.45
Aislado 21	2019	Abril	Zamora Chinchipe	-3.72	-78.80
Aislado 22	2019	Mayo	Zamora Chinchipe	-3.90	-78.83
Aislado 23	2020	Marzo	Zamora Chinchipe	-3.70	-78.71
Aislado 24	2020	Febrero	Zamora Chinchipe	-4.02	-78.82
Aislado 25	2020	Julio	Zamora Chinchipe	-3.60	-78.90
Aislado 26	2020	Agosto	Loja	-3.73	-79.26

**Nota:** Se enumeran los aislamientos por año, mes y ubicación, lo que proporciona una descripción general completa de las muestras virales recolectadas. La información sobre el lugar y la fecha de muestreo, correspondientes a la muerte del animal, se extrajo de la base de datos de notificación de enfermedades de la rabia de Agrocalidad.

## Identificación molecular

El análisis molecular de las 26 muestras de tejido cerebral bovino de las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro correspondieron a la nucleoproteína del virus de rabia. Los resultados del BLAST mostraron un 98,48% de similitud con la secuencia de referencia del gen de la nucleoproteína del virus de la rabia, lo que confirmó el reconocimiento del agente infeccioso. Estos resultados coincidieron con estudios previos, en los que se observó un 98,75% de similitud entre variantes del virus de la rabia vinculadas con murciélagos europeos y detectadas en casos de rabia canina (Mantari et al., 2019). Esto destacó la necesidad de estudiar la evolución del virus en distintos hospedadores y áreas geográficas.

La similitud notable entre las secuencias sugirió que el virus tuvo un alto nivel de conservación genética en la zona analizada, lo cual podría ayudar a establecer estrategias de diagnóstico y control. Además, Mantari et al. (2019) han reportado que la variabilidad genética del virus tuvo el potencial de afectar la eficacia de las vacunas, así como la transmisión y la patogénesis, lo cual representa un factor relevante a considerar.

Además, la caracterización molecular permitió inferir rutas de transmisión específicas y patrones de dispersión del virus. En este contexto, las ligeras divergencias genéticas encontradas podrían estar asociadas con adaptaciones locales del virus a su hospedador principal o a las condiciones ecológicas de la zona (Cai et al., 2022; Li et al., 2023; Durrant et al., 2024). Esto reforzó la necesidad de realizar un monitoreo continuo del genoma viral para identificar cambios que pudieran comprometer los esfuerzos de vacunación y control en la región. Asimismo, los resultados obtenidos resaltaron la importancia de utilizar herramientas moleculares no solo para confirmar diagnósticos, sino también para avanzar en el entendimiento de la epidemiología y evolución del virus de la rabia en áreas endémicas (Manjunatha et al., 2023; Islam et al., 2025), alineándose con recomendaciones internacionales para el control de esta zoonosis.

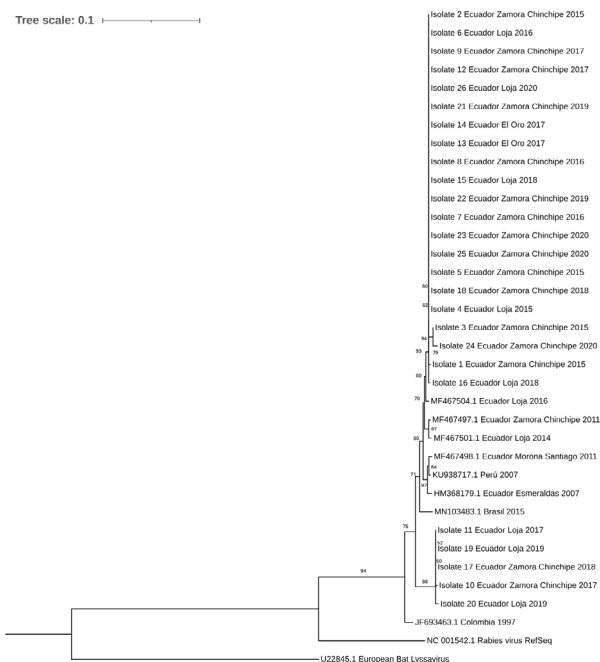
## Análisis filogenético

Mediante el análisis filogenético, se pudo observar las conexiones evolutivas que existían entre las secuencias de referencia internacionales y los aislados locales, además del genoma de referencia del virus de la rabia. El árbol filogenético (figura 2) reveló una agrupación nítida de los aislados ecuatorianos en múltiples clados claramente delimitados, lo cual se ve respaldado por los valores de bootstrap (bootstrap > 70 en los clados principales), que aseguraron la solidez de las relaciones filogenéticas.

Los aislados de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe tuvieron una fuerte relación con otros aislados en Ecuador que han sido caracterizados previamente, como los de Loja (MF467501.1 y MF467504.1) y Morona Santiago (MF467498.1). Además, se estableció una diferencia evidente con las secuencias de referencia a nivel internacional, como las de Brasil (MN103483.1) y Colombia (JF693463.1). Esto indicó que los linajes circulantes



en Ecuador han experimentado una evolución a nivel local, con un posible intercambio genético restringido entre los países vecinos.



**Figura 2.** Árbol filogenético del virus de la rabia basado en el gen de la nucleoproteína. El análisis incluyó 26 aislados de tejido cerebral bovino provenientes de la Zona 7 del Ecuador (provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro) recolectados entre 2015 y 2020, junto con secuencias de referencia de Ecuador, países vecinos (Perú, Colombia y Brasil) y el genoma de referencia del virus de la rabia. La secuencia del virus europeo de murciélago (European Bat Lyssavirus, U22845.1) se utilizó como outgroup.

Los aislados de Loja y Zamora Chinchipe se agruparon con secuencias históricas de Loja y Morona Santiago, lo que indicó una continuidad en la circulación de linajes específicos en estas regiones. Por otro lado, en otras zonas de América Latina se ha informado que la diversidad genética del virus de la rabia ha sido influenciada por las adaptaciones locales y por la interacción entre especies hospedadoras (Mantari et al., 2019; Meganck y Baric, 2021; Rupprecht et al., 2023). De acuerdo con Escobar et al. (2023), las variantes relacionadas con los murciélagos tuvieron una mayor estabilidad genética, lo que podría explicar la agrupación de los aislados ecuatorianos en clados bien definidos.

La agrupación de los aislados de Zamora Chinchipe y Loja en clados específicos sugirió que estas provincias fueron puntos

clave para la circulación y perpetuación del virus en la Zona 7. Esto puede estar asociado a factores ecológicos, como la alta actividad de murciélagos hematófagos (*D. rotundus*), y la proximidad entre granjas en estas regiones (Castelo-Branco et al., 2023; Briceño-Loaiza et al., 2024). En Ecuador existe una prevalencia de ataques de *D. rotundus* del 69% en granjas, mientras que en ataques bovinos se reporta una prevalencia del 24%. Además, se ha reportado que, del total de murciélagos capturados, el 93% han sido identificados como *D. rotundus*, y no se han encontrado infecciones por el virus de la rabia en el 30% de los ejemplares analizados (Orlando et al., 2019). Información que se considera útil para mejorar la vigilancia y el control de la transmisión de la rabia en la región.

Por otra parte, la diversidad más baja que se ha observado en los aislados de El Oro podría ser resultado de un contacto reducido entre las poblaciones de ganado y los vectores del virus, como sucede en áreas con una densidad inferior de murciélagos hematófagos o menos interacción con ecosistemas silvestres (Bárceñas-Reyes et al., 2019). Aunque los aislados ecuatorianos fueron muy parecidos, las diferencias genéticas entre clados pueden tener un impacto en la efectividad de las tácticas de vacunación que se basan en cepas particulares. Estos resultados enfatizaron en la importancia de fortalecer programas de la vigilancia molecular para la detección de variaciones genéticas que tengan el potencial de afectar la epidemiología del virus o poner en riesgo los programas de control vigentes.

**Conclusión**

El presente análisis ofrece una perspectiva completa acerca de la caracterización molecular y filogenética del virus de la rabia en bovinos localizados en la Zona 7 ecuatoriana, lo cual tiene un impacto significativo en términos de salud pública y del control de esta zoonosis. Se observa una mayor prevalencia y complejidad evolutiva en las provincias de Zamora Chinchipe y Loja, según los descubrimientos, que subrayan la diversidad genética del virus en las tres provincias: El Oro, Zamora Chinchipe y Loja.

El análisis filogenético muestra que las variantes en circulación en la Zona 7 están estrechamente relacionadas con las históricas de Ecuador, lo cual indica que el virus sigue circulando a nivel local siendo importante implementar medidas para controlar y vigilar a los murciélagos hematófagos como principales portadores de la enfermedad. Asimismo, la semejanza genética de los aislados con la secuencia de referencia global del virus de rabia, sumada a las discrepancias vistas entre clados, enfatiza la importancia de mantener un monitoreo molecular permanente para detectar posibles mutaciones que puedan tener un impacto en la efectividad de las vacunas y estrategias de vigilancia y control vigentes.

Zamora Chinchipe y Loja se perfilan como zonas fundamentales para la propagación del virus, mientras que El Oro tiene una incidencia más baja, posiblemente a causa de factores ecológicos y por el contacto con murciélagos hematófagos. Estos patrones de distribución geográfica resaltan la importancia de intensificar el monitoreo epidemiológico en Zamora Chinchipe y Loja, además de determinar los factores concretos que restringen la incidencia en El Oro. Asimismo, los datos adquiridos ayudan a comprender mejor la epidemiología de la rabia en el área, lo que brinda información fundamental para diseñar estrategias de control particulares.

El uso de cultivos celulares y el uso de pruebas moleculares son herramientas que contribuyen a una mejor comprensión de la epidemiología del virus en regiones endémicas. Los datos generados no solo fortalecen los esfuerzos nacionales para controlar la rabia en el ganado, sino que también brindan información valiosa para la creación de programas de vacunación eficaces centrados en puntos calientes.

### Conflicto de intereses

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

### Referencias bibliográficas

- Bárceñas-Reyes, I., Nieves-Martínez, D. P., Cuador-Gil, J. Q., Loza-Rubio, E., González-Ruiz, S., Cantó-Alarcón, G. J. and Milián-Suazo, F. (2019). Spatiotemporal analysis of rabies in cattle in central Mexico. *Geospatial Health*, 14(2). <https://doi.org/10.4081/gh.2019.805>
- Briceño-Loaiza, C. y Alegría-Morán, R. (2019). Distribución espacio-temporal de la rabia animal durante el periodo 2010 al 2018, en la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Científica y de Opinión CRIALZH*, 2(1), 153-163.
- Briceño-Loaiza, C., Fernández-Sanhueza, B., Benavides-Silva, C., Jimenez, J. Y., Rubio, A. V., Ábalos, P. and Alegría-Morán, R. A. (2024). Spatial clusters, temporal behavior, and risk factors analysis of rabies in livestock in Ecuador. *Preventive Veterinary Medicine*, 226, 106188. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106188>
- Cai, M., Liu, H., Jiang, F., Sun, Y., Wang, W., An, Y., Zhang, M., Li, X., Liu, D., Li, Y., Yu, Y., Huang, W. and Wang, Y. (2022). Analysis of the evolution, infectivity and antigenicity of circulating rabies virus strains. *Emerging Microbes & Infections*, 11(1), 1474-1487. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2078742>
- Cárdenas, V. M. (2022). *Áreas de riesgo futuro de dispersión del virus de la rabia con el uso de modelos de distribución de especies de murciélagos vectores*. Quito: UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/28503>
- Castelo-Branco, D. S. C. M., Nobre, J. A., Souza, P. R. H., Diógenes, E. M., Guedes, G. M. M., Mesquita, F. P., Souza, P. F. N., Rocha, M. F. G., Sidrim, J. J. C., Cordeiro, R. A. and Montenegro, R. C. (2023). Role of Brazilian bats in the epidemiological cycle of potentially zoonotic pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 177, 106032. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2023.106032>
- Castresana, J. (2000). Selection of conserved blocks from multiple alignments for their use in phylogenetic analysis. *Molecular Biology and Evolution*, 17(4), 540-552. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026334>
- Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. (2011). *NOM-011-SSA2-2011 Para la prevención y control de la rabia humana y en los perros y gatos*.
- Claassen, D. D., Odendaal, L., Sabeta, C. T., Fosgate, G. T., Mohale, D. K., Williams, J. H. and Clift, S. J. (2023). Diagnostic sensitivity and specificity of immunohistochemistry for the detection of rabies virus in domestic and wild animals in South Africa. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 35(3), 236-245. <https://doi.org/10.1177/10406387231154537>
- Dettinger, L., Gigante, C. M., Sellard, M., Seiders, M., Patel, P., Orciari, L. A., Yager, P., Lute, J., Regec, A., Li, Y. and Xia, D. (2022). Detection of apparent early rabies infection by LN34 Pan-Lyssavirus Real-Time RT-PCR assay in Pennsylvania. *Viruses*, 14(9), 1845. <https://doi.org/10.3390/v14091845>
- Durrant, R., Cobbold, C. A., Brunner, K., Campbell, K., Dushoff, J., Ferguson, E. A., Jaswant, G., Lugelo, A., Lushasi, K., Sikana, L. and Hampson, K. (2024). Examining the molecular clock hypothesis for the contemporary evolution of the rabies virus. *PLOS Pathogens*, 20(11), e1012740. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012740>
- Escobar, L. E., Velasco-Villa, A., Satheshkumar, P. S., Nakazawa, Y. and Van de Vuurst, P. (2023). Revealing the complexity of vampire bat rabies" spillover transmission". *Infectious Diseases of Poverty*, 12(01), 102-110.
- Fernandes, M. E. S., Carnieli, P., Gregório, A. N. F., Kawai, J. G. C., Oliveira, R. N., Almeida, L. L., Rosa, J. C. A., Ferreira, J. C., Traverso, S. D., Roehle, P. M. and Batista, H. B. C. R. (2020). Phylogenetic analysis of rabies viruses isolated from cattle in southern Brazil. *Virus Genes*, 56(2), 209-216. <https://doi.org/10.1007/s11262-020-01730-y>
- Fornace, K., Liverani, M., Rushton, J. and Coker, R. (2013). Effects of land-use changes and agricultural practices on the emergence and reemergence of human viral diseases. *Viral infections and global change*, 133-149. <https://doi.org/10.1002/9781118297469.ch8>
- Harsha, P. K., Ranganayaki, S., Yale, G., Dey, G., Mangalaparthy, K. K., Yarlagadda, A., Chandrasekhar Sagar, B. K., Mahadevan, A., Srinivas Bharath, M. M. and Mani, R. S. (2022). Mitochondrial dysfunction in rabies virus-



- infected human and canine brains. *Neurochemical Research*, 47(6), 1610-1636. <https://doi.org/10.1007/s11064-022-03556-6>
- Hoang, D. T., Chernomor, O., von Haeseler, A., Minh, B. Q., and Vinh, L. S. (2018). UFBoot2: Improving the ultrafast bootstrap approximation. *Molecular Biology and Evolution*, 35(2), 518-522. <https://doi.org/10.1093/molbev/msx281>
- Holmes, E. C. and Harvey, E. H. (2023). *The diversity, evolution and emergence of rabies virus in the Americas. In history of rabies in the Americas: From the pre-columbian to the present, Vol. Insights to specific cross-cutting aspects of the disease in the Americas* (pp. 43-59). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25052-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25052-1_3)
- Islam, M. M., Naeem, A., Mshelbwala, P. P., Dutta, P., Hassan, M. M., K. Elfadl, A., Kodama, C., Zughair, S. M., Farag, E. and Bansal, D. (2025). Epidemiology, transmission dynamics, risk factors, and future directions of rabies in the Arabian Peninsula using one health approach: a review. *European Journal of Public Health*, 35(Supplement\_1), i14-i22. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckae164>
- Kalyaanamoorthy, S., Minh, B. Q., Wong, T. K. F., von Haeseler, A. and Jermini, L. S. (2017). ModelFinder: fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nature Methods*, 14(6), 587-589. <https://doi.org/10.1038/nmeth.4285>
- Katoh, K. and Standley, D. M. (2013). MAFFT Multiple sequence alignment software Version 7: Improvements in performance and usability. *Molecular Biology and Evolution*, 30(4), 772-780. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
- Khairullah, A., Kurniawan, S., Hasib, A., Silaen, O., Widodo, A., Effendi, M., Ramandinianto, S., Moses, I., Riwu, K. and Yanestria, S. (2023). Tracking lethal threat: In-depth review of rabies. *Open Veterinary Journal*, 13(11), 1385. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i11.1>
- Letunic, I. and Bork, P. (2024). Interactive tree of life (iTOL) v6: recent updates to the phylogenetic tree display and annotation tool. *Nucleic Acids Research*, 52(W1), W78-W82. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae268>
- Li, G., Chen, X., Li, X., Liang, Y., Li, X., Liang, W., Yan, Z., Wang, Y., Wang, Y., Luo, J., Guo, X.-F. and Zhu, X.-T. (2023). Analyzing the evolution and host adaptation of the rabies virus from the perspective of codon usage Bias. *Transboundary and Emerging Diseases*, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2023/4667253>
- Manjunatha, K. G., Chandrasaha, C., Akshay, S. D., Sannejal, A. D., Vittal, R., Kavitha, G., Goh, K. W., Isloor, S and Devegowda, D. (2023). Comprehensive update on rabies: A neglected zoonotic disease of public health concern. *Progress In Microbes & Molecular Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000385>
- Mantari Torpoco, C. R., Berrocal Huallpa, A. M., Espinoza-Culupú, A. O. and López-Ingunza, R. L. (2019). Molecular characterization of the rabies virus' nucleoprotein in dogs from Arequipa, Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 36(1), 46-53. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2019.361.3938>
- Markbordee, B., Cabic, A. G. B., Iamohbhar, N., Shiwa-Sudo, N., Kimitsuki, K., Espino, M. J. M., Nacion, L. B., Manalo, D. L., Inoue, S. and Park, C. H. (2024). Histopathological and immunohistochemical examination of the brains of rabid dogs in the Philippines. *Journal of Veterinary Medical Science*, 86(12), 0224-0249. <https://doi.org/10.1292/jvms.24-0249>
- Meganck, R. M. and Baric, R. S. (2021). Developing therapeutic approaches for twenty-first-century emerging infectious viral diseases. *Nature Medicine*, 27(3), 401-410. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01282-0>
- Meske, M., Fanelli, A., Rocha, F., Awada, L., Soto, P. C., Mapiitse, N. and Tizzani, P. (2021). Evolution of rabies in South America and inter-species dynamics (2009-2018). *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 6(2), 98. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed6020098>
- Nadal, D., Hampson, K., Lembo, T., Rodrigues, R., Vanak, A. T. and Cleaveland, S. (2022). Where rabies is not a disease. Bridging healthworlds to improve mutual understanding and prevention of rabies. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.867266>
- Nahata, K. D., Bollen, N., Gill, M. S., Layan, M., Bourhy, H., Dellicour, S. and Baele, G. (2021). On the use of phylogeographic inference to infer the dispersal history of rabies virus: a review study. *Viruses*, 13(8), 1628. <https://doi.org/10.3390/v13081628>
- Nguyen, L. T., Schmidt, H. A., von Haeseler, A. and Minh, B. Q. (2015). IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 32(1), 268-274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>

- Omodo, M., Ar Gouilh, M., Mwiine, F. N., Okurut, A. R. A., Nantima, N., Namatovu, A., Nakanjako, M. F., Isingoma, E., Arinaitwe, E., Esau, M., Kyazze, S., Bahati, M., Mayanja, F., Bagonza, P., Urri, R. A., Lovincer, M. N., Nabatta, E., Kidega, E., Ayebazibwe, C., Nakanjako, G., Sserugga, J., Ndumu, D. B., Mwebw, R., Mugabi, K., Gonzalez, J.-P. and Sekamatte, M. (2020). Rabies in Uganda: rabies knowledge, attitude and practice and molecular characterization of circulating virus strains. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-4934-y>
- Orlando, S. A., Panchana, V. F., Calderón, J. L., Muñoz, O. S., Campos, D. N., Torres-Lasso, P. R., Arcos, F. J. and Quentin, E. (2019). Risk factors associated with attacks of hematophagous bats (*Desmodus rotundus*) on cattle in Ecuador. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 19(6), 407-413. <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2247>
- Ortiz, I., Burbano, A., Villarreal, V., Santiana, I., Vargas, J. y Vizcaíno Cabezas, D. (2017). Manual de procedimientos para la prevención y control de rabia bovina en Ecuador -Programa Nacional Sanitario de Prevención y Control de Rabia Bovina.
- Parija, S. C. (2023). Introduction to viruses. In: Textbook of microbiology and immunology (pp. 687-713). *Springer Nature Singapore*. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3315-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3315-8_48)
- Qin, S., Volokhov, D., Rodionova, E., Wirblich, C., Schnell, M. J., Chizhikov, V. and Dabrazhynetskaya, A. (2019). A new recombinant rabies virus expressing a green fluorescent protein: A novel and fast approach to quantify virus neutralizing antibodies. *Biologicals*, 59, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2019.03.002>
- Rupprecht, C. E., Mshelbwala, P. P., Reeves, R. G. and Kuzmin, I. V. (2023). Rabies in a postpandemic world: resilient reservoirs, redoubtable riposte, recurrent roadblocks, and resolute recidivism. *Animal Diseases*, 3(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s44149-023-00078-8>
- Scheffer, K. C., Iamamoto, K., Asano, K. M., Mori, E., Estevez Garcia, A. I., Achkar, S. M. y Fahl, W. O. (2014). Murciélagos hematófagos como reservorios de la rabia. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31, 302-309.
- Schreiber, M. D. S. and Fachinnetto, J. M. (2022). Phylogenetic relationship of rabies virus (*Rabies lyssavirus*) in two different host species. Research Square, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2207887/v1>
- Soler-Tovar, D. and Escobar, L. E. (2025). Rabies transmitted from vampires to cattle: An overview. *PloS one*, 20(1), e0317214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317214>
- Talavera, G. and Castresana, J. (2007). Improvement of phylogenies after removing divergent and ambiguously aligned blocks from protein sequence alignments. *Systematic Biology*, 56(4), 564-577. <https://doi.org/10.1080/10635150701472164>
- Vizcaíno Cabezas, D., Vargas Estrella, J., Yáñez Ortiz, I., Burbano Enríquez, A., Villarreal Benavides, V., Santiana Jara, I. y Espinosa Salme, C. (2016). *Manual de procedimientos para la prevención y control de rabia bovina en el Ecuador* (Issue 593).
- Wallace, R. M. and Muller, T. (2024). Challenges and opportunities for the next miles in global rabies control. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, Special Edition, 74-82. <https://doi.org/10.20506/rst.SE.3561>
- Wardhani, S. W., Wongsakul, B., Kasantikul, T., Piewbang, C. and Techangamsuwan, S. (2021). Molecular and pathological investigations of selected viral neuropathogens in rabies-negative brains of cats and dogs revealed neurotropism of carnivore Protoparvovirus-1. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.710701>
- World Organization for Animal Health (WOAH). (2023). *Chapter 3.1.18 – Rabies (infection with rabies virus and other lyssaviruses)*. [https://talk.ictvonline.org/ictv-reports/ictv\\_online\\_report/](https://talk.ictvonline.org/ictv-reports/ictv_online_report/)

### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**Jorge Rodrigo Espinoza Samaniego:** conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Edilberto Chacón Marcheco:** conceptualización, metodología, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Luis Alfredo Mena Miño:** metodología, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Rubén Alexander Maldonado Orbe:** metodología, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.





## Valoración de residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes autóctonos en la obtención de compost

### Assessment of organic agricultural waste and efficient native microorganisms in obtaining compost

#### Autores

<sup>1</sup>Jesús Eduardo Vázquez Quirumbay   
✉ [jesus.vasquez.41@espam.edu.ec](mailto:jesus.vasquez.41@espam.edu.ec)

<sup>2</sup>Ángel Monserrate Guzmán Cedeño   
✉ [aguzman@espam.edu.ec](mailto:aguzman@espam.edu.ec)

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 10 de agosto N°82 y Granda Centeno. Calceta, Manabí.

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 10 de agosto N°82 y Granada Centeno. Calceta, Manabí, Ecuador. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, carrera Ingeniería Agropecuaria. Ciudadela Universitaria vía San Mateo. Manta, Manabí, Ecuador.

**Citación sugerida:** Vázquez Quirumbay, J. E., Guzmán Cedeño, Á. M. (2025). Valoración de residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes autóctonos en la obtención de compost. *La Técnica*, 15(2), 112-124. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7553>

Recibido: Febrero 26, 2025

Aceptado: Octubre 10, 2025

Publicado: Noviembre 01, 2025

#### Resumen

El mal manejo de residuos orgánicos genera contaminación e impactos en el ambiente; ante ello, la producción de abonos orgánicos, como el compost, son alternativas para tener en cuenta. El objetivo de esta investigación consistió en valorar los residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes en la obtención de compost; para lo cual, se ejecutaron tres fases: la fase 1 consistió en generar información de los residuos agropecuarios a emplear en la producción de compost, se realizó una encuesta dirigida a los técnicos y/o administradores de las unidades de producción pertinentes; en la fase 2 se sistematizó información sobre microorganismos eficientes, generada, en estudios previos, en universidades de Manabí; en la fase 3 se realizó la inoculación de los microorganismos eficientes en el compostaje de residuos agropecuarios definidos en la primera fase, el proceso se llevó a cabo mediante el sistema INDORE, se evaluaron indicadores ambientales, microbiológicos, químicos y fitotóxicos del compost. Como resultado se obtuvo que los principales residuos agropecuarios generados en la zona de estudio fueron: cáscara de cacao, cascarilla de arroz, porquinaza y bovinaza, la mezcla de estos residuos permitió una buena relación carbono/nitrógeno que es un requisito para la elaboración del compost. En cuanto a los microorganismos eficientes se estableció que la función principal de estudio fue como degradadores de materiales orgánicos, promotores de crecimiento vegetal, antagonistas y biorremediadores, sobresalieron los géneros *Trichoderma* y *Bacillus*; por último, después de 120 días de compostaje se consiguió un compost de clase "A" según normas internacionales.

**Palabras clave:** compostaje, biodegradación, biofertilizante, sustentabilidad, agricultura ecológica.

#### Abstract

The poor management of organic waste generates pollution and impacts the environment; therefore, the production of organic fertilizers, such as compost, is an alternative to consider. The objective of this research was to assess agricultural organic waste and microorganisms efficient in obtaining compost. To this end, three phases were executed: Phase 1 consisted of generating information on agricultural waste to be used in compost production. A survey was conducted among technicians and/or administrators of the relevant production units. In Phase 2, information on efficient microorganisms generated in previous studies at universities in Manabí was systematized. In Phase 3, the microorganisms efficient in composting agricultural waste defined in the first phase were inoculated. The process was carried out using the INDORE system. Environmental, microbiological, chemical, and phytotoxic indicators of compost were evaluated. The results showed that the main agricultural waste generated in the study area are cocoa hulls, rice hulls, pig manure, and cattle manure. The mixture of these wastes allows for a good carbon/nitrogen ratio, which was a requirement for compost production. Regarding efficient microorganisms, it was established that their main function was as degraders of organic materials, plant growth promoters, antagonists, and bioremediators, with the genera *Trichoderma* and *Bacillus* standing out. Finally, after 120 days of composting, a Class "A" compost was obtained according to international standards.

**Keywords:** composting, biodegradation, biofertilizer, sustainability, organic farming.



## Introducción

A nivel mundial se generan grandes toneladas de residuos agropecuarios que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental, en muy pocos lugares se les da un uso productivo y se le atribuye un valor añadido que puede llegar a constituirse como fuente de energía en el sistema productivo que conforma (Castro et al., 2020). Es muy frecuente encontrar reportes y evidencias de que el manejo inadecuado de residuos agropecuarios, desechos sólidos y otros subproductos de las empresas agroalimentarias incidan directamente sobre el equilibrio medioambiental; un claro ejemplo son los residuos sólidos que producen una acumulación y dispersión no solo en los campos agrícolas sino en los medios acuáticos (Muñoz et al., 2022).

Dentro de esta gama de problemas se añadieron los residuos agroindustriales que surgieron de las diferentes etapas de los procesos productivos agrícolas que generaron altas emisiones de CO<sub>2</sub>, partículas por la quema incontrolada, la contaminación de cuerpos de aguas por lixiviados, generación de malos olores o proliferación de roedores e insectos (Romero, 2022). En este sentido, Aguilar et al. (2022) manifestaron la existencia de investigaciones para recuperar y aprovechar el uso de residuos agroindustriales según su procedencia, dentro de las investigaciones se reflejaron aquellas dedicadas a la obtención de energías renovables, como la creación de bioplásticos, glicerol, hongos comestibles, compost, entre otras.

Según Alvarado y Rangel (2020) la reutilización de residuos orgánicos (RO) busca implementar estrategias sostenibles para su aprovechamiento en las organizaciones que realizan producción de alimentos en sistemas alternativos, a través del empleo de diferentes técnicas y resultados obtenidos en los diferentes estudios de viabilidad para la producción y comercialización de abono orgánico.

Aguñaga et al. (2020) sostuvieron que la agricultura moderna ha incorporado el uso de productos orgánicos, dado la evidencia científica de que incrementaron el crecimiento y rendimiento de los cultivos, la calidad de las cosechas y que además tuvieron efectos fisiológicos que incluyeron el alargamiento celular, la diferenciación vascular y el desarrollo de la producción. Sin duda, el aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor interés como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, debido a que ayudan al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Aguñaga et al., 2020; Intriago y Plaza, 2020; Huapaya, 2024).

Los residuos orgánicos agropecuarios, que se emplean en la producción de compost, contienen carga microbiana, en forma

natural; sin embargo, es deseable inocular microorganismos específicos que contribuyan en el compostaje de los materiales fibrosos, de difícil descomposición.

Paredes et al. (2021) recalcaron que la utilización de microorganismos eficientes autóctonos (EMA) aceleraron la transformación de los residuos orgánicos en abonos, como el compost; donde los microorganismos participaron en la descomposición de la materia orgánica (Cruz et al., 2023). De igual manera, al usar agrónomicamente el compost se puede inocular cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos para potenciar en el suelo la conservación de energía, mantenimiento del equilibrio microbiano, suprimir agentes patógenos y fijación biológica de nitrógeno (Noboa, 2021; Vega et al., 2021; Han et al., 2022).

En cumplimiento a la iniciativa del grupo de investigación Producción de Insumos Biológicos (GI-PROINBIO), docentes-investigadores y estudiantes de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL) han desarrollado algunas investigaciones y por ende se ha generado importante información relacionada al aislamiento, selección e identificación de EMA y la validación, según la acción enzimática específica de las cepas aisladas.

En este sentido, Guzmán et al. (2014) aislaron cepas de microorganismos con capacidad celulolítica, y se identificó molecularmente a *Trichoderma longibrachiatum* y *Bacillus cereus* como promisorias para el compostaje del residuo fibroso de la cáscara de maní. Intriago y Plaza (2020) caracterizaron bacterias endófitas obtenidas en plantas de tomatillo (*Lycopersicon pimpinellifolium* L.), que fueron evaluadas como promotoras de crecimiento vegetal. Por su parte, Andrade y Avellán (2020) evaluaron la capacidad celulolítica de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* en el compostaje de residuos agropecuarios celulolíticos.

Con los antecedentes expuestos, en esta investigación se realizó una valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y EMA en la obtención de compost. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: caracterizar los principales residuos orgánicos agropecuarios y/o agroindustriales que se generaron en la zona de influencia de la ESPAM-MFL; determinar la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente; validar los EMA en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos seleccionados y la valoración nutricional del compost obtenido.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la ESPAM-MFL, se desarrollaron tres fases: en la fase uno, se realizó una encuesta dentro de la zona de influencia de la ESPAM-MFL (Junín, Canuto, Calceta y Tosagua),

donde se recolectó información sobre los residuos orgánicos (RO) que se generaron en las diferentes unidades de producción agropecuarias o agroindustriales; la fase dos tuvo el propósito de sistematizar información relacionada al uso de microorganismos eficientes autóctonos dentro y fuera de la ESPAM (Laboratorio de Biología Molecular), especialmente aquellos que se inoculan en suelo o procesos de compostaje; por último, en la fase tres se implementó el proceso de compostaje para la validación de los EMA en los residuos orgánicos seleccionados en la fase uno y se obtuvo como resultado el abono orgánico compostado, esta actividad se llevó a cabo en el área de reciclaje del Campus Politécnico de la ESPAM MFL. A continuación, se detallan las principales acciones realizadas dentro de cada fase:

### Fase 1. Valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y agroindustriales para el compostaje

Se realizaron las siguientes actividades: a) Identificación de unidades de producción agropecuaria y agroindustrial generadoras de RO. Se realizaron recorridos exploratorios, encuestas con formatos estandarizados y diálogos semi estructurados, acorde a los objetivos del estudio, validados por expertos; con observaciones y mediciones para tipificar las unidades de producción agropecuaria y/o agroindustrial generadoras de RO, que se pueden utilizar como materias primas en procesos de valorización en su uso directo, o bien después de transformarlos en abonos orgánicos mediante diversas aplicaciones biotecnológicas.

El ámbito considerado fue el Campus Politécnico de la ESPAM MFL y su zona de influencia, en total se recogió información en 14 unidades de producción; b) Cuantificación y caracterización de los RO. Para determinar la cantidad de RO, que se generan en las unidades de producción seleccionadas, se analizaron los datos históricos entre los años 2019 y 2024 proporcionados por los responsables técnicos; lo cual, fue contrastado con referencia bibliográfica para estimar los promedios por establecimiento y los periodos de mayor generación de RO, y c) Diagnóstico de la gestión de los RO.

A partir de la información, proporcionada por representantes de las empresas agrícolas, pecuarias y agroindustriales de la ESPAM MFL y la zona de influencia se conoció: 1) nivel de participación de los integrantes de la unidad de producción en el proceso de manejo de los RO; 2) tipo y nivel de adopción de tecnologías para el tratamiento de los RO la cual se evaluó dependiendo el destino de los residuos en las áreas de producción (botaderos municipales, causes naturales como quebradas y ríos, planta de tratamiento de los RO, y otros como venta, posa séptica, alimento de ganado, investigación y aplicación directa en la plantación); 3) efectividad de las tecnologías usadas; 4) procesos de educación ambiental sobre la gestión de RO; y 5) niveles de impacto provocado por el manejo de los RO. Las respuestas fueron de carácter binomial (sí – no).

### Fase 2. Determinación de la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente

En esta fase se realizó una revisión de los trabajos de investigación sobre aislamiento, selección e identificación de microorganismos eficientes autóctonos (EMA) que se han ejecutado en la ESPAM MFL y otras universidades de Manabí (UTM - Universidad Técnica de Manabí; ULEAM - Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Universidad Estatal del Sur de Manabí); para ello fue necesario ingresar en los repositorios institucionales de las universidades de Manabí, hacer búsqueda de trabajos de titulación dentro de este campo y extraer información como: el año de publicación, título del proyecto y función enzimática/antagonista de los EMA. A partir de los resultados publicados, se amplió el estado del arte de los EMA promisorios por función específica, como: descomponedores de materia orgánica (celulolítica), promotores de crecimiento vegetal, y controladores biológicos.

### Fase 3. Validación de los EMA en el proceso de compostaje de RO y obtención de compost eco-funcional

La información generada en las dos primeras fases fue fundamental para desarrollar el proceso de compostaje. Se establecieron las siguientes acciones en forma consecutiva: a) Se definió la materia prima (RO) más idónea para el proceso de compostaje; esto es, que cumpliera con el tamaño de partícula con fragmentos de 3 a 5 cm, y relación C/N alrededor de 25:1; b) Reactivación de los EMA descomponedores de materia orgánica (MO) que se inocularon durante el proceso de compostaje; c) Establecimiento del proceso de compostaje mediante el siguiente delineamiento experimental:

**Conformación de las pilas.** Los RO se obtuvieron de las unidades de producción agropecuaria y/o agroindustrial identificadas en la fase 1. Para el proceso de compostaje se empleó el método INDORE sobre una plataforma de hormigón, con sombra regulada por frondosos árboles maderables de laurel y caoba que están establecidos alrededor de la pista; en la conformación de las pilas, se adicionó capas sucesivas de los residuos hasta formar una composta de 3 m de largo x 1 m de ancho x 1 m de alto.

**Control de indicadores ambientales durante el compostaje.** La humedad inicial de los residuos orgánicos fue de alrededor del 60%, en adelante se rehumedeció de acuerdo con el requerimiento de cada fase del proceso; fase mesófila (20-40 °C, humedad 40-60%), Termófila (45-70 °C, humedad 40-60%) donde la humedad fue crucial para la actividad microbiana, y maduración (temperatura ambiente, humedad 40-60%), de acuerdo con lo sugerido por Delgado et al. (2019) y Córdova et al. (2022). La pila se cubrió con plástico para evitar el ingreso de agua-luvia y controlar la temperatura al interior de la pila. Durante los primeros 15 días se monitorearon las pilas de compostaje, se registró diariamente la temperatura con un termómetro digital para uso industrial (30 cm de largo Tp101), la humedad se midió en una estufa de laboratorio Kalstein y vidrio reloj resistente a altas temperaturas y el pH con un pHmetro Oakton,



modelo pH 700; se realizaron volteos para regular temperatura y homogeneizar la descomposición de los RO. La toma de datos se realizó a 30 cm de profundidad, en cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas de compost. Posteriormente, cada 15 días se monitorearon estos parámetros hasta que se tuvo evidencia de estabilización y madurez del compost.

**Inoculación de los EMA.** Superada la etapa termofílica en cada una de las pilas, se procedió a la inoculación de los EMA que cumplieron la función de descomponedores; para lo cual, se elaboró un biopreparado combinado con melaza al 1%, con una concentración de  $10^4$  para hongos y  $10^8$  de bacterias. En cada pila se aplicó 1000 mL del biopreparado diluido en 20 L de  $H_2O$ , se asperjó en toda la pila con una bomba de mochila CP3.

**Evaluación del compost.** Se realizó cada 30 días, a partir de la elaboración de la pila, se tomaron cinco muestras de compost a 30 cm de profundidad, en cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas. Las muestras de cada pila se mezclaron y homogeneizaron para extraer una muestra compuesta que fue enviada al laboratorio para realizar análisis físico: la temperatura se midió de forma directa con un termómetro digital en °C a 30 cm de profundidad en 5 puntos (cuatro extremos y el centro), el potencial de hidrógeno (pH) se determinó por el método electrométrico en dilución 1:5 (Garrido et al., 2023), humedad se extrajo 50 g de muestra puesta sobre un vidrio reloj de 5 cm de diámetro que se introdujo en una estufa a 108 °C por 24 horas luego fueron pesados y sus datos procesados por el método gravimétrico, la conductividad eléctrica (CE) se midió con una suspensión de compost/agua en relación 1:5 para ello se utilizó un conductímetro (Delgado et al., 2019); fitotóxicos (% e índice de germinación de semillas indicadoras).

La evaluación de la fitotoxicidad de los agentes optimizadores del compost se llevó a cabo a través de un ensayo de germinación y crecimiento con 10 semillas de rábano que fueron colocadas en cajas petri con una mezcla de 67% del volumen de suelo tamizado y 33% de compost, a cada caja se le aplicó 5 mL de agua para luego ser sellada y forrada con papel craft por 7 días, los datos de germinación fueron incorporados en una matriz de excel y ordenados según el tipo de tratamiento, a partir de los cuales se calculó el índice de germinación (IG%) donde se utilizó el método adaptado del estudio realizado por Camacho et al. (2019).

Los resultados fueron contrastados con los valores establecidos por las normas de calidad nacional (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020) e internacional (Norma Chilena de Compost 2880, 2004; Norma Mexicana-AA-180-SCFI-2018, 2018; Norma Técnica Colombiana, 2011); el análisis nutricional del compost se realizó en el Laboratorio de Agua y Suelo de la

Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, se determinó macro y micronutrientes mediante métodos de digestión ácida de la muestra, seguido de análisis por ICP (espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente).

Se establecieron seis tratamientos (T1: cáscara de cacao + bovinaza + EMA; T2: cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T3: cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza + EMA; T4: cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T5: cascarilla de arroz + bovinaza + EMA; T6: cascarilla de arroz + bovinaza sin EMA), con cinco repeticiones para un diseño completo al azar (DCA). Las variables respuestas en la valoración del compost se presentan de forma descriptiva, ya que de las repeticiones se obtuvieron submuestras para hacer una muestra compuesta por tratamiento y ser enviada al laboratorio para el respectivo análisis fisicoquímico, cuyos resultados se contrastaron con los valores establecidos en las normas respectivas.

## Resultados y discusión

### Fase 1. Valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y agroindustriales para el compostaje

#### Tipo de empresas generadoras de RO

En la figura 1 se observa que las principales empresas visitadas en la zona de estudio correspondieron al área agropecuaria; 50% dedicadas a la producción animal y 21% pertenecieron al campo agrícola, el restante 29% fueron agroindustriales. Las empresas encuestadas respondieron que trabajan en la producción de rubros agrícolas como: arroz, cacao, café, plátano, mango, maíz, cítricos, caña de azúcar; pecuarios (cerdos, aves y bovinos), y en la transformación de estas materias primas para la elaboración de bebidas alcohólicas y otros productos alimenticios. En todas se generaron RO que pueden ser usados como materia prima para elaborar abonos orgánicos.

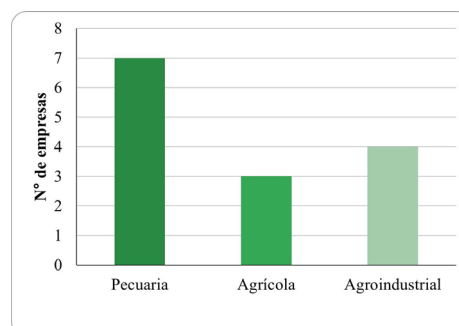


Figura 1. Tipología de empresas generadoras de RO.

De 14 empresas encuestadas se determinó que el 36% de los establecimientos fueron públicos y el 64% pertenecen a negocios

privados. Esto significa que la actividad productiva agropecuaria y agroindustrial en la zona de influencia de la ESPAM MFL corresponde a emprendimientos familiares. Los establecimientos encuestados comprendieron pequeñas y medianas empresas, con superficies que fluctuaron entre 1 a 14 ha. Los RO generados en las empresas encuestadas estuvieron en correspondencia con los rubros que se explotaron. Los principales materiales orgánicos de origen vegetal fueron: cáscaras, bagazo, tallos y demás residuos de cosechas; en el área pecuaria corresponde a: pollinaza, bovinaza, porquinaza. Mientras que en la agroindustria se generaron desperdicios de las materias primas de origen vegetal y animal que se procesaron.

Esta tipología de empresas tuvo correspondencia con lo indicado por Ojeda et al. (2021), quienes destacaron el desempeño de las empresas en el Ecuador. Riera et al. (2024) detallaron que en Manabí los productos que generaron residuos fueron: maíz por los residuos generados de su mazorca, cascarilla y rastrojo; el arroz por la paja y cascarilla producida en grandes cantidades; la cáscara de cacao por los residuos postcosecha de sus vainas. Para Ormaza et al. (2025) la variedad, cantidad y estacionalidad de los residuos que se generaron dependieron de las áreas de producción a las cuales correspondieron.

Los resultados mostraron que la generación de residuos orgánicos en el área de influencia de la ESPAM-MFL ascendió a 431 Ton·año<sup>-1</sup> (tabla 1). El volumen de residuos orgánicos evidenció el potencial que presentó la zona de estudio para el aprovechamiento y la valorización de estos materiales. La mayor proporción de residuos provino del área pecuaria (40,4% del total), lo que indicó la importancia de la ganadería en la dinámica productiva local, ya que Manabí cuenta con la mayor superficie ganadera de Ecuador y aproximadamente 339.819 cabezas de ganado (Mena, 2022; Taipe et al., 2022).

**Tabla 1.** Cantidad y tipo de RO generados en las diferentes áreas de producción.

Área de producción	Residuos generados al año (Ton·año <sup>-1</sup> )	Tipo de residuos
Agrícola	89	Residuos de cultivos (tallos, hojas, rastrojos, cosechas)
Pecuaria	174	Estiércol y purines, restos de forrajes (paja, tallos, cáscaras), camas de cría y engorde.
Agroindustrial	168	Subproductos de procesamiento (bagazo, salvado, melaza, suero de leche, cáscaras de frutas, restos de verduras, entre otros)
Total	431	

Los aportes de la agricultura (20,6%) y la agroindustria (39,0%) complementaron este panorama, en el que confluyeron distintas

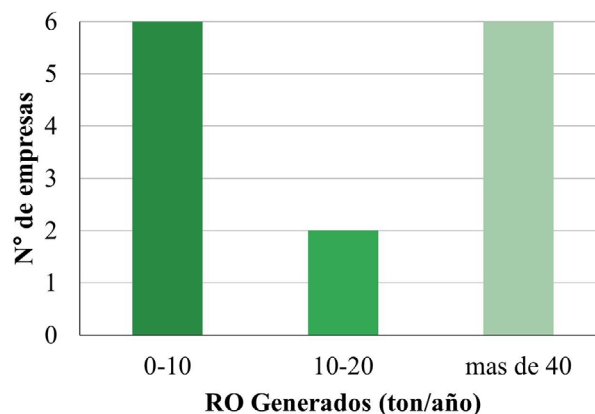
fuentes de biomasa residual susceptibles de ser transformadas en insumos de valor agregado, como abonos orgánicos, biogás o biocompuestos. Estos resultados reflejaron la necesidad de diseñar estrategias de gestión sostenible que integraron la producción primaria y el procesamiento agroindustrial, con el fin de reducir impactos ambientales y generar alternativas económicas para las empresas agroproductivas.

Los hallazgos concordaron con estudios previos realizados en la provincia de Manabí, donde la actividad agropecuaria y agroindustrial constituyó una de las principales fuentes de residuos orgánicos. Por ejemplo, Cedeño et al. (2020) reportaron que en zonas agrícolas de Portoviejo y Rocafuerte los residuos vegetales alcanzaron volúmenes cercanos a 90 Ton·año<sup>-1</sup>, cifras similares a las registradas en este estudio. Asimismo, Zambrano et al. (2019) identificaron que la producción pecuaria de Chone y Tosagua generó estiércoles bovinos y avícolas con un potencial de aprovechamiento superior a 150 Ton·año<sup>-1</sup>, lo que coincidió con las 174 Ton·año<sup>-1</sup> observadas en el área de influencia de la ESPAM-MFL.

En el ámbito agroindustrial, investigaciones de Loor y Delgado (2021) destacaron que el procesamiento de lácteos, caña de azúcar y derivados de frutas en el cantón Bolívar generaron volúmenes de residuos orgánicos superiores a 160 Ton·año<sup>-1</sup>, datos que se encontraron en consonancia con las 168 Ton·año<sup>-1</sup> reportados en este trabajo. A nivel nacional, estudios de Mendoza y Herrera (2018) han subrayado que la gestión inadecuada de residuos agroindustriales representó uno de los principales desafíos ambientales del sector productivo ecuatoriano, lo que reforzó la pertinencia de impulsar estrategias de economía circular y valorización de residuos en la región.

### Cantidad de RO generados en las empresas

Como se aprecia en la figura 2, el volumen de RO generados en las unidades de producción agropecuarias y agroindustriales fue muy variable. Con los datos recopilados se establecieron tres intervalos de volumen de generación de RO; de ello, se dedujo que el 86% de las empresas generaron RO entre 0-10 toneladas o superior a 20 toneladas anuales. En las empresas de producción pecuaria se generó el mayor volumen de RO, lo cual estuvo relacionado con las excretas y camas de criadero de aves y de cerdo.



**Figura 2.** Cantidad de RO generados en las empresas.



En comparación con la producción pecuaria, agrícola y agroindustrial se debe tener en cuenta que estas fueron generadoras de altas cantidades de residuos sólidos como: residuos de cosechas, heces de animales, entre otros (Cartay et al., 2023); otro de los ejemplos presentes fue el estiércol bovino ya que cada unidad bovina adulta (UBA) produjo 5,6 kg·día<sup>-1</sup>, según lo expuesto por Lozano et al. (2020). Se debe considerar que el no tratamiento o manejo de estos residuos podrían generar contaminación, producción de gases de efecto invernadero y cambios en el paisajismo (Cartay et al., 2023).

### Época de producción de los RO

Del levantamiento de línea base, quedó evidenciado que durante todo el año se dispone de RO; sobre todo, en aquellas empresas que son generadoras de grandes volúmenes, como fueron las unidades de producción de ganaderas (estiércol bovino y porcino), licores (bagazo de caña de azúcar), chocolate (cáscara de cacao). También hubo empresas que, estacionalmente, en el segundo cuatrimestre del año fue cuando más RO generaron (figura 3).

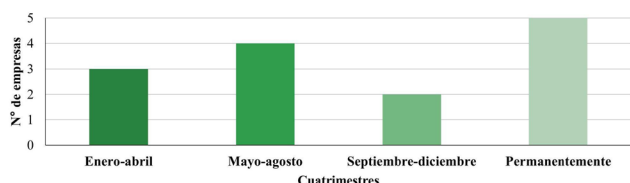


Figura 3. Época del año en el que se generan los RO.

Las épocas de producción de residuos orgánicos variaron de acuerdo con los rubros que se explotaron (Romero, 2022; Gutiérrez et al., 2024). La estacionalidad observada en la generación de residuos orgánicos concordó con investigaciones realizadas en otras zonas de Ecuador. Albiño (2020) y Barona et al. (2020) coincidieron en reportar que los residuos agrícolas presentaron picos de generación en la época lluviosa, principalmente en cultivos de ciclo corto como maíz y arroz; mientras que en época seca se produjeron residuos de hortalizas (Riera, 2024). En la región Costa los residuos derivados del cacao y la caña de azúcar aumentaron en el primer y segundo cuatrimestre del año, mismos que coincidieron con los periodos de mayor cosecha (Ordoñez et al., 2021). En contraste, los residuos pecuarios mantuvieron una producción constante durante todo el año, por ejemplo, la producción de bovinaza fue diaria (Lozano et al., 2020), lo que respaldó los resultados de este estudio. Estas coincidencias subrayaron la importancia de considerar la variabilidad estacional en la planificación de programas de aprovechamiento de residuos, especialmente en zonas agrícolas y agroindustriales dependientes de las lluvias.

### Conocimiento de la gestión y tratamiento de los RO

El 29% de los encuestados respondió que tenía conocimiento de la composición química de los residuos que se generaron en el establecimiento, el 71% desconocía la composición y caracterización química de los RO. El 64% de los encuestados no conocía que los RO fueron una importante materia prima para la producción de abonos orgánicos (tabla 2). El 7% de los encuestados respondió que los RO tenían como destino el botadero municipal, el 21% indicaron que estaban dedicados a una planta interna de tratamientos de RO y el 72% dijeron que tenían otros destinos; es decir, trataron de usarlo en distintas actividades propias de la unidad de producción.

Respecto a la gestión de los RO, se apreció que el 71% de los encuestados conoció el impacto que generaron los RO; de ellos, el 64% tuvo conocimientos básicos sobre la elaboración de abonos orgánicos a partir de estos materiales. El 36% recibieron capacitaciones sobre la gestión de los residuos orgánicos; sin embargo, el 71% de los encuestados estuvieron interesados en elaborar un plan de aprovechamiento de los RO (tabla 2).

Tabla 2. Diagnóstico de la gestión de los RO.

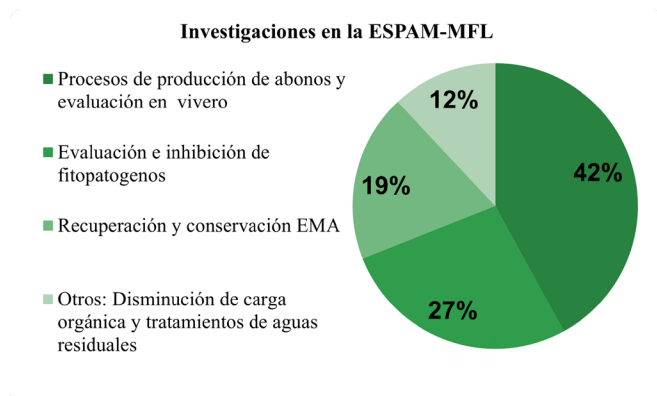
Respuesta de los encuestados expresado en %						
Opciones	Composición y caracterización química del RO	Valoración que tienen los RO para producir abonos orgánicos	Impacto de los RO en la salud pública y el medio ambiente	Conoce sobre la elaboración de abonos orgánicos	Ha recibido capacitación sobre la gestión de los RO	Interés en elaborar un plan de aprovechamiento de los RO
Si (%)	29	36	29	36	36	71
No (%)	71	64	71	64	64	29

Con base en los resultados de la encuesta se puede mencionar la necesidad de buscar alternativas que impulsaron la reutilización de los residuos; y a su vez, generar una fuente de ingreso económico para quien emprendió en esta actividad. Los residuos sólidos que tuvieron como destino el botadero municipal generó una cantidad desmedida y difusa de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano (CH<sub>4</sub>), en una proporción de 50 a 70% de todo el biogás producido (Herrera et al., 2023; Gavilánez et al., 2024). Ante esto, Barros y Tovar (2023) mencionaron que se debe tomar conciencia de la gravedad de las crisis culturales y ecológicas de la demanda, ante esto se sugirió que la comunidad debe adoptar nuevos hábitos de vida en todas las esferas que conforman su realidad.

## Fase 2. Determinación de la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente

### Análisis de las investigaciones dentro de la ESPAM MFL

En el repositorio de trabajos de titulación de la ESPAM-MFL se pudo obtener un total de 24 documentos que trataron sobre el uso de microorganismos en las distintas áreas de estudio (50% ambiental, 42% agrícola y el 8% agroindustrial), los trabajos estuvieron dirigidos a procesos de producción de abonos orgánicos y en viveros (42%), inhibición de fitopatógenos (controladores biológicos, 27%), recuperación y conservación de los EMA (19%) y disminución de carga orgánica y tratamiento de aguas residuales (12%) (figura 4).



**Figura 4.** Usos de EMA en trabajos de titulación de la ESPAM MFL.

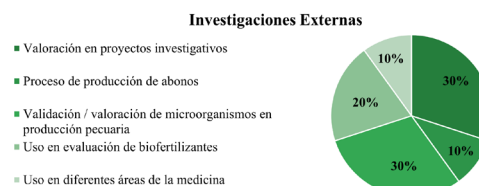
Es de suma importancia realizar la identificación molecular de los EMA promisorios; lamentablemente, todavía es incipiente este ámbito. Prevalció la caracterización morfológica o bioquímica misma que llegó a establecer solo a nivel de género como fue el caso de los *Trichoderma*. En algunos trabajos se ha llegado a identificar a nivel de especies los siguientes EMA: *T. longibrachiatum*, *T. harzianum*, *B. subtilis*, *B. cereus*. Para la tercera fase del trabajo se escogieron cepas de bacteria (*B. subtilis*) y cepas del género *Trichoderma* (EM-150, EM-72, EM-49).

Las comunidades microbianas en los suelos condujeron entre 80 y 90% de los procesos biológicos desarrollados en el suelo, debido a sus múltiples nichos ecológicos, entre los que destacaron la mitigación de alteraciones exógenas, promoción de crecimiento vegetal, actividad de biocontrol, reciclaje de nutrientes, producción de biomasa vegetal, estructura y fertilidad del suelo, la degradación de compuestos tóxicos, entre otros (Cruz et al., 2022). Es por ello que la información recolectada de los microorganismos eficientes es de suma importancia, ya que se puede identificar con claridad el tipo de célula que mejor respuesta dará en los tratamientos evaluados durante el proceso de compostaje y así replicarlos en futuras investigaciones.

Rosado et al. (2020) recalcaron que sin un análisis bioquímico de las cepas no se podría conocer sobre qué especie de diferente género se utilice, ya que puede ocurrir que especies con genotipos idénticos tengan una diferente reacción con respecto al tipo de tratamientos donde fue utilizado. Paredes et al. (2021) mencionaron que el conocimiento de la especie de los microorganismos eficientes es esencial ya que fueron ellos quienes se encargaron de potenciar la descomposición dentro del proceso de compostaje; de esta manera, se pueden diferenciar los EMA que se encargan especialmente de la descomposición de aquellos que contribuyen en la producción y mejor desarrollo de las plántulas después del proceso de compostaje.

### Análisis de las investigaciones con EMA en otras universidades de Manabí

En las investigaciones realizadas en la UTM, ULEAM y UNESUM, se observó que la mayoría del uso de EMA (90%) se concentró en el área agroindustrial, mientras que solo el 10% correspondió al área médica. Dentro de estas aplicaciones, los proyectos de titulación representaron el 30%, seguidos de la validación de microorganismos en producción pecuaria (30%). La producción de abonos alcanzó un 10%, y los biofertilizantes constituyeron el 20%. Finalmente, el 10% restante se aplicó en diferentes áreas de la medicina (figura 5).



**Figura 5.** Uso de EMA en trabajos de investigación en la UTM, ULEAM, UNESUM.

Los resultados mostraron que el uso de EMA en las universidades estudiadas se orientó principalmente hacia la agroindustria, lo que reflejó la fuerte vinculación de la investigación con las necesidades productivas y de valorización de residuos orgánicos en la región. La significativa participación en proyectos de titulación y validación de microorganismos en la producción pecuaria evidenció un interés creciente en la investigación aplicada y en estrategias de producción sostenible. La menor proporción de estudios en biología y medicina indicó que, aunque hubo aplicaciones en otros campos, la prioridad se centró en optimizar procesos productivos y generar insumos como abonos y biofertilizantes. Esto coincidió con hallazgos previos en Ecuador, donde el aprovechamiento de EMA en la agroindustria ha mostrado un impacto relevante en la mejora de la fertilidad del suelo y la reducción de residuos. Para Borjas (2021), fue imperativo profundizar en el estudio de los EMA, dado la evidencia de sus aportaciones beneficiosas en diferentes actividades antropogénicas.

**Fase 3. Validación de los EMA en el proceso de compostaje de RO y obtención de compost eco-funcional**

**Análisis del comportamiento de los indicadores ambientales (temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica)**

Dentro de los parámetros ambientales (tabla 3) las pilas de compostaje iniciaron con una temperatura ambiente (alrededor de los 20 °C), en la primera semana se apreció un aumento en los tratamientos T1 y T2 que alcanzaron los 40 °C, lo cual indicó el inicio de la actividad microbiana natural e inoculada; dentro de este contexto Jara et al. (2020) mencionaron que el incremento de la temperatura, fue un indicador, en tiempo real, de la eficiencia del compostaje y estuvo relacionado con la velocidad de las reacciones biológicas involucradas. El comportamiento del pH en el proceso de compostaje estuvo condicionado por los materiales de origen y varía entre fases, de acuerdo con lo dicho por Bailón y Florida (2021) este indicador fue fundamental para determinar la calidad de un compost; los valores estuvieron influenciados por la composición de los residuos utilizados en el proceso de compostaje.

En la presente investigación, en las primeras cuatro semanas, el pH en los tratamientos T3, T4, T5 y T6 osciló entre 5,01 y 6,96; en el tercer y cuarto mes del proceso de compostaje se observó un incremento en los valores de pH, los cuales oscilaron entre 6,07 y 8,31 en los tratamientos T1 y T2 los que obtuvieron los valores más altos de pH; en cambio, los tratamientos T5 y T6 registraron pH bajos; al final del proceso los valores de pH se situaron entre 6,0 y 7,5 en todos los tratamientos. La normativa chilena NCh 2880 definió valores de pH según la calidad del producto, en el compost clase “A” (5,0-7,5) y en el compost clase “B” (7,51-8,5); estos resultados fueron muy cercanos a los reportados por Aguirre et al. (2022), los cuales oscilaron entre 6,47 y 8,89. Con este criterio se podría decir que todas las variantes de compost, en este experimento, fueron de clase A. El porcentaje de humedad inicial fue muy alto en todas las pilas, debido a las precipitaciones que se suscitaron durante la recolección y apilamiento de los RO, sobre todo en los tratamientos T1 y T2, cuyo material retuvo mucha humedad.

El porcentaje de humedad óptimo se encontró en un rango entre 40-60%, aunque esto puede variar ya que este dependió del material utilizado. Según la normativa chilena NCh 2880 el límite máximo permisible para la variable de humedad los situó entre 30 y 45% para compost de clase “A” y “B”, respectivamente, mientras que consideró compost inmaduros aquellos que tuvieron >45 de humedad. En este trabajo, todas las variantes de compost superaron 45% de humedad; por tanto, se consideró inmaduro; aunque se debe tener en cuenta que el proceso de compostaje

llevó 4 meses, y según lo que expuso Mero y Barreiro (2021) la maduración del compost tardó de 3-6 meses. Con respecto a conductividad eléctrica se obtuvo un compost de clase “A” (<5), de acuerdo con la norma chilena NCh 2880. La CE en las pilas de compostaje alcanzaron valores de 0,143 dS·m<sup>-1</sup> (con EMA) y 0,144 dS·m<sup>-1</sup> (sin EMA) valores similares a los obtenidos por Bailón y Florida (2021). Estos valores se encontraron dentro del rango establecido por la NCH 2880 (2004) (< 3 dS·m<sup>-1</sup>) y la NMX (2018), donde se estableció que un compost con rango de CE entre 0,5 a 1,2 dS·m<sup>-1</sup> el producto se cataloga como compost de clase A.

**Tabla 3.** Parámetros ambientales en las pilas durante el proceso de compostaje.

Parámetro	Tratamiento	Mes 1				Mes 2	Mes 3	Mes 4
		7 días	14 días	21 días	30 días			
Temperatura (°C)	T1	40,22	41,09	36,30	37,50	37,17	38,86	32,16
	T2	40,30	40,00	36,48	36,40	35,00	38,00	32,60
	T3	33,18	34,46	35,06	35,80	39,26	34,80	37,00
	T4	33,58	33,31	35,78	35,80	36,10	33,90	35,90
	T5	34,76	34,46	35,88	36,10	37,17	35,50	35,70
	T6	36,07	34,50	34,70	34,50	37,18	36,00	36,00
pH	T1	6,43	5,78	6,10	6,07	8,31	8,00	7,00
	T2	6,12	6,78	6,50	6,14	8,31	8,31	7,50
	T3	6,07	6,24	5,01	5,01	7,10	7,18	6,72
	T4	6,12	6,23	5,40	5,40	7,87	7,90	6,54
	T5	6,32	6,80	6,90	6,96	6,70	6,07	6,00
	T6	6,35	6,88	6,81	6,90	6,60	6,08	6,09
Humedad (%)	T1	83,16	84,00	89,00	90,00	83,00	76,00	76,10
	T2	79,52	76,10	85,00	85,00	84,90	78,00	78,10
	T3	76,40	84,50	81,50	80,00	64,90	51,30	51,40
	T4	81,50	61,50	73,30	71,00	62,70	50,00	50,10
	T5	72,31	63,50	77,70	72,00	74,80	74,00	74,10
	T6	77,90	78,40	79,80	74,00	66,00	54,00	54,10
Conductividad eléctrica (dS·m <sup>-1</sup> )	T1	1,14	1,57	1,33	1,39	1,40	1,45	1,71
	T2	1,17	1,57	1,32	1,28	1,50	1,45	1,72
	T3	2,28	1,47	1,38	1,39	2,15	2,15	1,70
	T4	1,60	1,43	1,27	1,33	2,62	2,60	1,71
	T5	1,53	1,69	1,38	1,30	2,15	2,15	1,71
	T6	1,47	1,39	1,33	1,42	2,62	2,58	1,70

**Análisis fitotóxico**

La figura 6 mostró que las variantes de compost se encontraron por debajo del 80% de germinación de las semillas de rábano como indicadores en el compost elaborado. Sin embargo, se puede evidenciar que los valores se incrementaron en el tiempo, lo cual confirmó que la concentración de componentes fitotóxicos en el

compost disminuyó secuencialmente y que el sustrato puede ser usado con fines agronómicos. Cabe mencionar que el tratamiento con mayor índice de germinación correspondió al T5 (Cascarilla de arroz + Bovinaza + EMA). Lo deseable es que supere el 90% de germinación para considerarlo como compost maduro, según la normativa Nch2880.

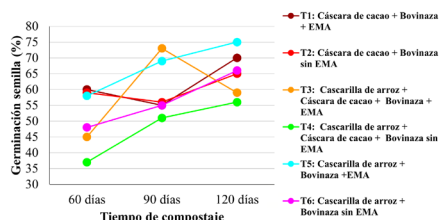


Figura 6. Índice de germinación de semillas en los tres primeros meses de compostaje.

Los resultados presentaron similitud con la investigación de Delgado et al. (2019), quienes reportaron un índice de germinación por debajo del 80% en el compost de pila.

### Análisis del comportamiento de los macro y micronutrientes en el proceso de compostaje

En la tabla 3 se presentan los promedios de las variables físico-químicas evaluadas a los 60 y 120 días de iniciado el proceso de compostaje. Interesa, sobre todo, los valores a los 120 días porque el compost es usado con fines agronómicos y debe ser una fuente de nutrientes para las plantas cultivadas. Los promedios de macro y micronutrientes fueron muy similares en las dos variantes de compostaje -con y sin EMA-, lo cual confirmó que el contenido de nutrientes en el abono orgánico dependió de los materiales de partida. Se resaltó el N que se encontró en los rangos establecidos por la NCh 2880 (2004), en el comportamiento de nitrógeno para un compost maduro con un valor  $\geq 0,80\%$  resultados que guardaron relación en comparación a los datos obtenidos dentro de la investigación realizada por Delgado et al. (2019) en donde se obtuvieron valores entre 2,0 y 3,5%, igual para el P que debe ser  $\geq 0,1\%$  sobre la base seca; los valores de K coincidieron con la Norma Técnica Colombiana 5167 (2004), en la que se indicó que un compost maduro debe tener valores mayores a 1,5%; lo cual dentro de este componente solo los tratamientos T1, T2, T3 y T4 cumplieron con los parámetros dentro de esta norma.

Tabla 3. Valores de MO, macro y micronutrientes en el compost con y sin EM.

Elemento	Unidad	Tiempo de compostaje (días)												
		T1 (Con EMA)		T2 (Sin EMA)		T3 (Con EMA)		T4 (Sin EMA)		T5 (Con EMA)		T6 (Sin EMA)		
		60	120	60	120	60	120	60	120	60	120	60	120	
Macronutrientes														
Nitrógeno	N	1,77	1,49	1,79	1,31	1,12	1,07	1,11	1,07	0,96	0,98	0,99	1,02	
Fósforo	P	0,86	0,87	0,88	0,92	0,68	0,68	0,72	0,68	0,58	0,54	0,59	0,58	
Potasio	K	2,81	2,88	3,17	2,94	1,44	1,31	1,24	1,31	0,9	0,99	0,95	0,97	
Calcio	Ca	2,0	2,29	1,99	2,08	1,55	1,57	1,50	1,57	1,37	1,54	1,41	1,52	
Magnesio	Mg	0,77	0,84	0,81	0,85	0,78	0,78	0,67	0,78	0,74	0,81	0,78	0,81	
Azufre	S	0,27	0,28	0,29	0,29	0,2	0,19	0,2	0,19	0,17	0,19	0,19	0,20	
Micronutrientes														
Boro	B	12,5	7,3	15,6	12,5	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	
Zinc	Zn	168,8	153,3	158,9	154,9	160,4	154,8	162,8	154,8	149,0	155,5	149,1	145,8	
Cobre	Cu	32,3	35,5	31,2	35,3	52,4	54,3	59,4	54,3	54,1	55,3	53,1	53,0	
Hierro	Fe	9331	10937	8272	10103	15859	19507	16473	19507	17245	18609	18273	17237	
Manganeso	Mn	338,7	340,0	319,8	322,2	417,4	474,5	459,7	474,5	505,1	499,3	477,0	449,6	
Materia orgánica	MO	%	54,99	52,87	57,22	53,76	35,75	33,37	37,26	33,37	33,33	31,66	34,81	36,77
Carbón orgánico		%	31,9	30,67	33,19	31,18	20,73	19,36	21,61	19,36	19,33	18,36	20,19	21,33



Relación C/N	%	18,02	20,58	18,54	23,8	materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, los cuales se podrían considerar altos debido al sustrato utilizado, cascarilla de arroz, cáscara de cacao y bovinaza. Además, se debe de comprender que, el abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales.
--------------	---	-------	-------	-------	------	--

En la tabla 3 se encuentran los valores de micronutrientes reportados en los diferentes tipos de compost evaluados. El boro se encontró en rangos por debajo de los evidenciados en el estudio de Álvarez et al. (2021) cuyos valores fluctuaron entre 34 y 36 ppm; por ello, se declaró que todos los tratamientos fueron pobres en este componente nutricional. El Zinc es uno de los nutrientes esenciales dentro de la producción de cultivos, sus valores permitidos se encontraron entre 10 y 1000 ppm, valores que guardaron relación con todos los tratamientos de este estudio y fueron superiores a los reportados por Álvarez et al. (2021) y Dawar et al. (2022).

Respecto al contenido de cobre los tratamientos T1 (14 ppm) y T2 (42 ppm) cumplieron con los rangos permitidos y puede ser clasificado como un compost de clase A; en el caso del hierro la carga nutricional se superó en todos los tratamientos (valores de la norma entre 573 y 603 ppm); el manganeso fue superior a los valores permisibles en la norma. Estos resultados coincidieron con los valores altos de Fe y Mn mostrados en el estudio de Álvarez et al. (2021), y no cumplieron con lo establecido en la Normativa Chilena NCh 2880.

La materia orgánica (MO), en el compost con EMA reflejaron valores de 31,9 y 40,8% a los 60 y 120 días del proceso de compostaje, respectivamente; en el compost sin EMA los promedios de MO fueron de 33,9 y 45,03% en los dos momentos de evaluación. En el caso de la materia orgánica los valores estuvieron entre 31,66 y 57,22%, que fueron menores a los resultados obtenidos por Jara et al. (2020), quienes obtuvieron valores entre 68,50 y 91,48%; sin embargo, de acuerdo con la NCh 2880 (2004) para que un compost se considere maduro la MO debe ser igual o mayor a 25%, por lo tanto, el compost obtenido fue de clase A.

Según lo mencionado por Delgado et al. (2019) se debe tener en cuenta que el compostaje es una técnica de digestión de materia orgánica, la cual tradicionalmente demora entre 16 y 24 semanas; es por ello que el proceso de compostaje es de suma importancia a tener en cuenta ya que algún factor que intervenga puede afectar o causar graves consecuencias en la época de cosecha del compost. En ocasiones el proceso de compostaje dura más debido al tipo de material utilizado y las condiciones climáticas presentes en la preparación de este.

Por otra parte, el aporte nutricional del compost es de suma importancia para fines agronómicos, los resultados alcanzados en el presente trabajo coincidieron con lo mencionado por Huapaya (2024) quien reportó contenidos nutricionales adecuados de

materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, los cuales se podrían considerar altos debido al sustrato utilizado, cascarilla de arroz, cáscara de cacao y bovinaza. Además, se debe de comprender que, el abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales.

Para Casas y Guerra, (2020) la combinación de abono orgánico/ materia orgánica y fertilizantes minerales, ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo; sin embargo, se debe considerar que la humedad del compost se encuentra en valores >45% lo cual resultó en que el material puede ser tóxico al ser aplicado de manera directa al suelo; en estos casos una técnica que se puede aplicar fue la propuesta por Ciudades Verdes (2025) quien mencionó que se puede utilizar el compost como mezcla de 50% de tierra vegetal agrícola, 30% de compost y 20% de arena gruesa hameada. Dentro de estas alternativas de solución se encuentra la propuesta por Brempong et al. (2019) quienes detallaron que en regiones semiáridas un compost de alta humedad puede beneficiar la dinámica de carbono y nitrógeno en el suelo.

### Conclusiones

Los principales residuos generados en la ESPAM-MFL y en la zona de influencia son la cáscara de cacao, cascarilla de arroz, porquinaza, bovinaza. Hay una producción permanente de estos residuos y en cantidad considerable para la elaboración de abonos orgánicos. En las universidades de Manabí hay experiencia en investigación con microorganismos eficientes, como: degradadores de materiales orgánicos, promotores de crecimiento vegetal, antagonistas y biorremediadores. Los residuos orgánicos y microorganismos eficientes escogidos para el proceso de compostaje (T2: Cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T4: Cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; y T5: Cascarilla de arroz + bovinaza + EMA), permitieron obtener un compost de categoría A, según normas internacionales.

### Conflicto de intereses

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

### Referencias bibliográficas

Aguilar, S., Enriquez, M. y Uvidia, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista de Investigación, Docencia y Proyección Social*, 1(27), 05-11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>



- Aguíñaga, A., Medina, K., Garruña, R., Latournerie, L. y Ruíz, E. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Revista Acta Universitaria*, 30, e2475. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Aguirre, S., Piraneque, N. y Cabarcas, D. (2022). Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclo de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. *Entramado*, 18(1), e216. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8063>
- Albiño, J. (2020). Los sistemas de producción de cacao del cantón Shushufindi y su resiliencia al cambio climático. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 27, 90-114. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.4147>
- Alvarado, T. y Rangel, S. (2020). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 76-94. <https://doi.org/10.23850/24220582.3141>
- Álvarez, A., Llerena, L. y Reyes, J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39, e916. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Andrade, D. y Avellán, A. (2020). *Inoculación de un consorcio microbiano autóctono encapsulado con capacidad celulolítica para la producción de compost de calidad en Manabí-Ecuador* [Tesis Ingeniero Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1326>
- Bailón, M. y Florida, N. (2021). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Barona, A., Insuasty, O., Viveros, C., Ángel, J. y Ramírez, J. (2020). Evaluación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para producción de panela en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), e1298. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1298>
- Barros, M. y Tovar, D. (2023). Implementación del compostaje como estrategia sostenible para reducir la generación de residuos sólidos orgánicos en el centro educativo la Guajirita, sede Casa Blanca. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 2597-2613. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i5.7908](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7908)
- Borjas, J. (2021). Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 5(15), 79-97. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.90>
- Brempong, M., Norton, U. y Norton, J. (2019). Efectos del compost y la humedad del suelo en la dinámica estacional del carbono y el nitrógeno, los flujos de gases de efecto invernadero y el potencial de calentamiento global de suelos semiáridos. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult*, 8 (Supl. 1), 367-376. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00309-4>
- Camacho, F., Uribe, L., Newcomer, Q., Masters, K. y Kinyua, M. (2019). Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 75-84. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2197>
- Cartay, R., Ordoñez, J., Rodrigo, J. y Varela, A. (2023). Estrategias para la reducción de los residuos agrícolas sólidos potencialmente contaminantes desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental. *Agroalimentaria*, 29(57), 43-67. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9333803.pdf>
- Casas, S. y Guerra, L. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 87-102. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-79202020000300087&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202020000300087&lng=es&tlng=es)
- Castro, H., Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41(38), 42-50. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>
- Cedeño, R., García, M., y Mero, A. (2020). Generación y aprovechamiento de residuos agrícolas en zonas productivas de Manabí. *Revista Agroecológica del Litoral*, 12(2), 45-56.
- Ciudades Verdes (19 de mayo de 2025). *Preparación del terreno. Ciudades verdes*. <https://ciudadesverdes.com/estandares-tecnicos/paisajismo/cesped/preparacion-del-terreno/>
- Córdova, J., Vargas, B., Naranjo, E. y Vega, P. (2022). Obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy. *Perfiles*, 1(28), 29-35. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.181>
- Cruz, C., Zelaya, L., Sandoval, G., Santos, S., Rojas, E., Chávez, I. y Ruíz, S. (2022). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Cruz, R., Piranique, N. y Aguirre, S. (2023). *Introducción a la biología y microbiología de suelos*. Editorial Unimagdalena. <https://agricolavalleesperanza.com/introduccion-a-la-biologia-y-microbiologia-de-suelos/>



- Dawar, K., Kalil, Z., Ahmad, I., Kan, B., Alí, S., Ahmad, A., Saeed, M., Ahmed, N., Fhad, C., Danés, S., Bahkali, A. y Datta, R. (2022). Effects of farmyard manure and different phosphorus inorganic fertilizer application rates on wheat cultivation in phosphorus-deficient soil. *Sustainability*, 14(30), 9030. <https://doi.org/10.3390/su14159030>
- Delgado, M., Mendoza, k., González, M., Tadeo, J. y Martin, J. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 35(4), 965-977. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n4/0188-4999-rica-35-04-965.pdf>
- Garrido, L., Florida, N., Nazar, J. y Rengifo, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción + Limpia*, 18(1), 109-128. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Gavilán, F., Morán, C. y Campoverde, G. (2024). Impacto ambiental y emisión de metano del botadero de basura de Naranjito, Guayas - Ecuador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 16 (1), 1-10. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v16i1.5173>
- Gutiérrez, E., García, T., Roca, K. y Valiente, Y. (2024). Gestión de residuos sólidos y la contaminación ambiental en el sector urbano. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9(17), 108-118. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3156>
- Guzmán, A., Zambrano, D., Rondón, A., Laurencio, M., Pérez, M., León, R., y Rivera, R. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista. Fac. Cienc. Agrar., Univ*, 46(2), 177-189. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837658004.pdf>
- Han, M., Wu, Y., Liu, X., Liu, C., He, M., Zhao, S., Li, Y., Zhao, S. and Li, Z. (2022). The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting. *Bioresource Technology*, 351, 126973. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>
- Herrera, M., Valiente, Y., Garibay, J. y Herrera, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 150-170. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2540>
- Huapaya, Y. (2024). Evaluación del compost a diferentes composiciones para aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Puno para contribuir en contrarrestar el cambio climático. *Revista de Investigación Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 24-35. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v26n1/2313-2957-ria-26-01-24.pdf>
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. (2019). *Manejo simplificado de residuos sólidos a nivel doméstico urbano en trópico húmedo, Iquitos – Peru*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). <https://api-repositorio.iiap.gob.pe/server/api/core/bitstreams/f2e97042-7b72-4073-aa17-03df4f4d33d4/content>
- Intriago, J., Plaza, I. (2020). *Obtención de bacterias endófitas del tomatillo (Lycopersicon pinpinelifolium L.) como promotoras de crecimiento vegetal*. [Tesis Ingeniero Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1322>
- Jara, J., Gallegos, J. y Pullopaxi, A. (2020). Biotransformación de residuos orgánicos generados en la escuela superior politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje. *InterSedes*, 21(44), 189-201. <https://dx.doi.org/10.15517/isucr.v21i44.43944>
- Loor, K., y Delgado, M. (2021). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el cantón Bolívar, Manabí. *Ciencia y Producción*, 5(3), 66-77.
- Lozano, A., Sánchez, C. y Ardila, J. (2020). Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás vía simulación con el software SIMBA®. *Revista Ingeniería y Región*, 24, 72-85. <https://doi.org/10.25054/22161325.2779>
- Mena, M. (29 de marzo de 2022). *Generación de residuos*. Statista. <https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano/>
- Mendoza, F., y Herrera, G. (2018). *Residuos agroindustriales en el Ecuador: diagnóstico y alternativas de gestión sostenible*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Mero, E. y Barreiro, F. (2021). *Evaluación de la calidad de compost elaborado a partir de subproductos de arroz (Oryza sativa) y yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis Ingeniero Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1641>

- Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
- Muñoz, O., Canepa, E. y Peñafiel, A. (2022). Enseñanzas para el manejo de los desechos agrícolas del Cantón Montalvo mediante charlas en gestión ambiental. *Conrado*, 18(88), 141-150. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442022000500141&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442022000500141&lng=es&tlng=es).
- NCH (Norma Chilena de Compost 2880). (2004). Compost - Clasificación y Requisitos, 23 pp. [https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh\\_2880\\_Compost\\_Clasificaci%C3%B3n.pdf](https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf)
- NMX (Norma Mexicana-AA-180-SCFI-2018). (2018). Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>
- Noboa, B. (2021). *Uso de microorganismos eficientes para acelerar la descomposición de residuos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.), Echeandia-Bolívar*. [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/NOBOA%20GAVILANES%20BYRON%20ALEXANDER.pdf>
- Normativa Técnica Colombiana (NTC Norma para abonos orgánicos y fertilizantes 5167. (2011). *Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. <https://www.cali.gov.co/dagma/loader>.
- Ojeda, C., Gutiérrez, J. y Córdova, L. (2021). Desempeño económico-financiero 2010-2019 de empresas longevas en el Ecuador: ¿Avance o retroceso?. *Podium*, 40, 89-104. <https://doi.org/10.31095/podium.2021.40.6>
- Ordoñez, C., Suárez, J., Rangel, J. y Saavedra, D. (2021). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 256-267. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)256-267](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)256-267)
- Ormaza, E., López, L. y Nevárez, J. (2025). *Vulnerabilidad de la producción agrícola en la zona norte de Manabí*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://libros.ulead.edu.ec/wp-content/uploads/2025/02/DIPS-PUB2025-003-Vulnerabilidad-de-la-produccion-agricola.pdf>
- Paredes, J., Dueñas, A. y Zambrano, F. (2021). Aplicación de microorganismos eficientes en la descomposición de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq. 1897) para la elaboración de compost. *Revista PAIDEIA XXI*, 11(2), 291-306. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/4085/5050>
- Riera, M., Laz, M. y Tuárez, M. (2024). Residuos revalorizables: una oportunidad de desarrollo manabita. *Revista ESPAMCIENCIA para el agro*, 15(1), 12-20. [https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v15i1.466](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.466)
- Romero, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54), e100. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Rosado, M., González, J., Mireles, M., Torres, J., Rosas, N. y Villegas, J. (2020). Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.248>
- Taipe, M., Duicela, L., Solorzano, J., Molina, C., Zambrano, T., Caixa, F. y Aranguren, J. (2022). Realidades de la ganadería bovina en la provincia de Manabí. *Revista de Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 311-338. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i4.2588](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2588)
- Tortosa, G. (2013). *Azufre elemental para bajar el pH de un compost*. *Compostando Ciencia*. [https://www.compostandociencia.com/2013/07/azufre-elemental-baja-ph-en-compost-html/#:~:text=El%20azufre%20elemental%20es%20un,peso%20con%20respecto%20al%20compost\).&text=The%20evolution%20of%20pH%20during,addition%20of%20S%20\(1.0%25\)](https://www.compostandociencia.com/2013/07/azufre-elemental-baja-ph-en-compost-html/#:~:text=El%20azufre%20elemental%20es%20un,peso%20con%20respecto%20al%20compost).&text=The%20evolution%20of%20pH%20during,addition%20of%20S%20(1.0%25)).
- Vasquez, K. (2024). *Aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos para la obtención de abono orgánico mediante la técnica de compostaje a pozo y vermicompostaje en la 3.ª Brigada de Servicios de la Región Militar Sur-Ministerio de Defensa-Arequipa, 2021* [Tesis Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17083/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Vasquez\\_Ybarcena\\_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17083/1/IV_FIN_107_TE_Vasquez_Ybarcena_2024.pdf)

### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**Jesús Eduardo Vázquez Quirumbay:** análisis formal, redacción-borrador original, investigación, edición del artículo. **Ángel Monserrate Guzmán Cedeño:** escritura del esquema del documento, edición de la metodología, edición del borrador del artículo, análisis formal, redacción-revisión y edición.





## Caracterización agro socio productiva de los usuarios del sistema de riego Maconta Abajo, Manabí, Ecuador

### Agro socio productive characterization of the users of the 'Maconta Abajo' irrigation system, Manabí, Ecuador

#### Autores

\*Yaser Galarza Alava  
✉ yaser.galarza@espam.edu.ec

Cristian Valdivieso López  
✉ cristian.valdivieso@espam.edu.ec

Saskia Guillen Mendoza  
✉ sguillen@espam.edu.ec

Lenin Vera Montenegro  
✉ lveram@espam.edu.ec

Leonardo Vera Macías  
✉ lvera@espam.edu.ec

Carrera de Ingeniería Agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, vía Calceta-El Morro, Ecuador.

**Citación sugerida:** Galarza Alava, Y., Valdivieso López, C., Guillen Mendoza, S., Vera Montenegro, L., Vera Macías, L. (2025). Caracterización agro-socio-productiva de los usuarios del sistema de riego Maconta Abajo, Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 15(2), 125-133. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7503>

Recibido: Febrero 26, 2025  
Aceptado: Octubre 10, 2025  
Publicado: Noviembre 01, 2025

#### Resumen

La investigación caracterizó las dinámicas agro socio productivas de los usuarios del sistema de riego Maconta Abajo, Manabí, Ecuador, considerando dimensiones sociales, agro-productivas, técnicas y ambientales, se trabajó con 44 productores, representativos de 50 socios activos, aplicando un diseño no experimental descriptivo explicativo, bajo el paradigma positivista con un enfoque mixto. La recolección de datos se realizó mediante encuesta estructurada, validada por expertos y evaluada con la prueba de test retest. Dimensión social, el 81,8% de las parcelas fueron administradas por hombres con una edad de 57,9±13,2 años y actividad principal agricultura 72,7%. La prueba  $\chi^2$  mostró asociación significativa entre género y ocupación, mientras que escolaridad, tenencia, título de propiedad, residencia, financiamiento, asistencia técnica y viabilidad no mostraron diferencias significativas. En la dimensión, agro-productiva, la superficie cultivable fue de 1,35±1,56 ha, predominado frutales 34,15% y maíz 31,8%. Con asociación significativa entre tipo de cultivo, superficie cultivable, fuente principal de agua y tipo de riego. Dimensión técnica-operativa, el 95,5% realizó un pago por superficie con riego con una frecuencia de dos veces por semana. Se encontraron asociaciones significativas entre las variables tipo de pago, frecuencia de pago y a quien paga la tarifa. Dimensión ambiental, el 79,5% desconoció el caudal autorizado y el 81,8% la fuente hídrica con asociación significativa entre caudal y análisis de calidad del agua. Los resultados indicaron que la eficiencia y sostenibilidad del sistema parcelario dependió de la interacción entre aspectos sociales, productivos, técnicos y ambientales, resaltando la necesidad de renovación generacional, capacitación técnica y acceso equitativo al recurso hídrico.

**Palabras clave:** desarrollo agrícola, gestión de recursos hídricos, riego tecnificado, desarrollo rural, sostenibilidad ambiental.

#### Abstract

The research characterized the agro-socio-productive dynamics of users of the 'Maconta Abajo' irrigation system in Manabí, Ecuador, considering social, agro-productive, technical, and environmental dimensions. It worked with 44 producers, representing 50 active partners, applying a non-experimental descriptive explanatory design under the positivist paradigm with a mixed approach. Data collection was carried out using a structured survey, validated by experts and evaluated with the test-retest method. Social dimension: 81.8% of the plots are managed by men aged 57.9±13.2 years, with agriculture as their main activity (72.7%). The  $\chi^2$  test showed a significant association between gender and occupation, while schooling, tenure, title deeds, residence, financing, technical assistance, and viability showed no significant differences. In the agricultural production dimension, the cultivable area was 1.35±1.56 ha, with fruit trees predominating at 34.15% and corn at 31.8%. There was a significant association between crop type, cultivable area, main water source, and irrigation type. Technical operational dimension: 95.5% make a payment per irrigated area twice a week. Significant associations were found between the variables type of payment, frequency of payment, and to whom the fee was paid. Environmental dimension: 79.5% were unaware of the authorized flow rate and 81.8% were unaware of the water source, with a significant association between flow rate and water quality analysis. The results indicated that the efficiency and sustainability of the parcel system depends on the interaction between social, productive, technical, and environmental aspects, highlighting the need for generational renewal, technical training, and equitable access to water resources. Keywords: composting, biodegradation, biofertilizer, sustainability, organic farming.

**Keywords:** agricultural development, water resource management, technified irrigation, rural development, environmental sustainability.



### Introducción

América Latina es una región con gran diversidad climática, topográfica y edáfica, lo que favorece el desarrollo agrícola, esta actividad representa el 27% de la tierra cultivable del mundo (Arce, 2018). La agricultura cumple un papel fundamental en la producción de alimentos y en la economía de los países de la región. En Ecuador, aproximadamente el 26% de la población económicamente activa se dedica al sector agrícola, siendo uno de los principales generadores de exportaciones de cultivos como plátano, cacao, rosas y café (Cortés, 2023). En la provincia de Manabí, esta actividad es relevante, aunque enfrenta desafíos de una fuerza laboral envejecida y baja participación de jóvenes, lo que limita la renovación generacional (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2021).

Las unidades de producción agropecuaria de Manabí, son generalmente pequeñas, con un promedio de 5 ha y suelen transferirse de generación en generación dentro de las familias campesinas. Esta organización familiar sustenta una agricultura diversificada, donde los cultivos como maíz, banano, cacao y frutales garantizan la seguridad alimentaria y aportan a la economía local (Prefectura de Manabí, 2025). Sin embargo, los productores enfrentan desafíos recurrentes, como suministros irregulares de agua, altos costos de bombeo y mantenimiento hidráulico, limitada disponibilidad de insumos y acceso reducido a conocimientos técnicos, mientras que la mayoría aun emplea sistemas de irrigación simples, como el riego por inundación que presenta una eficiencia relativamente baja, generalmente inferior al 45% (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021).

Dentro de su característica climática, Portoviejo al igual que una gran parte de la provincia de Manabí, presenta una época de sequía hidrológica cerca de siete meses del año de junio a diciembre, mientras que la época lluviosa que comprende los cinco meses de enero a mayo (Mera, 2014). Período en el cual se registra el 91,98% de la precipitación anual, equivalente a 761,94 mm de un total de 829,42 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2023). Durante la época seca, la demanda de agua fue alta y el volumen de escorrentía de los ríos fue baja (Mendoza et al., 2019). Por esa razón, en la época seca depende del embalse Poza Honda que tiene una capacidad de almacenamiento de más de 100 hm<sup>3</sup>. Desde esta infraestructura hidráulica, se da origen al sistema de riego tecnificado denominado “Maconta Abajo” (Prefectura de Manabí, 2022). Mismo que se encuentra ubicado al norte del Sitio “Maconta Arriba”, limitando al sur con “Maconta Calderón”, al este con Bijahual y al oeste con Los Ángeles de Colón (Ruiz, 2014). La superficie bajo riego de este sistema supera las 100 ha y beneficia a más de 70 familias de manera directa y más de 300 personas de manera indirecta.

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar las dinámicas agro-socio-productivas de los usuarios del sistema de riego “Maconta Abajo” en Manabí, Ecuador, considerando los aspectos social, productivo, técnico operativo y ambiental e identificar los factores que influyen en la gestión sostenible del recurso hídrico para mejorar su eficiencia y equidad.

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

Este trabajo se ejecutó en la zona de influencia del sistema de riego “Maconta Abajo”, localizada en la comunidad “Maconta Abajo”, parroquia Colón perteneciente al cantón de Portoviejo. Referenciado geográficamente entre las coordenadas 1°5'7.31" S y 80°22'10.49" O (figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de influencia del sistema de riego “Maconta Abajo”.

#### Tamaño de la muestra

En el marco de la investigación, se trabajó con un universo conformado por 50 productores, quienes corresponden al total de socios activos del sistema de riego “Maconta Abajo”, registrados en el padrón de consumidores de la Junta de Riego y Drenaje “Las Palmas” (Estatuto de la Junta de Riego y Drenaje “Las Palmas”, 2021). Para garantizar la representatividad de los datos y un adecuado nivel de confianza estadística, se determinó el tamaño de la muestra mediante la fórmula (1) para poblaciones finitas, según lo propuesto por Arcos (2016).

$$n = \frac{(Z)^2(p)(q)(N)}{(d)^2(N - 1) + (Z)^2(p)(q)}$$

Donde  $n$  es el tamaño de la población (50 productores)= 0,5 la probabilidad de éxito= 0,5 la probabilidad de fracaso= 1,96 el valor para un nivel de confianza del 95%= 0,05 de precisión. La aplicación de la fórmula (1), resultó en un tamaño de

muestra de 44 productores, equivalente al 88% de la población total, los cuales fueron incluidos en el estudio, asegurando su representatividad estadística y la validez de los resultados obtenidos.

**Diseño metodológico, enfoque e instrumentos de recolección de datos**

La investigación se desarrollo con un diseño no experimental, de carácter descriptivo-explicativo bajo un enfoque mixto que combinó métodos cuantitativos y cualitativos para analizar el fenómeno sin manipular en las variables (Stroud et al., 2020). Se enmarco en el paradigma positivista, orientado a la observación objetiva y la identificación de patrones y relaciones causales (Soares y Aguiar, 2025). Para la obtención de los datos se aplicó la técnica de encuesta, utilizando un cuestionario estructurado, diseñado a partir de la sistematización de las variables organizadas en cuatro dimensiones; social, agro-productiva, técnico operativa y ambiental (tabla 1). El instrumento incluyó 28 ítems, combinando preguntas abiertas y cerradas de selección múltiple. Con predominancia de variables dicotómicas, ordinales y cuantitativas continuas, según correspondió, esta estructura permitió organizar, codificar y procesar los datos de manera coherente (Guillén et al., 2023).

**Tabla 1.** Sistematización de las variables.

Variable	Dimensión	Categorías/Indicadores
Caracterizar la situación agro-socio-productiva	Social	Género, edad del propietario, ocupación, tenencia de la tierra, nivel de escolaridad, título de propiedad, residencia en la parcela, acceso a financiamiento, asistencia técnica, vialidad.
	Agro-productiva	Superficie de la finca, cultivos predominantes, superficie cultivable, producción anual, fuente principal de agua para riego, tipo de riego, superficie bajo riego.
	Técnica-operativa	Tipo de pago, horario de riego, frecuencia de pago, frecuencia de riego, tarifa del sistema de riego, entidad o persona receptora del pago.
	Ambiental	Caudal autorizado para riego, análisis de calidad del agua, nombre de la fuente hídrica.

Nota. La tabla muestra la sistematización de variables del presente estudio en su dimensión social, agro-productiva, técnica operativa y ambiental, cada una de ellas con sus respectivas categorías.

Para garantizar la validez y confiabilidad del cuestionario, se aplicó un procedimiento mixto que combinó validación por expertos y prueba de test retest. La validación por expertos siguió la metodología de López (1998), evaluando la pertinencia, coherencia y claridad de cada pregunta, participaron cinco especialistas en gestión del recurso hídrico y desarrollo rural, quienes revisaron la estructura y adecuación del cuestionario, asegurando su correspondencia con las dimensiones social, agro productiva, técnica operativa y ambiental del estudio. Posteriormente, se implementó la prueba test retest según Sailema et al. (2022), aplicó un grupo piloto de ocho productores, con un intervalo de dos semanas entre aplicación del instrumento, obteniendo un coeficiente de confiabilidad de (r= 0,89). Este resultado confirmó la consistencia temporal y estabilidad del cuestionario, garantizando que el instrumento proporcionó información fiable, sistemática y comparable para el análisis de las variables investigadas (figura 2).



**Figura 2.** Aplicación del cuestionario a productores del sistema de riego “Maconta Abajo”.

**Análisis estadístico**

Los datos fueron procesados en el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Mediante estadística descriptiva, obteniéndose frecuencias y porcentajes para variables categóricas, así como media y desviación estándar para variables continuas. Adicionalmente, se aplicó la prueba de Chi cuadrado de Pearson para evaluar la asociación entre los indicadores de cada variable dentro de sus respectivas dimensiones social, agro productiva, técnica operativa y ambiental. Se adoptó un nivel de significancia de (P≤0,05), considerándose valores superiores como no significativos.

**Resultados y discusión**

**Dimensión social**

El 81,8% de las parcelas de la comunidad “Maconta Abajo”, se encuentran administradas por hombres, mientras que solo el 18,2% está bajo la supervisión de mujeres. Esta distribución confirmó lo señalado por Tito-Velarde (2021), quien destacó la persistente desigualdad en el acceso y control de los recursos productivos en áreas rurales. La edad promedio de los productores fue de 57,9±13,2 años, lo que reflejó la ausencia de un relevo generacional en el sector agrícola, fenómeno asociado a la migración de los jóvenes hacia zonas urbanas y a la falta de incentivos para permanecer en el campo (Triana et al., 2024).



Con relación a la ocupación, la agricultura constituyó la principal actividad económica abarcando el 72,7%, seguida de labores domésticas 13,6%, empleo público 9,1% y profesiones técnicas 4,6%. Este patrón evidenció una baja diversificación laboral y una fuente de dependencia de la actividad agrícola, lo que aumentó la vulnerabilidad frente a la variabilidad y la inestabilidad de los mercados (Montero et al., 2024).

Respecto a nivel educativo, la mayoría de los productores contaron con formación secundaria 50%, un 36,4% mencionó que terminaron la primaria y solo el 13,6% accedió a la educación superior. Este bajo nivel de escolaridad limitó la adopción de innovaciones tecnológicas y la gestión sostenible de los sistemas productivos, como lo reportaron Guerrero et al. (2023). Con relación con los predios, el 97,7% de la muestra declaró ser propietario, pero únicamente el 77,3% dispuso de un título formal del mismo, condición que restringió la disponibilidad de obtener financiamiento y destinarlos a la implementación de obras o equipamiento agrícola (Martínez y Salazar, 2022). Además, solo el 38,6% residió en su parcela, lo que dificultó la supervisión constante de los cultivos.

La disponibilidad de financiamiento fue limitada, el 90,9% de los productores dependió de recursos propios, mientras que apenas el 9,1% accedió a créditos privados, lo que reflejó las barreras estructurales para ingresar al sistema financiero rural (Tomalá y Manya, 2023). A ello se sumó la carencia de asistencia técnica, presente en el 95,4% de los productores que limitó la modernización de los sistemas de cultivos y la implementación de prácticas sostenibles (Maldonado et al., 2023). El 65,9% de los encuestados consideró que la viabilidad fue buena, un 34,1% percibió deficiencias en el acceso a caminos de calidad, lo que incrementó los costos de transporte y dificultó la comercialización (Pérez et al., 2021).

La prueba de  $X^2$  en la dimensión social, se evidenció una asociación estadísticamente significativa entre las variables de género y ocupación ( $P \leq 0,05$ ), confirmando que la actividad agrícola se concentró principalmente en los hombres, mientras que las mujeres participaron con mayor frecuencia en labores domésticas o de apoyo (tabla 2), en concordancia con lo descrito por Vega y Castro (1978). En contraste, variables como escolaridad, tenencia y título propiedad, residencia en la parcela, financiamiento, asistencia técnica y viabilidad no mostraron asociaciones significativas ( $P \geq 0,05$ ), estos resultados sugirieron que las características analizadas se distribuyeron de manera relativamente homogénea entre los productores. Lo que coincidió con Dirven (2021), quien sostuvo que las limitaciones del sector rural estuvieron determinadas principalmente por factores estructurales y no diferencias sociodemográficas específicas.

**Tabla 2.** Dimensión social.

Variable	Estadística	Categoría	
Género	Porcentaje	Masculino	81,8
		Femenino	18,2
Edad del propietario	Media	Edad años	57,9
	DE		13,2
Ocupación (*)	Porcentaje	Ama de casa	13,6
		Agricultor	72,7
		Ingeniero	4,6
		Trabajador público	9,1
Escolaridad (ns)	Porcentaje	Primaria	36,4
		Bachillerato	50,0
		Superior	13,6
Tenencia de la tierra (ns)	Porcentaje	Propia	97,7
		Arrendada	2,3
Residencia en la parcela (ns)	Porcentaje	Sí	38,6
		No	61,4
Título de propiedad (ns)	Porcentaje	Sí	77,3
		No	22,7
Financiamiento (ns)	Porcentaje	Entidades privadas	9,1
		Recursos propios	90,9
Asistencia técnica (ns)	Porcentaje	Ingeniero contratado	4,6
		Sin asistencia	95,4
Viabilidad (ns)	Porcentaje	Buena	65,9
		Regular	25,0
		Mala	9,1

Nota. Las variables continuas se presentan como media±desviación estándar y las variables categóricas fueron analizadas mediante la prueba de Chi cuadrado  $X^2$ . Se consideró un nivel de significancia de ( $P \leq 0,05$ , \*) significativo y ( $P \geq 0,05$ , ns) no significativo.

### Dimensión agro-productiva

En la comunidad de estudio, el 52,27% de los productores tenía menos de 1 ha, mientras que el 25% dispuso entre 1,1 y 3 ha, lo que evidencia una marcada variabilidad en el tamaño de las fincas. Este patrón se asoció con procesos de fragmentación derivados de herencias familiares y presión demográfica, factores que han reducido progresivamente la extensión de los predios (Triana et al., 2024). Aun ante esta limitación estructural, Zavaleta et al. (2022) sostuvieron que las unidades productivas pequeñas pueden alcanzar niveles aceptables de eficiencia productiva; no obstante, la escasez de capital y crédito restringieron su capacidad de modernización y adopción tecnológica. En consonancia, Maldonado et al. (2023), subrayaron que la falta de inversión frena la transición hacia prácticas sostenibles e implementación de sistemas de riego más eficientes, reduciendo la competitividad

en el sector. En el contexto, la superficie cultivable  $1,35 \pm 1,56$  ha, reflejando alta heterogeneidad productiva y desigual distribución de recursos.

Los mosaicos de siembra, fueron de 34,1% en frutales; 31,8% de maíz; 15,9% de plátano; 11,4% cacao; 4,5% de hortalizas y 2,3% de yuca. Esa mezcla de cultivos de ciclo corto y perenes generó ciertas ventajas cuando el clima cambió o cuando los precios fluctuaron en el mercado (Rojas y Saavedra, 2022). Aun ante las ventajas de la variedad, el agricultor que se aferró a un solo cultivo, aún cosechó mayores ganancias inmediatas y encontró más fácil el ingreso a los mercados globales (Castillo et al., 2023). Los sistemas mezclados, a la larga, mantuvieron el suelo y la biodiversidad, pero el crecimiento de ese modelo se ahogó ante la escasez de asistencia técnica y de políticas públicas que lo protegieran (Espinosa et al., 2025). Solo el 31,8% de los productores llevó registro de producción, lo que evidenció debilidades en la planificación y gestión financiera. Esta carencia se asoció a la baja alfabetización financiera y el predominio de prácticas empíricas, lo que restringió el acceso a créditos formales (Suescún, 2022). Sin embargo, Pérez et al. (2021) destacaron que en las zonas rurales persistieron formas de seguimiento empírico, útiles dentro de la economía de subsistencia, pero poco efectivas en contextos de competencia comercial.

El promedio de los cultivos anualmente fue de  $4.297 \pm 11.925$  kg·ha<sup>-1</sup>, la cual evidenció alta diversificación en función a la armonía entre el manejo y los insumos agroecológicos. Intriago et al. (2021) atribuyeron estas diferencias a factores edáficos y al manejo agronómico, mientras que Burgos (2021), sostuvo que los usos de prácticas agroecológicas favorecieron una mayor estabilidad en el rendimiento a largo plazo. Maldonado et al. (2024) argumentaron que la rentabilidad no dependió exclusivamente del volumen producido, sino también de los costos de insumos y de la dinámica de los mercados agrícolas, que presentaron volatilidad en precios y demanda.

Con relación al acceso al recurso hídrico, un 77,3% de los productores utilizó riego, un 4,6% utilizaron pozos y un 18,2% no contaron con fuente hídrica estable, lo que demostró la gestión ineficiente del agua disponible, en particular su escasez. A partir de esta fecha se han publicado varias investigaciones donde se señaló avances en el uso óptimo del agua y sistemas integrales; en este sentido, Acero y Lanchipa (2021) destacaron la falta de tecnología y capacitación que limitó su efectividad, además sobreexplotar recursos hídricos conllevó a erosión o degradación del sustrato agrícola. Mientras, Campos y Cuadrado (2023) explicaron que el control asimétrico del agua generó conflictos productivos y limitó la expansión agrícola.

El riego por microaspersión fue el más utilizado 77,3%, seguido del riego por inundación 18,2% y el goteo 4,55 %, reflejando una transición hacia sistemas más eficientes. Ríos y Gil (2021) destacaron que la microaspersión redujo las pérdidas de agua, aunque su eficiencia dependió de la presión y el mantenimiento (Cardona et al., 2021). Aun ante su menor sostenibilidad, el riego por inundación persistió debido a su bajo costo y facilidad de implementación ya que la tecnificación requirió inversiones que pueden ser inaccesibles para pequeños productores (Hernández, 2025). La irrigación tuvo una cobertura promedio de  $0,95 \pm 1,02$  ha que sugirió falta de uniformidad en la distribución.

De acuerdo a Martínez y Salazar (2022) el riego facilitó la estabilización de la producción minimizando la vulnerabilidad climática; no obstante, Ramírez et al. (2021) han señalado que el aumento en la eficiencia del riego dependió de la administración hídrica y tecnificación. Hubo también limitaciones tales como desiguales condiciones de acceso al agua y también escasa inversión disponible. Sin embargo, estas situaciones pueden ser solventadas mediante tecnologías como goteo o el uso de sensores de humedad que optimizaron recursos y mejoraron la rentabilidad (Rojas y Saavedra, 2022).

La prueba de  $X^2$  en la dimensión agro-productiva, mostró una asociación altamente significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre las variables fuente principal de agua y el tipo de riego, evidenciando que el acceso al recurso hídrico determinó el nivel de tecnificación del productor. Asimismo, se identificó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre el tipo de cultivo y la superficie cultivable de la finca, lo que confirmó que las unidades de producción de mayor superficie tendieron a concentrar cultivos comerciales, mientras que las de menos superficie mantuvieron sistemas mixtos o de subsistencia. En contraste, categorías como la superficie cultivable, registro de producción y la superficie bajo riego no mostraron diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ), lo que sugirió una distribución homogénea de estas características productivas, estos resultados coincidieron con los expuestos por Triana et al. (2024), el desarrollo productivo rural dependió de políticas integrales de tecnificación y de capacitación más que de la expansión superficial de las fincas.

**Tabla 3.** Dimensión agro-productiva

Variable	Estadística	Categoría	
Superficie de la finca (ns)	Porcentaje	Menos de 1 ha	52,3
		De 1,1 ha a 3 ha	25,0
		De 3,1 ha a 5 ha	6,8
		Más de 5 ha	15,9
Cultivos (*)	Porcentaje	Frutales	34,1
		Maíz	31,8
		Plátano	15,9
		Cacao	11,4
		Hortalizas	4,5
Superficie cultivable	Media	hectáreas	1,4
Registros de producción (ns)	Porcentaje	Si	31,8
		No	68,2
Producción anual	Media	kg·ha <sup>-1</sup>	4298
		DE	11925
Fuente principal de agua para el riego (**)	Porcentaje	Sistema de riego	77,3
		Pozo	4,6
		Ninguna	18,2
Tipo de riego (ns)	Porcentaje	Microaspersión	77,3
		Goteo	4,6
		Inundación	18,2
Superficie bajo riego	Media	hectáreas	0,95
		DE	1,02

Nota. Las variables continuas se presentan como media±desviación estándar y las variables categóricas fueron analizadas mediante la prueba de chi cuadrado  $X^2$ . Se considero un nivel de significancia de ( $P \leq 0,05$ , \*) significativo y ( $P \geq 0,05$ , ns) no significativo.



### Dimensión técnica operativa

El 95,5% de los productores pagó el riego según la superficie regada, mientras que el 4,50% no realizó ningún pago. Este modelo facilitó el mantenimiento del sistema, aunque puede generar inequidades en el uso de agua (Chile y Ortiz, 2021). Suescún (2022) sugirió que la adopción de tarifas basadas en el consumo real incrementó la equidad y sostenibilidad del riego al incentivar una gestión más racional del recurso. En cuanto al horario de riego, la mayoría, el 95,5%, realizó el riego de 7:00 am a 3:00 pm, mientras que solo el 4,5% lo hizo desde las 7:00 am a 12:00 p.m. Según Ramírez et al. (2021) esta práctica puede reducir la eficiencia de riego por factores como la evapotranspiración.

Respecto a la frecuencia de pago, el 95,5% de los productores paga mensualmente, mientras que el 4,5% lo hace trimestralmente, lo que refleja una tendencia hacia pagos más frecuentes. Según Ramírez et al. (2021), la periodicidad en los pagos es un factor elemental en la sostenibilidad de los sistemas de riego, puesto que contribuye a garantizar el mantenimiento y operación de la infraestructura hidráulica. En este sentido, Chile y Ortiz (2021), manifiestan que la preferencia por pagos mensuales puede estar influenciada por el flujo de ingresos de los agricultores, quienes perciben ingresos de manera periódica según sus ciclos productivos, en cambio, el pago trimestral, aunque menos común, podría representar una ventaja para ciertos productores con ingresos menos constantes o cultivos de ciclo más largo.

En cuanto a la frecuencia de riego, el 75,5% regó dos veces por semana, un 20,50% tres veces por semana y un 4,50% no realizó riego. Esto indicó una rutina de riego relativamente constante entre la mayoría de los productores. Según Chile y Ortiz (2021), la frecuencia de riego fue un factor necesario en la eficiencia del uso del agua, debido a que influyó directamente en el desarrollo de las plantas, la conservación del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

La variabilidad en los costos se reflejó en la desviación estándar de 9,29 usd·ha<sup>-1</sup>, donde el costo promedio del sistema de riego es 9,8 usd ha<sup>-1</sup>. Zavaleta et al. (2022), enfocaron la sostenibilidad de pequeños y medianos productores al proponer equidad tarifaria balanceando el pago y precio operativo del sistema de riego. Jaramillo et al. (2023), advirtieron que el modelo de pago por superficie, predominante en el 95,5% de los casos, puede desincentivar el uso eficiente del agua. Zamora et al. (2021) demostraron que el pago por volumen consumido redujo el desperdicio. Un 95,5% de los productores, realizó este pago a la junta de riego, con el fin de garantizar el buen funcionamiento del sistema, mientras que, un 4,5% no llevó a cabo este pago. Chile y Ortiz (2021), mencionaron que la gestión colectiva del agua

se da en escenarios donde las reglas y la administración fueron claras y transparentes. Jaramillo et al. (2023) han enfocado el problema desde el punto de vista de que una gobernanza sólida y una participación activa por parte del usuario, mejoró dicha eficiencia para la distribución del agua.

La prueba de  $\chi^2$  en la dimensión técnica operativa, evidenció asociaciones significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las variables tipo de pago, frecuencia de pago y a quien se paga la tarifa, confirmando que la estructura financiera y el comportamiento operativo de los productores estuvieron estrechamente vinculados. Por el contrario, el horario de riego no generó diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ), lo que sugirió que la mayoría de los productores siguieron un patrón similar de aplicación de agua independientemente de otros factores (tabla 4). Estos resultados fueron similares a los descrito por Chile y Ortiz (2021) quienes señalaron que la coordinación de pagos y participación colectiva fortalecieron la gobernanza del agua y la eficiencia del sistema, así como la regulación de los pagos y la frecuencia de riego impactan directamente en la sostenibilidad y operación del sistema.

Tabla 4. Dimensión técnica operativa.

Variable	Estadística	Categoría	
Tipo de pago (**)	Porcentaje	Superficie regada	95,5
		No realizan un pago	4,5
Horario de riego (ns)	Porcentaje	7:00 am a 3:00 pm	95,5
		7:00 am a 12:00 pm	4,5
Frecuencia de pago (**)	Porcentaje	Mensual	95,5
		Trimestral	4,5
Frecuencia de riego (**)	Porcentaje	Dos días por semana	75,5
		Tres veces por semana	20,5
		No riegan	4,5
Tarifa del sistema de riego	Media	Usd·ha <sup>-1</sup>	9,8
	DE		9,3
A quién le paga esta tarifa (**)	Porcentaje	Junta de riego	95,5
		No cancelan	4,5

Nota. Las variables continuas se presentan como media ± desviación estándar y las variables categóricas fueron analizadas mediante la prueba de chi cuadrado  $\chi^2$ . Se consideró un nivel de significancia de ( $P \leq 0,05$ , \*) significativo y ( $P \geq 0,05$ , ns) no significativo.

### Dimensión ambiental

El 79,5% de los productores desconoce el caudal autorizado de 35 l s<sup>-1</sup>, lo que limitó una gestión eficiente del recurso. De acuerdo a ello, Cárdenas et al. (2021), resaltaron que el acceso a esta información favoreció la gobernanza en sistemas de riego

parcelario. Chile y Ortiz (2021) indicaron que su aplicación optimizó el uso del agua, mientras que Jaramillo et al. (2023), advirtieron sobre posibles sanciones por incumplimiento y capacitar a la comunidad para mejorar el conocimiento y la sostenibilidad del riego. El 84,1% de los productores realizó análisis de calidad del agua, práctica clave para prevenir salinización y deterioro del suelo Castillo et al. (2023). Jaramillo (2024) señaló que la implementación de este control favoreció la sostenibilidad y la certificación ambiental del sistema de riego, por lo que se recomendó fortalecer la formación técnica del personal para optimizar el monitoreo hídrico. Respecto al conocimiento de la fuente de agua el 81,8% desconoció el origen de la fuente hídrica que abastece el sistema de riego, limitando la planificación y conservación del recurso. Chile y Ortiz (2021) señalaron que identificar la fuente mejoró la gestión y participación, reduciendo conflictos y vulnerabilidad ante el cambio climático.

La prueba de  $\chi^2$  en la dimensión ambiental, evidenció asociación significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre las variables caudal autorizado y análisis de calidad del agua, lo que demostró que los productores con mayor conocimiento sobre el caudal autorizados tendieron a adoptar practicas más técnicas y sostenibles en la gestión del recurso. En contraste, no se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre nombre de la fuente hídrica y las demás variables (tabla 5), lo que sugirió un manejo homogéneo e informal del agua en la mayoría de los casos, estos resultados concordaron con los expuestos por Cárdenas et al. (2021), quienes señalaron que la sostenibilidad hídrica no dependió únicamente del volumen disponible, sino del grado de organización y control comunitario sobre su uso.

**Tabla 5.** Dimensión ambiental.

	Estadística	Categoría	
Caudal autorizado para riego (**)	Porcentaje	Desconocen el caudal autorizado	79,5
		Conocen el caudal autorizado	20,5
Análisis de calidad del agua (**)	Porcentaje	Si	84,1
		No	15,9
Nombre de la fuente hídrica (ns)	Porcentaje	Desconocen la fuente hídrica	81,8
		Conocen la fuente hídrica	18,2

Nota. Las variables continuas se presentaron como media±desviación estándar y las variables categóricas fueron analizadas mediante la prueba de Chi cuadrado  $\chi^2$ . Se consideró un nivel de significancia de ( $P \leq 0,05$ , \*) significativo y ( $P \geq 0,05$ , ns) no significativo.

### Conclusión

Se identificaron diversas características entre los usuarios del sistema que reflejan tanto aspectos sociales, productivos, técnicos y ambientales. La predominancia masculina en la gestión de parcelas y la edad avanzada de los productores indican

la necesidad de renovación generacional y apoyo para el cambio cultural en la agricultura. Las limitaciones en educación y acceso a financiamiento resaltan barreras que deben superarse para así promover la adopción de prácticas agrícolas más avanzadas y eficientes.

El considerable número de pequeñas granjas, junto con la diversidad de cultivos, sugiere una estructura que está diversificada y, en ciertos casos, subóptima en términos de producción. La prevalencia de la irrigación localizada en comparación con métodos más tradicionales muestra algunos avances hacia una mayor eficiencia en el uso del agua; sin embargo, el acceso limitado a recursos y apoyo técnico sigue planteando desafíos. El sistema de pago basado en pagos por área para la irrigación en bloques combinado con intervalos preestablecidos entre irrigaciones indica un orden razonable en las operaciones, al mismo tiempo que destaca las lagunas en cuanto a financiación y ayuda técnica. En conjunto, tal información proporciona una descripción integral de las condiciones actuales dentro del sistema de irrigación, así como también señala dónde son necesarias acciones y mejoras para una mejor gestión de los sistemas agrícolas.

### Conflicto de intereses

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

### Referencias bibliográficas

- Acero, C. y Lanchipa, E. (2021). Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna. *Ingeniería Investiga*, 3(1), 519-533. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.478>
- Arce, R. (2018). La agricultura como motor de desarrollo en América Latina: Retos y propuestas. *INCAE Business School*, 1-13. <https://cnnespanol.cnn.com/wp-content/uploads/2018/11/incae-informe-agricultura-siglo-xxi.pdf>
- Arcos, S. (2016). *Muestra. Ecuador: Herder*.
- Burgos, B. (2021). El conocimiento tradicional y la etnobotánica en la gestión de la agricultura familiar. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 431-438.
- Campos, E. y Cuadrado, G. (2023). Valoración económica del agua de acuerdo con el uso. *Tierra Infinita*, 9(1), 136-161. <https://doi.org/10.32645/26028131.1248>
- Cárdenas, J., Erazo, J., Narváez, C. y Andrade, G. (2021). Plan estratégico institucional para de la junta de riego y drenaje "Manuel J. Calle." *CIENCIAMATRIA*, 7(12), 838-869. <https://doi.org/10.35381/cm.v7i12.451>
- Cardona, D., Patiño, L. y Ormaza, A. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1-21. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1899](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899)



- Castillo, M., Morejón, M., Suárez, G. y Acuña, I. (2023). Diversificación de cultivos en un sistema agroforestal cacaoero en el macizo del jamal, municipio Baracoa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 11(1), 2-21.
- Chile, B., y Ortiz, R. (2021). Dinámica de la distribución del agua en el sistema de riego Tumbaco en Ecuador. *Siembra*, 8(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.3074>
- Cortés, A. (2023). *Como es la agricultura en el Ecuador: Agricultura en Ecuador: tradición, innovación y sostenibilidad*. AgriculturaWiki. <http://agriculturawiki.com/como-es-la-agricultura-en-el-ecuador-agricultura-en-ecuador-tradicion-innovacion-y-sostenibilidad/>
- Dirven, M. (2021). Algunas reflexiones sobre los jóvenes y tipos de territorios rurales. *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 19, 8-20. <https://doi.org/10.17141/eutopia.19.2021.4975>
- Espinosa, M., Loayza, C., Romero, D. y González, D. (2025). Inteligencia artificial en la educación agrícola: un análisis de los modelos de aprendizaje personalizado. *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*, 3(1), 431-447. <https://doi.org/10.62131/MLAJ-V3-N1-021>
- Estatuto de La Junta de Riego y Drenaje “Las Palmas” (2021).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Life-cycle cost analysis of irrigation assets*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8df53458-da95-4e2a-aa2e-d5402e8f9ae1/content>
- Guerrero, E., Chiliquinga, E., Velasco, L. y Pimbo, A. (2023). La educación en el sector rural en tiempos de pandemia por la Covid-19. *Revista Científica UISRAEL*, 10(2), 143-154. <https://doi.org/10.35290/rcui.v10n2.2023.757>
- Guillén, S., Urdaneta, F., y Portillo, E. (2023). Tipificación socioproductiva de los agroecosistemas de producción de cacao de Manabí, Ecuador. *Agroalimentaria Journal-Revista Agroalimentaria*, 29(56), 65-85. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.338856>
- Hernández, A. (2025). Emprendimiento rural en Sinaloa, México: Desafíos, oportunidades y su impacto en el desarrollo económico y social. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 22(22), 10-21. <https://doi.org/10.22463/24221783.4675>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). Encuesta de superficie y producción continua. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-superficie-produccion-agropecuaria-continua-2021/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *Visor de información meteorológica*. <https://inamhi.gob.ec/info/visor%0A%0A>
- Intriago, M., Bravo, N., y Bravo, D. (2021). Una aproximación preliminar a la gestión de los recursos financieros de las pequeñas y medianas empresas del sector agrícola. *Cofin Habana*, 15(1).
- Jaramillo, D., Panchana, W., Cumbicos, A. y Escudero, N. (2023). Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 10(2), 50-63. <https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.740>
- López, H. (1998). La metodología de encuesta. *Técnicas de Investigación en Sociedad, Cultura y Comunicación*. pp. 33-73. [https://biblioteca.marco.edu.mx/files/metodologia\\_encuestas.pdf](https://biblioteca.marco.edu.mx/files/metodologia_encuestas.pdf)
- Maldonado, C., Caballero, T. y Castro, J. (2023). Desarrollo y tecnificación del campo: Un análisis al proyecto de Reforma Agraria en el sur del departamento del Atlántico (Colombia), entre 1960 y 1970. *HiSTOReLo. Revista de Historia Regional y Local*, 16(35), 204-242. <https://doi.org/10.15446/historelo.v16n35.106376>
- Martínez, O. y Salazar, J. (2022). Desafíos presentes en el México rural: problemas y posibilidades. *Espacio Abierto*, 31(3), 87-105. <https://www.redalyc.org/journal/122/12272203005/html/>
- Mendoza, J., García, K., Salazar, R. y Vivanco, I. (2019). La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones. *Espacios*, 40, 1-11.
- Mera, Y. (2014). *Posibilidades de implementación de un sistema de indicadores para la gestión de sequías en la demarcación hidrográfica de Manabí, Ecuador* [Tesis de Máster, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/59791>
- Montero, Y., Corrales, R. y Gallardo, J. (2024). Generación de emprendimientos socioproductivos en la parroquia rural Mulaló. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 8(52), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol8iss52.2024pp22-53>
- Pérez, D., Bolaños, F., y Da Silva, A. (2021). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: Revisión de estudios. *Ciencia y Tecnología*

- Agropecuaria*, 23(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:2298](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2298)
- Prefectura de Manabí. (2022). *En Maconta Abajo celebramos con abundante agua para riego los 487 años de Fundación de Portoviejo*. PREFECTURA DE MANABI. <https://www.manabi.gob.ec/index.php/en-maconta-abajo-celebramos-con-abundante-agua-para-riego-los-487-anos-de-fundacion-de-portoviejo/>
- Prefectura de Manabí. (2025). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Manabí 2023-2028*. <https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/PDOT-MANABI-2023-2027.pdf>
- Ramírez, A., Ibarra, C. y Leos, J. (2021). Evaluación de la administración de la infraestructura de riego por parte de Asociaciones de Usuarios de Módulos de Riego: El caso de Culiacán 010, módulos I-3 y IV-3, 2011-2017. *Acta Universitaria*, 31, 2807.
- Ríos, S. y Gil, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnología*, 24(51). <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rojas, F. y Saavedra, K. (2022). Diversificación de cultivos y su impacto económico en las fincas ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Ruiz, V. (2014). *Identificación de saberes alimentarios ancestrales y sus aportes nutricionales para los problemas de malnutrición infantil en la comunidad de Maconta Abajo de Portoviejo Manabí* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7919>
- Sailema, E., Siza, A., Guamán, A., Acosta, J., Vásquez, D. y Tello, F. (2022). Uso de residuos orgánicos de hojas de mora para la producción de biol en la sierra ecuatoriana. *Polo del Conocimiento*, 7(5), 1439-1467. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4038>
- Soares, J. y Aguiar, J. (2025). Desafios na adoção de tecnologias sociais na agricultura familiar: percepção dos sujeitos no semiárido paraibano. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 23(6). <https://doi.org/10.55905/oelv23n6-183>
- Stroud, L., Green, E. and Cronje, J. (2020). A revision process that bridges qualitative and quantitative assessment. *Psychology*, 11(03), 436-444. <https://doi.org/10.4236/psych.2020.113029>
- Suescún, A. (2022). Financiarización, agricultura y dependencia alimentaria: el caso Colombia. *Ola Financiera*, 15(43), 75. <https://doi.org/10.22201/fe.18701442e.2022.43.83498>
- Tito-Velarde, C. (2021). Un estudio exploratorio del rol de las mujeres en la agricultura familiar en Bolivia. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 19, 79-120. <https://doi.org/10.35319/lajed.20210461>
- Tomalá, W. y Manyá, M. (2023). Apalancamiento financiero para el sector agrícola de la provincia de Santa Elena, año 2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 5467-5485. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rm.v7i3.6564](https://doi.org/10.37811/cl_rm.v7i3.6564)
- Triana, J., Valle, S., Rodríguez, M. y Brisola, M. (2024). Influencias de la migración juvenil rural en el municipio de Granada (Meta), Colombia. *Universitas Humanística*, 93, 1-19. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.uh93.imjr>
- Vega, G. y Castro, L. (1978). Índice de empoderamiento femenino en la agricultura. *Revista Cuestiones Económicas*, 33(2), 67-124. <https://doi.org/10.47550/RCE/33.2.3>
- Zamora, S., Espinoza, X., San Andrés, P., y Moreno, A. (2021). Sistemas de innovación agrícola: una mirada a la situación del sector agrícola ecuatoriano. *Revista Científica Ecociencia*, 8, 237-254. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.80.647>
- Zavaleta, Y., Ocampo, J., Palacios, M. y Aguilar, J. (2022). Pequeños productores y consumidores urbanos: el caso de los Mercados de Productores de la Ciudad de México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59). <https://doi.org/10.2307/40184061>

### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**Yaser Galarza Alava:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Cristian Valdivieso López:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Saskia Guillen Mendoza:** conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Lenin Vera Montenegro:** análisis formal, redacción-borrador original. **Leonardo Vera Macías:** redacción-revisión y edición.





## Efecto sobre el desarrollo agronómico del plátano Dominico Hartón sometido a condiciones de sequía e inundación

### Effects on the agronomic development of the Dominico Hartón plantain under drought and flood conditions

#### Autores

<sup>1</sup>María José Loor Quijije  
✉ maria.loorq@espam.edu.ec



<sup>1</sup>Leridy Mercedes Sabando Loor  
✉ leridy.sabando@espam.edu.ec



<sup>2\*</sup>Cristian Sergio Valdivieso López  
✉ cristian.valdivieso@espam.edu.ec



<sup>3</sup>Myrian Elizabeth Herrera Centeno  
✉ myrian.herrera@iniap.gob.ec



<sup>3</sup>Javier Alejandro Manguashca Guzmán  
✉ javier.manguashca@iniap.gob.ec



<sup>3</sup>José Luis Rivadeneira García  
✉ jose.rivadeneira@iniap.gob.ec



<sup>4</sup>Carlos Alberto Molina Hidrovo  
✉ carlos.molina@iniap.gob.ec



<sup>4</sup>Jim Raphael Ochoa Ramos  
✉ jim.ochoa@iniap.gob.ec



<sup>1</sup>Estudiante de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), Calceta, Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), Calceta, Manabí, Ecuador.

<sup>3</sup>Investigador Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.

**Citación sugerida:** Loor Quijije, M. J., Sabando Loor, L. M., Valdivieso López, C. S., Herrera Centeno, M. E., Manguashca Guzmán, J. A., Rivadeneira García, J. L., Molina Hidrovo, C. A., Ochoa Ramos, J. R. (2025). Efecto sobre el desarrollo agronómico del plátano Dominico Hartón sometido a condiciones de sequía e inundación. *La Técnica*, 15(2), 134-145. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7567>.

Recibido: Febrero 26, 2025

Aceptado: Octubre 10, 2025

Publicado: Noviembre 01, 2025

#### Resumen

La investigación evaluó el comportamiento durante el desarrollo del cultivar Dominico Hartón (*Musa* spp.) de 14 semanas de edad, bajo escenarios simulados de estrés hídrico por sequía e inundación. El trabajo se desarrolló en la Ciudad de la Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA) de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), ubicada en la parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí. Se implementaron tres tipos de tratamientos: T1: testigo sin estrés hídrico, T2: condiciones de sequía, T3: condiciones de inundación. Entre los resultados obtenidos, la biomasa seca de la raíz ( $p < 0.001$ ), donde el tratamiento sometido a condiciones de inundación (T3) incrementó en un 42% en comparación al manejo sin estrés hídrico (T1). Para la variable de biomasa seca del pseudotallo ( $p < 0.001$ ) ocurrió algo similar, donde T3 alcanzó un 102% mayor biomasa seca en el pseudotallo con relación a T1. Para la variable de biomasa seca de la hoja ( $p < 0.001$ ), el T1 y T3 tuvieron valores similares ( $\approx 28$  g), pero con relación al tratamiento sometido a sequía (T2), este presentó una biomasa de 59% menor a la media de los otros tratamientos. Estos hallazgos destacan que las diferentes condiciones de sequía e inundación afecta de manera significativa el crecimiento y desarrollo de las plántulas de plátano.

**Palabras clave:** desarrollo agrícola, gestión de recursos hídricos, riego tecnificado, desarrollo rural, sostenibilidad ambiental.

#### Abstract

The study evaluated the developmental behavior of the 14-week-old Dominico Harton cultivar (*Musa* spp.) under simulated drought and flooding water scenarios. The work was carried out at the facilities of the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL) in the area of the Ciudad de la Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA), located in Calceta, Bolívar canton, Manabí province. Three types of treatments were implemented: T1: control without water stress, T2: drought conditions, T3 flooding conditions. Among the results obtained, the dry root biomass ( $p < 0.001$ ), where the treatment subjected to flooding conditions (T3) increased this variable by 42% compared to the management without water stress (T1). For the pseudostem dry biomass variable ( $p < 0.001$ ) something similar occurred, where T3 reached 102% greater dry biomass in the pseudostem in relation to (T1). For the variable of dry leaf biomass ( $p < 0.001$ ), T1 and T3 had similar values, but in relation to the treatment subjected to drought (T2), they presented a biomass 59% lower than the average of the other treatments. These findings highlight that the different conditions of drought and flooding significantly affect the growth and development of banana seedlings.

**Keywords:** agricultural development, water resource management, technified irrigation, rural development, environmental sustainability.



## Introducción

A nivel mundial, el plátano es uno de los productos más importantes y consumidos, además de haber sido de los primeros en globalizarse y posicionarse en el mercado internacional, estableciendo a este cultivo como alimento básico en la dieta diaria de millones de personas (Álvarez et al., 2020). La plataforma Observatorio de Complejidad Económica (OEC, 2024) mencionó que, en el año 2022, el plátano fue el producto número tricentésimo quinto en el mundo, con un total en ventas de \$13,5 MM, donde el comercio de este cultivo representa el 0,05% a nivel mundial.

En Ecuador, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2024) el rendimiento histórico de plátano en el periodo (2019-2023) registró una media de 6,50 t ha<sup>-1</sup>; en el año 2023 registró una superficie de siembra de 152.654 ha con fines de exportación y alcanzó una producción de 840.599 t, dando como resultado un rendimiento medio de 5,5 t·ha<sup>-1</sup> lo que permitió ventas al exterior por un total de USD 3.855 millones sobre este rubro. También, resalta con una participación en el mercado mundial con un 28% en exportaciones por encima de Guatemala, Colombia y Estados Unidos, sobresaliendo como el primer exportador de plátano a nivel mundial con un valor de USD 680 millones, considerando notoriamente la importancia económica de este cultivo. Entre las provincias que destacan por su producción (t) está: Manabí (307.447), Guayas (135.828), Santo Domingo de los Tsáchilas (124.415), Los Ríos (104.798), Napo (30.470) y Esmeraldas (25.504) (Encuestas de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC), 2023).

En la provincia de Manabí durante el año 2023, se registró una superficie de 60.000 ha sembradas de plátano, con una producción de 307.446 t, lo cual alcanzó un rendimiento medio de 6,26 t·ha<sup>-1</sup>, abarcando un mercado nacional del 68% y un mercado internacional del 32% en lo que respecta a este cultivo (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023). De los cantones de Manabí, destacan El Carmen, Chone, Portoviejo, Flavio Alfaro y Tosagua con el 87, 3, 3, 2 y 1% respectivamente de la participación provincial (Silvia et al., 2021).

Manabí presenta un clima beneficioso para el cultivo de plátano, el cual se caracteriza por ser húmedo y cálido: la estación invernal está comprendida entre los meses diciembre-mayo siendo una época de calor y presencia de precipitación debido a la influencia de la corriente cálida de “El Niño”, la estación de verano va de los meses de junio a diciembre y es menos calurosa y con ausencia de precipitación por estar influenciada por la corriente fría de Humboldt (Piloso et al., 2020). Ante lo mencionado, también es importante señalar que Manabí ha sido afectada tanto por sequías como por inundaciones, Mendoza et al. (2019) señalaron que en

el año 2010 la provincia experimentó un prolongado período de sequía y Cedeño et al. (2020) manifestaron que el estrés hídrico fue el factor abiótico más limitante en las musáceas debido a la creciente variabilidad de las precipitaciones y la competencia por los recursos hídricos que limitan tanto a la producción comercial como a la de subsistencia.

El cambio climático es un fenómeno ambiental provocado por los gases de efecto invernadero (Díaz, 2012) y representa una amenaza al sector agrícola debido al incremento de las temperaturas, alteración de la adaptabilidad de los cultivos, aumento del requerimiento hídrico debido a la mayor tasa de evapotranspiración y, a su vez también pone en riesgo las fuentes hídricas del planeta, pues al elevarse las temperaturas, se evapora con mayor rapidez el agua (León y León, 2023). Tanto las sequías como las inundaciones ponen en riesgo la soberanía alimentaria. Se estima que para el año 2050 la producción mundial de alimentos tendrá que aumentar en un 60% para cubrir el incremento en la demanda, lo que obliga a la búsqueda de estrategias, tecnologías y herramientas de adaptabilidad y mitigación al cambio climático (Sánchez et al., 2020). Considerando que el clima presenta una alta variabilidad espacio temporal, misma que se ha intensificado con los efectos del cambio climático (Valdivieso et al., 2021), se prevé que las sequías e inundaciones se intensifiquen a lo largo del globo terráqueo, lo que supone un riesgo en los sistemas de producción de alimentos a nivel mundial (Nelson et al., 2009).

Campos y Mendoza (2018) mencionaron que las sequías e inundaciones han afectado históricamente a la provincia de Manabí y según las proyecciones de Rivadeneira (2014), se espera que la temperatura aumente y las precipitaciones registren anomalías, procesos que serán acentuados por el cambio climático, también hace una proyección sobre la gestión de los niveles del embalse “La Esperanza” de la subcuenca del río Carrizal, donde la demanda teórica presentada no es favorable para escenarios a futuro, indicando que si la demanda hídrica se mantiene, el sector agrícola sería el más afectado. Según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2021) se considera que para el año 2025 la sequía se encontrará en los rangos de vulnerabilidades moderados a altos.

Enmarcados en la importancia del cultivo de plátano para la provincia de Manabí y Ecuador, así como los desafíos climáticos a los que se enfrenta la sostenibilidad de la agricultura, se ha propuesto el estudio de la respuesta del cultivo de plátano Dominic Hartón sometido a condiciones de estrés hídrico: inundación y sequía, su influencia sobre las variables biomasa, índice de área foliar, contenido relativo de agua y tasa de emisión foliar. Por lo tanto, ofrecen una visión integral del estado fisiológico de la planta bajo condiciones de estrés hídrico. Un estudio realizado por Teoh et al. (2022) registró la respuesta al

estrés hídrico en *Musa acuminata* cv. Berangan durante etapas iniciales del desarrollo, específicamente en un periodo controlado de 24 días de estrés, ahora bien, para las condiciones de sequía se han generado estudios en cultivos *in vitro* para su mejoramiento genético (Salazar et al., 2014a; Salazar et al., 2014b; Moreno et al., 2017); no obstante, no hay evidencias que señalen el tiempo exacto que una planta de plátano (*Musa* spp.) pueda sobrevivir sin agua sin antes morir. Además, las investigaciones señalan que el estrés por sequía afecta fisiológicamente a la planta (Nansamba et al., 2022).

### Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Ciudad de la Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario (CIIDEA) de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), el ensayo se ubicó (figura 1) entre las coordenadas 0°49'47,6" S y 80°10'52,9" O, a una altitud de 15 msnm.

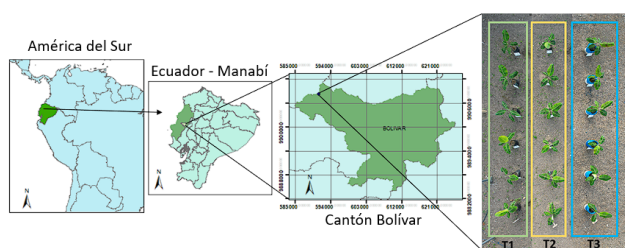


Figura 1. Ubicación, área de CIIDEA en la ESPAM-MFL.

Para el desarrollo de la investigación se consideraron dos escenarios de estrés hídrico por: inundación y sequía, en comparación con un escenario ideal para el cultivo, las variables analizadas fueron biomasa, índice de área foliar, contenido relativo de agua y tasa de emisión foliar en 18 individuos de plátano *Dominico Hartón* (*Musa* spp.) de 14 semanas de edad, el período de evaluación estuvo comprendido entre el 21 de junio y 02 de agosto de 2024 con un total de 43 días evaluados (figura 2), los individuos que se emplearon provinieron de vitroplantas para asegurar su homogeneidad y material vegetal.

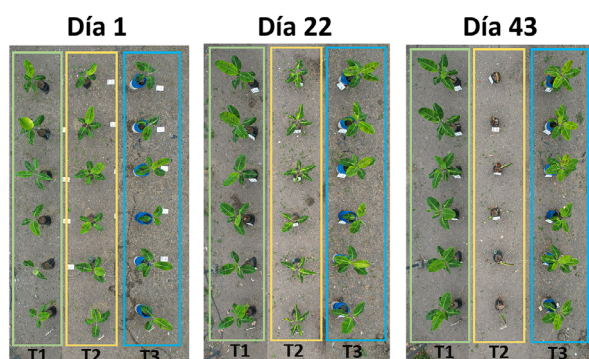


Figura 2. Estado visual de las plantas de plátano *Dominico Hartón* los días 1, 22 y 43.

Las condiciones climáticas (tabla 1) de los meses donde se desarrolló el experimento mostraron las siguientes características:

Tabla 1. Datos de condiciones climáticas serie histórica 2012-2022 de junio a agosto.

Meses	Precipitación mm	Heliofania h	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento m·s <sup>-1</sup>
Junio	28	73,68	30,26	21,80	83,90	0,49
Julio	10	70,94	29,61	21,11	83,50	0,54
Agosto	1	100,38	30,36	20,66	81,54	0,61

Fuente: Estación Meteorológica ESPAM MFL.

### Experimento de campo

Las vitroplantas utilizadas fueron colocadas en bolsas plásticas negras con un tamaño de 14 x 16 pulgadas, se eligió un suelo característico del área de estudio, el cual se tamizó para retirar los terrones, implementando una porción de hojarasca rica en materia orgánica y arena de la ribera del río Carrizal en una relación ‘50-25-25’: esto supone que el sustrato a utilizar contenía, 50% suelo normal del área de estudio, 25% de hojarasca y 25% de arena de la ribera del río, apto para las necesidades del plátano puesto que permite la libre expansión de las raíces, favoreciendo el intercambio gaseoso, humedad y el aprovechamiento de nutrientes dejando un suelo adecuado para un buen desarrollo del cultivo.

Previo al inicio del ensayo, las plántulas estuvieron sometidas a un periodo de aclimatación de cuatro semanas para homogenización de los individuos (figura 3), periodo en el cual se aplicó riego y fertilizante con base al análisis de suelo (tabla 2). Culminada esta etapa, cada tratamiento fue sometido a las características particulares del diseño a efectos de simular las condiciones de estrés hídrico, tanto por sequía como por inundación. Para garantizar las condiciones de inundación se emplearon baldes plásticos redondos con un diámetro en la base inferior de 30 cm y una altura de 40 cm, recubiertos por dentro con una funda plástica para garantizar que el agua no drenara. De la misma manera para el tratamiento que estuvo en condiciones de sequía, se implementó el uso de una cubierta plástica, que se colocaba cuando existía presencia de lluvias y cuando la actividad fotosintética era menor (6:30 pm a 5:30 am), para ser retirada todas las mañanas antes de iniciar la actividad fotosintética de las plántulas (figura 4).

Eventos claves	Adaptación del cultivo 20 de Mayo hasta el 20 de Junio			Inicio del ensayo 21 de junio			Culminación del ensayo 2 de agosto			Peso de biomasa fresca de las plantas 5 de agosto		Peso de biomasa seca de las plantas 15 de agosto	
	MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO			
Edad de las plántulas	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21
Riego													
Fertilización													
T1 Control													
T2 Déficit hídrico													
T3 Inundación controlada													
Biomasa fresca y seca													

Figura 3. Línea de tiempo del ensayo.



**Tabla 2.** Análisis químico del suelo.

pH	Materia orgánica (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (meq·100 mL <sup>-1</sup> )	Calcio (meq·100 mL <sup>-1</sup> )	Magnesio (meq·100 mL <sup>-1</sup> )
6,9	-	42	0,87	13	4,1



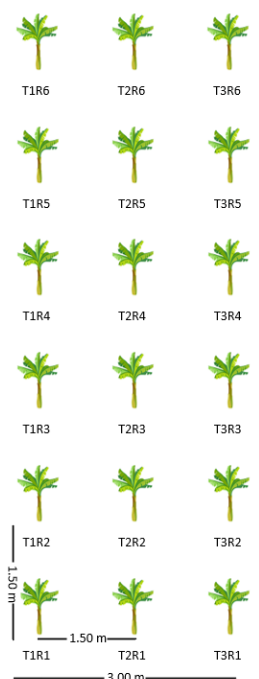
**Figura 4.** A la izquierda plántulas con estrés por deficiencia de agua cubiertas con plástico y a la derecha plántulas en tachos siempre inundadas.

### Diseño experimental

El ensayo contó con un diseño experimental completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y seis repeticiones, con un total de 18 unidades experimentales. Cada unidad experimental estaba conformada por una planta (figura 5; tabla 3). Los tratamientos fueron: (T1) tratamiento testigo, consistió en un manejo sin déficit hídrico (condiciones ideales de riego), donde se mantuvo el contenido de agua en el suelo entre capacidad de campo y el nivel de agua permisible (33 a 60 cbar). (T2) tratamiento de estrés hídrico por sequía, donde no se aplicó agua a lo largo de todo el ensayo. (T3) tratamiento de estrés hídrico por inundación, donde se mantuvo bajo condiciones de inundación entre 8 a 10 cm sobre el nivel del suelo.

**Tabla 3.** Tratamientos empleados en la investigación.

Descripción	Codificación
Testigo	T1
Estrés por deficiencia	T2
Estrés por inundación	T3



**Figura 5.** Diseño del experimento.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza ANOVA  $\alpha = 0,05$  y Tukey al 5% para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos y, finalmente se realizó la correlación entre las variables de estudio utilizando el software InfoStat versión estudiantil 2020.

### Variables analizadas

#### Biomasa

El cálculo de la biomasa fue realizado por separado para la raíz, tallo y hojas de cada una de las unidades experimentales una vez que el ensayo de campo finalizó, se utilizó una balanza de precisión para determinar la biomasa y una estufa de flujo forzado (marca Memmert, modelo UF110 Schwabach-Alemania) (Arias et al., 2014) para el secado de las muestras.

**Biomasa de raíz (g).** Para la obtención de esta variable fue necesario separar las raíces del cormo para poder pesar las raíces en fresco y determinar la biomasa fresca, posteriormente las muestras fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 105 °C durante 48 horas o hasta que la biomasa fue constante, obteniendo así la biomasa seca.

**Biomasa del pseudotallo y hojas (g).** Una vez separados el pseudotallo del cormo y las hojas del pseudotallo, el procedimiento de obtención de la biomasa fresca y seca fue similar al de la raíz, a diferencia de que para el pseudotallo se utilizó la estufa por 72 horas y para las hojas durante 48 horas, ambos a 105 °C hasta que la biomasa de la muestra no varío.

### Índice de área foliar

Para esta variable, se escogió una muestra representativa de hoja de cada tratamiento con un área de 10 x 10 cm<sup>2</sup> se pesaron en una balanza de precisión. Posteriormente se llevó a estufa a 75 °C durante 24 horas hasta que la biomasa fue constante y se procedió a relacionar el área foliar conocida con la biomasa seca obtenida a través de la biomasa en gramos de las hojas (Martínez et al., 2024).

### Contenido relativo de agua

Contenido relativo de agua en la raíz: para obtener esta variable se implementó la siguiente fórmula propuesta por Villalobos et al. (1990):

$$CRAR = (Bf - Bs) / (Bt - Bs) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Bf = es la biomasa fresca de la raíz

Bs = es la biomasa seca de la raíz

Bt = es la biomasa túrgida de la raíz

Siendo la biomasa túrgida La biomasa fresca de la raíz del T3, debido a que este tratamiento estuvo siempre bajo condiciones de inundación, por lo que sirvió de estándar para sacar la diferencia con los otros tratamientos.

Contenido de agua en el pseudotallo y hojas: el cálculo de esta variable se realizó utilizando los valores obtenidos de la biomasa seca y fresca de las muestras, aplicando respectivamente la fórmula indicada.

### Ritmo de emisión de hojas

Para la obtención de esta variable se observó y contabilizó el apareamiento de cada nueva hoja bandera a lo largo del ensayo, permitiendo así cuantificar la velocidad con la que la planta produce nuevas hojas, e interpretar el estado fisiológico del cultivo (Carr, 2009; Douglas, 2018).

## Resultados y discusión

### Evolución de las variables

Se presenta el análisis de varianza de los tratamientos para las variables fisiológicas evaluadas (tablas 4, 5, 6 y 7) y se observa que los promedios mostraron significancia estadística para todos los casos, el detalle de cada variable se presenta a continuación.

### Biomasa

Los análisis de varianza de la biomasa mostraron diferencias significativas entre tratamientos para cada segmento analizado de las plántulas (tabla 4).

**Tabla 4.** Determinación de biomasa en plántulas de plátano Dominico Hartón de 14 semanas de edad sometidas a estrés hídrico.

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Biomasa fresca de la raíz (g)	107,58 B	26,52 C	207,58 A
Biomasa seca de la raíz (g)	18,16 B	7,28 C	25,91 A
Biomasa fresca del pseudotallo (g)	542,42 B	167,42 C	769,70 A
Biomasa seca del pseudotallo (g)	45,20 B	17,39 C	85,48 A
Biomasa fresca de la hoja (g)	200,76 A	31,82 B	184,85 A
Biomasa seca de la hoja (g)	27,50 A	11,37 B	29,76 A
Biomasa fresca total (g)	850,76	225,76	1162,13
Biomasa seca total (g)	90,86	36,04	141,15
Contenido de agua (g)	759,9	189,72	1020,98

### Biomasa de la raíz

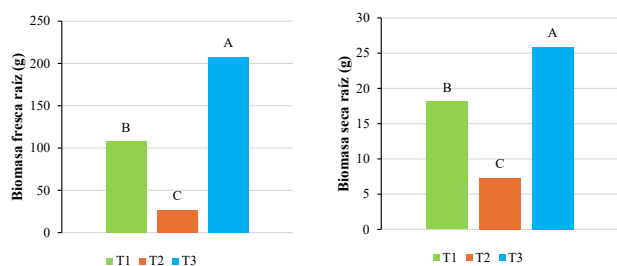
El cálculo de la biomasa fresca de la raíz (figura 6), permitió identificar que en T3 con biomasa de 207,58 g, presentó un incremento del 92,9% respecto a T1 con biomasa de 107,58 g, sugiriendo que la inundación controlada a la que estuvieron sometidas las plántulas durante los 43 días de tratamiento favorecieron significativamente la acumulación de biomasa en la raíz. Mientras que, para el caso de T2 con biomasa de 26,52 g, el estrés hídrico por sequía significó una reducción del 75,3% de la biomasa fresca en comparación con T1, señalando que el déficit hídrico limitó drásticamente el desarrollo de la biomasa fresca en la raíz. Estos resultados concordaron con los obtenidos por Teoh et al. (2022) quienes describieron que la inundación indujo respuestas fisiológicas como la formación de aerénquima y la actividad de enzimas antioxidantes en las raíces de las plantas de plátano, propiciando su aumento, ya que estas estructuras facilitaron la oxigenación de los tejidos bajo condiciones de hipoxia (ausencia de oxígeno en los tejidos), lo que contribuyó a una mayor tolerancia al exceso de agua.

Sin embargo, de acuerdo con Gamboa (2024) el exceso de agua en el suelo puede resultar en la saturación de los espacios porosos, lo que puede limitar el suministro de oxígeno a las raíces y, según Domingues et al. (2024) un proceso de inundación prolongada puede generar condiciones anaeróbicas que alteraron la respiración radical y favorecieron el desarrollo de patógenos del suelo, ninguno de los dos enunciados pudo ser validado al cabo de los 43 días de evaluación de la inundación.

Con respecto a la biomasa seca (figura 6), el efecto del estrés hídrico por inundación aplicado en T3 con una biomasa resultante de 25,91 g, mostró un incremento del 43,50% respecto de T1 de biomasa de 18,06 g, que, si bien fue menor al porcentaje alcanzado en biomasa fresca, también señaló un incremento de la biomasa seca, apuntando a que la inundación controlada durante el periodo evaluado, benefició el crecimiento total en biomasa de las raíces. Consecuentemente con lo ocurrido en la biomasa fresca, el estrés por deficiencia en T2 de biomasa 7,28 g en comparación con T1, presentó una reducción del 59,90%, lo cual



coincidió con lo indicado por Nansamba et al. (2022) quienes señalaron que la falta de agua provocó una disminución en el desarrollo de las raíces, lo que conllevó a que la planta redujera el consumo de recursos ante condiciones ambientales extremas. La reducción de la biomasa seca en T2 también sugirió que, en condiciones de escasez de agua, las plántulas priorizaron la conservación de agua en lugar de la producción de biomasa.



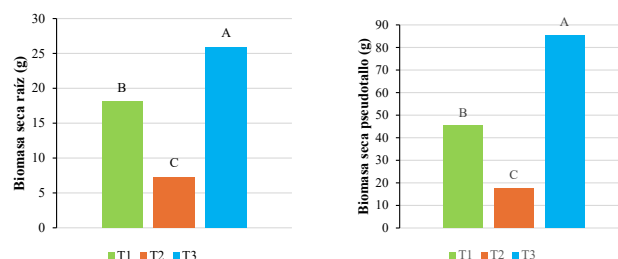
**Figura 6.** Contenido de biomasa fresca y biomasa seca de la raíz en plátano Dominico Hartón bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

**Biomasa del pseudotallo**

Los análisis de biomasa fresca y seca del pseudotallo (figura 7), evidenciaron que fue uno de los órganos con mayores porcentajes de acumulación de biomasa en la plántula (tabla 4), la respuesta de este órgano al estrés hídrico por inundación respecto de la biomasa fresca, mostraron que T3 con biomasa de 769,70 g, tuvo un incremento del 41,9% de biomasa con relación a T1 de biomasa de 542,42 g, con menor porcentaje de acumulación con relación a la proporción de las raíces, y que, en T2 de biomasa de 167,52 g, decreció en un 69,1% en comparación a T1, también en proporción menor a la obtenida en las raíces. Estos resultados fueron concordantes con los encontrados con Teoh et al. (2022) para el periodo evaluado.

Por su parte, en la biomasa seca en T3 con 85,48 g de biomasa, proyectó un incremento del 89,1% respecto a T1 de 45,20 g (figura 7). Mientras que T2 de biomasa de 17,39 g, reflejó una merma del 61,5% en comparación a T1, los valores acumulados de biomasa seca fueron ampliamente menores a los obtenidos en la biomasa fresca, señalando el alto contenido de agua acumulada en el pseudotallo. Los resultados también indicaron que las plántulas bajo déficit hídrico presentaron una menor acumulación de biomasa seca en comparación con los tratamientos testigo e inundado. Este fenómeno podría reflejar

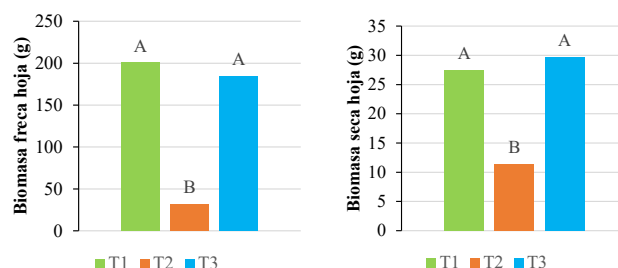
una adaptación fisiológica al estrés, donde las plantas redujeron la acumulación de agua en sus tejidos para minimizar la pérdida por transpiración y sobrevivir en condiciones de sequía (Ravi, et al., 2013; Cedeño, 2020). La diferencia significativa observada entre los tratamientos subrayó la importancia de manejar adecuadamente la cantidad de agua disponible para el cultivo de plátano.



**Figura 7.** Contenido de biomasa fresca y biomasa seca del pseudotallo de plátano Dominico Hartón bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

**Biomasa de la hoja**

Se evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ; figura 8), donde T3 (184,85 g) equivalió al 92% respecto a T1 (200,76 g) lo que indicó una reducción del 8% en comparación con T1. Por otro lado, T2 (31,82 g) representó el 15,85% con relación a T1 (200,76 g) lo que representó una reducción del 84,15% en la biomasa a causa del déficit hídrico de la planta en lo que respecta a la biomasa fresca. En cuanto a la biomasa seca de las hojas en cada plántula, T3 (29,76 g) mostró un incremento del 8,21% respecto a T1 (27,50 g), por su parte T2 (11,37) en comparación a T1 (27,50 g), presentó una reducción del 58,66%, lo que indicó que las condiciones de estrés, afectaron negativamente a la acumulación de biomasa en las hojas planta de plátano.



**Figura 8.** Contenido de biomasa fresca y biomasa seca en la hoja de plátano dominico hartón bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

Estudios realizados por Cedeño et al. (2022) han mostrado que el estrés hídrico limitó la expansión celular y la acumulación de biomasa en diferentes cultivos. En este sentido, el déficit hídrico afectó tanto el tamaño de las raíces como la producción de biomasa aérea, lo que finalmente redujo la productividad del cultivo, donde claramente T2 al estar sometido en una situación de estrés por falta de agua, presentó una menor cantidad de biomasa tanto fresca como seca en comparación a los otros tratamientos.

Se presenta el análisis de aporte en biomasa de los diferentes componentes de la planta (tabla 5), de manera porcentual, permitiendo establecer las prioridades de desarrollo de la planta para las diferentes condiciones de estrés hídrico; se observa aquí que en T2 se incrementa el desarrollo de la biomasa en las raíces y hojas respecto de condiciones normales y de inundación, mientras que, en condiciones de estrés por inundación el incremento de la biomasa se presenta en el pseudotallo.

**Tabla 5.** Análisis de la relación porcentual en biomasa de los diferentes órganos.

Tratamiento	Biomasa fresca			Biomasa seca			Contenido de agua		
	Raíz	Pseudotallo	Hoja	Raíz	Pseudotallo	Hoja	Raíz	Pseudotallo	Hoja
T1	12,65%	63,76%	23,60%	19,99%	49,75%	30,27%	11,77%	65,43%	22,80%
T2	11,75%	74,16%	14,09%	20,20%	48,25%	31,55%	10,14%	79,08%	10,78%
T3	17,86%	66,23%	15,91%	18,36%	60,56%	21,08%	17,79%	67,02%	15,19%

Considerando los segmentos de retención de agua, el pseudotallo fue el órgano que más agua almacenó; sin embargo, fue en T2 donde la retención de agua fue mayor en contraposición con las hojas y raíces. Debido que el tratamiento se encontraba en un estado de sequía extrema la evapotranspiración disminuyó por el cierre estomático reduciendo la transpiración, lo cual fue una estrategia para conservar agua, lo que afectó el desarrollo del cultivo, generando que el pseudotallo actuara como reservorio importante de agua, ayudando a mantener la turgencia celular (Delgado et al., 2013). Respecto de las condiciones de inundación la mayor retención de agua se presentó en las raíces con relación a T1.

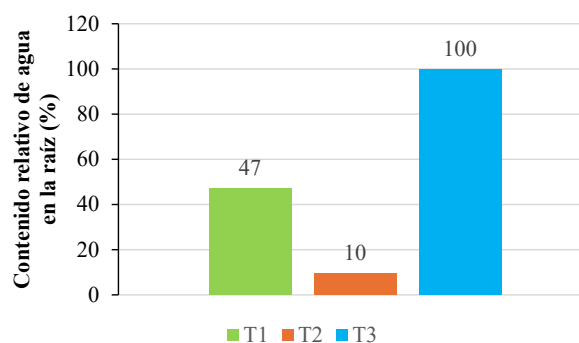
Así también, se observó que en condiciones normales de desarrollo T1, aproximadamente la mitad del porcentaje de biomasa generada en la planta se acumuló en el pseudotallo y presentó una distribución 20-30% de biomasa en raíz-hojas, respectivamente. Proporciones que en condiciones de estrés hídrico por deficiencia fueron relativamente similares; sin embargo, para los casos de estrés por inundación la acumulación de biomasa se concentró en el pseudotallo con un 60% aproximadamente, restando este valor incrementado a la biomasa de las hojas.

El análisis de porcentaje de biomasa fresca presente en las hojas mostró que el estrés hídrico por inundación y sequía pueden llevar a que las hojas presentaran menor concentración que en condiciones normales, esto debido a que a medida que la planta luchó por mantener su equilibrio hídrico, puede que no asignó

suficientes recursos para hacer crecer hojas más grandes. Las hojas más pequeñas pueden limitar aún más la capacidad de la planta para fotosintetizar de manera efectiva, creando un ciclo de estrés y reducción del crecimiento. De acuerdo con Surender et al. (2013) el estrés hídrico condujo a una disminución de la actividad fotosintética lo que disminuyó la capacidad de la planta para producir alimento, afectando el crecimiento de las hojas y la salud general de la planta.

**Contenido relativo de agua**

Respecto al contenido relativo de agua en la raíz para los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ; figura 9; tabla 6) del cultivo de plátano dominico hartón, se muestra que la raíz del T3 posee el mayor porcentaje de contenido de agua con un valor de 100% al haber estado sometido permanentemente a estrés por inundación, seguido del T1 con un 47%, mientras que el menor porcentaje lo registró el T2 con un 10%, siendo el que siempre se mantuvo bajo condiciones de sequía. Según los valores reportados la diferencia de un manejo bajo inundación frente a un manejo bajo condiciones de sequía, disminuye un 90% el contenido relativo de agua en la raíz, a su vez de los efectos que conlleva un bajo contenido de agua en el suelo, del T3 se puede demostrar que la raíz contiene el mayor porcentaje de agua, en comparación al T2 con menores porcentajes, demostrando significancia entre tratamiento con déficit de agua e inundaciones a lo largo del tiempo en cada tratamiento.



**Figura 9.** Contenido relativo de agua en la raíz en plátano dominico hartón bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

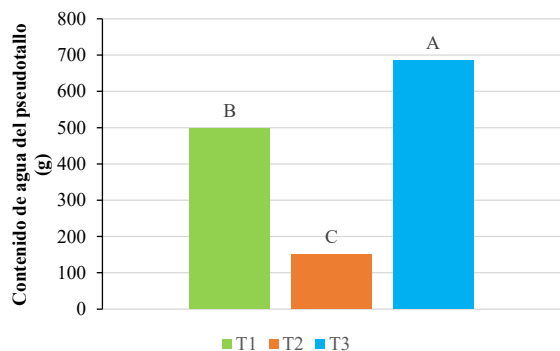
**Tabla 6.** Contenido relativo de agua.

Variables	Tratamientos		
	T1	T2	T3
Contenido relativo de agua en la raíz (%)	47	10	100
Contenido de agua en el pseudotallo (g)	497,22 B	150,03 C	684,22 A
Contenido de agua (mL) por cada (cm²) de las hojas	0,189 A	0,141 B	0,184 A

El contenido de agua del pseudotallo mostró que el T3 con biomasa de 684,22 g, tuvo un incremento del 37,68% respecto a T1 que presentó 497,22 g, lo que sugirió que las condiciones de inundación incrementaron el contenido de agua en el pseudotallo respecto a las condiciones normales, por su parte T2 con 150,03



g representó el 30,17% de T1, con una disminución del 69,83% (figura 10).



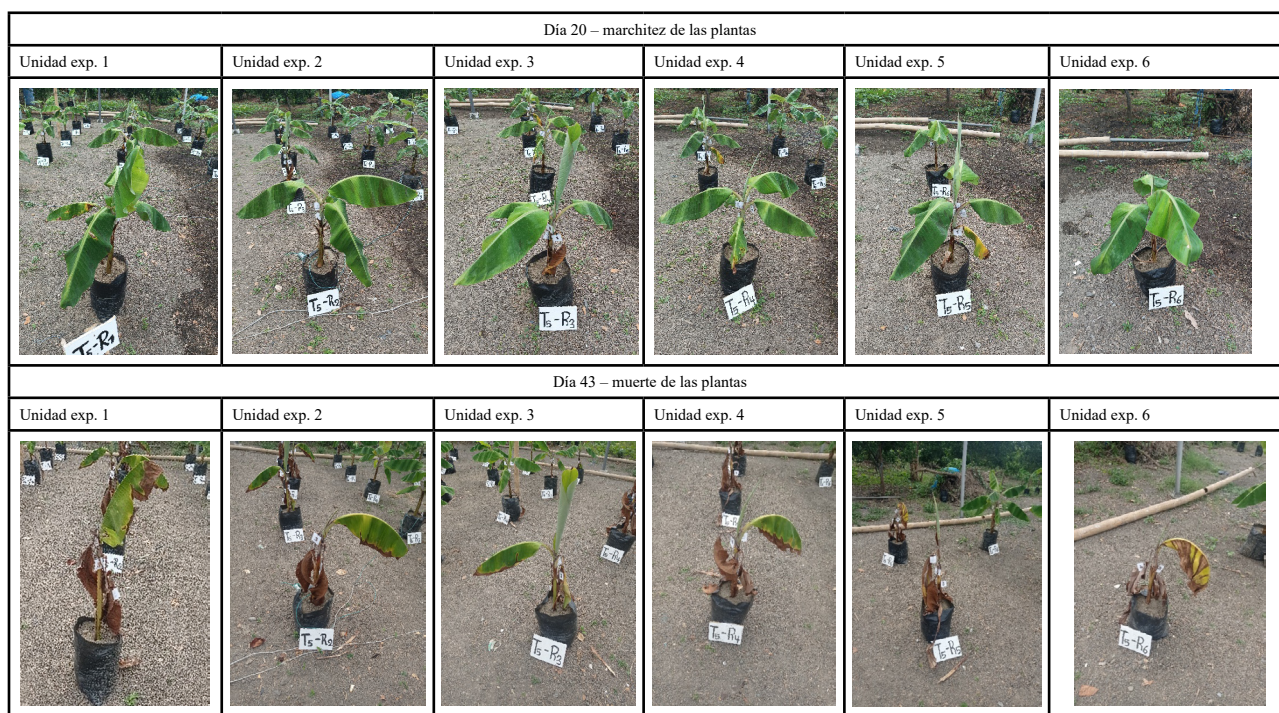
**Figura 10.** Contenido de agua del pseudotallo en plátano Dominico Hartón bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

**Índice de área foliar**

El índice de área foliar es una variable fundamental para estudiar el desarrollo y crecimiento de los cultivos pues permite cuantificar el crecimiento y rendimiento agronómico del cultivo, considerando su relación con la intercepción de la radiación solar,

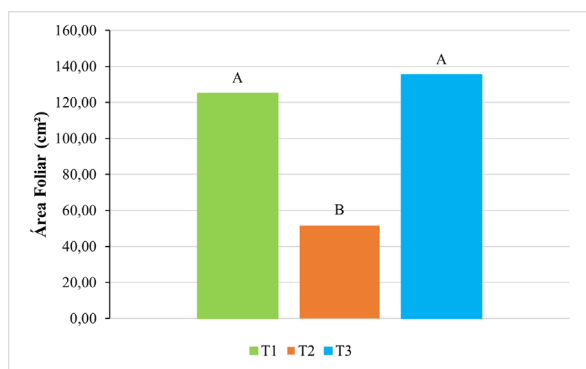
asociada con la fotosíntesis y con los procesos transpirativos vinculados con la acumulación de biomasa y la productividad (Mendoza et al., 2017).

Se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ; figura 11 y 12; tabla 7) entre los tratamientos, donde el T3 (135,26 cm<sup>2</sup>) presentó un aumento del 8,20% en comparación al T1 (125,00 cm<sup>2</sup>), mientras que T2 (51,70 cm<sup>2</sup>) equivalió al 41,36% con relación al T1, presentando una reducción del 58,64%, lo que reflejó las condiciones de cada tratamiento. Lo cual coincidió con estudios realizados por Gamboa (2024), en su trabajo de balances hídricos demostrando que el déficit de agua redujo el crecimiento vegetal debido a la restricción de procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. Se especuló que la limitación de agua en el tratamiento T2 afectó el balance hídrico de las plántulas, provocando una reducción en la turgencia celular y la consecuente disminución en el crecimiento de las raíces y hojas, lo que fue consistente con los efectos que describió Muñiz (2023) en su trabajo con plátanos con el método de micro cormos. Bashir et al. (2021), destacó que la sequía redujo la fotosíntesis al disminuir la concentración de dióxido de carbono y al cierre de estomas, lo que explicaría por qué el área foliar del T2 fue menor, presentándose el día 20 la marchitez y la muerte de las plantas para el día 43 (figura 12), esto último lo destacó Nansamba (2020), al mencionar que la marchitez fue uno de los síntomas que presentaron las hojas a la sequía.



**Figura 12.** Marchitez y muerte de los individuos del tratamiento 2.

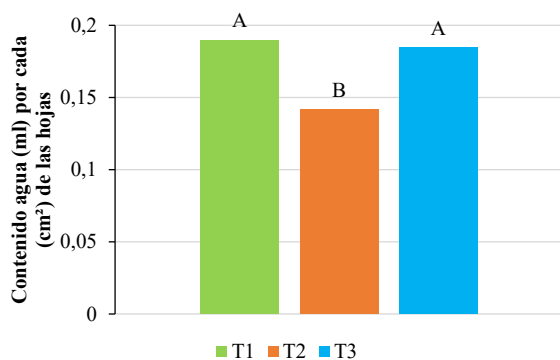
Se observó que el T3 (figura 13) alcanzó una acumulación de 0,1846 mL·cm<sup>-2</sup>, lo cual representó el 97,23% de T1 (0,1899 mL·cm<sup>-2</sup>), lo que indicó que ambos tratamientos se asociaron con el contenido de agua (mL) presente en cada (cm<sup>2</sup>) de las hojas, por su parte T2 (0,1414 mL·cm<sup>-2</sup>) equivalió al 74,53% de T1 lo que implicó una reducción del 25,47% con T1, resaltando como el estrés hídrico afectó al contenido de agua (mL) presente por cada (cm<sup>2</sup>). La comparación de los resultados obtenidos mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ; figura 10) entre los diferentes tratamientos.



**Figura 11.** Área foliar cm<sup>2</sup> del plátano *Dominico Hartón* bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

**Tabla 7.** Índice de área foliar.

Variables	Tratamientos		
	T1	T2	T3
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	125,00 A	51,70 B	135,26 A
Contenido de agua (mL) por cada (cm <sup>2</sup> ) de las hojas	0,189 A	0,141 B	0,184 A



**Figura 13.** Contenido de agua por cada cm<sup>2</sup> de las hojas de plátano *Dominico Hartón* bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

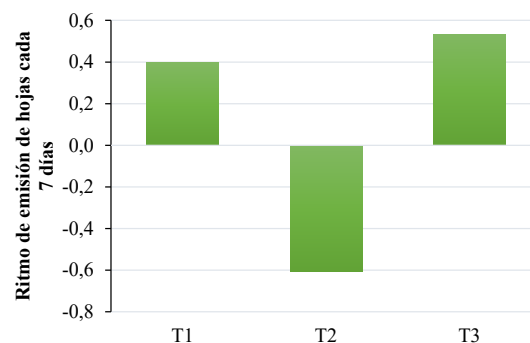
**Ritmo de emisión foliar**

Los resultados obtenidos sobre el ritmo de emisión de hojas mostraron que T2 redujo significativamente (-0,6) la emisión de

nuevas hojas, lo cual concordó con lo reportado por Belalcázar (1991), mencionando que, las condiciones de sequía pueden influir en la salida de las hojas del pseudotallo y en casos extremos, la muerte del ápice vegetativo. Por otro lado, T3 (0,5) evidenció una emisión foliar ligeramente superior a T1 (0,4), lo que se debió a las condiciones de estrés a las que se sometieron las plántulas de cada tratamiento, donde el sistema foliar al ser la fuente primaria de fotoasimilados variaron considerablemente de tamaño y funcionalidad de la planta, generalmente una plántula en condiciones normales T1 emitió con una frecuencia de una hoja·semana<sup>-1</sup> en época de lluvias y entre 0,4 y 0,6 hoja·semana<sup>-1</sup> en condiciones de sequía (Martínez y Cayón, 2011), información que se verificó en este ensayo, consecuentemente (tabla 8; figura 14), los tratamientos sometidos a estrés hídrico, principalmente T2, mostraron fuertes alteraciones en este parámetro, disminuyendo fuertemente la emisión de nuevas hojas. El T1 y T3 emitieron la primera hoja a los 11 días, la segunda hoja a los 27 días y el T3 su tercera hoja a los 39 días acelerando la emisión foliar frente al T1 (figura 15). De esta manera T2 en condiciones de sequía no emite hojas nuevas y a partir del día 20 se marchitaron (figura 12).

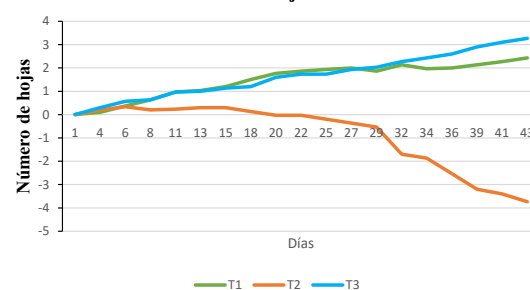
**Tabla 8.** Ritmo de emisión foliar.

Variables	Tratamientos		
	T1	T2	T3
Ritmo de emisión de hojas cada 7 días	0,4	-0,6	0,5



**Figura 14.** Ritmo de emisión de hojas cada 7 días en plátano *Dominico Hartón* bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.

**Ritmo de emisión de hojas durante 43 días.**



**Figura 15.** Ritmo de emisión de hojas en plátano *dominico hartón* bajo condiciones normales (T1), déficit hídrico (T2) e inundación controlada (T3) durante 43 días.



## Conclusiones

El ensayo permite entender los efectos en condiciones de inundación y sequía sobre el cultivo de plátano dominico hartón de 14 semanas de edad en 43 días de evaluación, respecto de su desarrollo y crecimiento analizado mediante biomasa, índice de área foliar y ritmo de emisión de hojas.

La respuesta física del plátano al estrés por sequía demostró una reducción en el crecimiento y desarrollo de la planta, con una marcada disminución en la generación de biomasa seca en un 60% respecto de una planta sana, una disminución en el índice de área foliar de 85% respecto de condiciones normales y la suspensión de la emisión de hojas banderas a partir del 20 día sin riego, adicionalmente se observa que en condiciones de sequía las plantas priorizan la conservación de agua en el pseudotallo por sobre las hojas y, que conservan la proporción en biomasa de las estructuras hasta su marchitez total.

Respecto de las plantas de plátano sometidas a estrés por inundación, se evidenció un incremento en la biomasa seca del 155% respecto de una planta en condiciones normales, concentrando la generación de la biomasa principalmente en las raíces inundadas y en segundo lugar en el pseudotallo, donde la acumulación del contenido de agua es la prioridad para la planta, en los 43 días de evaluación la planta no presenta señales de marchitez ni decaimiento en el desarrollo, mostrando indicadores superiores a los de una planta en condiciones normales para el índice de área foliar y, un 0,1 por encima para la emisión de hojas banderas.

Si bien el ensayo cuenta únicamente con 18 individuos y 43 días de evaluación, las tendencias encontradas para el estadio fenológico analizado, fueron claras, y permiten señalar que bajo condiciones de estrés por sequía el cultivo presenta condiciones avanzadas de marchitez y un escaso nivel de desarrollo agronómico, mientras que, para las condiciones de inundación las variables analizadas superan a las condiciones normales de desarrollo.

De lo analizado, se desprende también la necesidad de que los periodos de evaluación por inundación sean más extensos y permitan observar los efectos finales del estrés sobre otras etapas vegetativas de desarrollo, así como las afectaciones a la producción y rendimiento del cultivo de dominio hartón.

## Conflicto de intereses

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

## Referencias bibliográficas

Arias, J., Riaño, N. y Aristizábal, M. (2014). Dinámica de la acumulación de materia seca en dos especies de

sombrio usadas en cafetales de Colombia. *Revista Cenicafe*, 65(2), 7-17. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/544/1/arc065%2802%297-17.pdf>

Álvarez, E., León, S., Sánchez, M. y Cusme, B. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Revista de Estudios Empresariales*, 4(2), 86-97. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>

Bashir, S., Hussain, A., Hussain, S., Wani, O., Nabi, S., Dar, N., Baloch, F. y Mansoor, S. (2021). Plant drought stress tolerance: understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1912-1925. <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.2020161>

Belalcázar, S. (1991). El cultivo del plátano en el trópico. *Manual de Asistencia Técnica N° 50*. Instituto Colombiano Agropecuario ICA (Colombia). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12434>

Campos, A. y Mendoza, J. (2018). Tendencias del cambio climático en la demarcación hidrográfica de Manabí. *Revista Riemat*, 3(1). <https://doi.org/10.33936/riemat.v3i1.1414>

Castaño, A., Aristizábal, M. y González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano Dominico Hartón (*Musa AAB SIMMONDS*) en la región Santagüeda (Palestina, Caldas). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 15(2), 331-338. <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/22918f24-7d25-4734-bd13-996bba8199da/content>

Carr, M. K. V. (2009). The water relations and irrigation requirements of banana (*Musa spp.*). *Experimental Agriculture*, 45, 333-371. <https://doi.org/10.1017/S001447970900787X>

Cedeño, G., Guzmán, A., Zambrano, H., Vera, L., Valdivieso, C. y López, G. (2020). Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 483-492. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000400483&script=sci\\_artt\\_ext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000400483&script=sci_artt_ext)

Cedeño, J., García, J., Solorzano, C., Jiménez, L., Ulloa, S., López, F., Avellán, L., Bracho, B., y Sánchez, A. (2022). Fertilización con magnesio en plátano 'barraganete' (*Musa AAB*) Ecuador. La Granja: *Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8-19. <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.01>

- Delgado, E., Mosquera, G., y Paz, I., (2013). Relación entre cobertura, perímetro del tallo de plátano y actividad microbiana del suelo en Timbío, Cauca. *Suelos Ecuatoriales*, 43(1), 46-52. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831488>
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- Domingues, J., Passos da Conceição, M., Rozane, D., Modenese-Gorla da Silva, S., Gomes, E. y Baldinotti, H. (2024). Recuperación de plántulas de banano del estrés por inundaciones con residuos de pseudotallos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias*, 15(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3581>
- Douglas, M. (2018). Instructivo para la evaluación de incidencia y severidad de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). [https://ditisa.net/files/5ffdc14f1f74\\_Anexo%204.2-1\\_Instructivo%20para%20la%20evaluaci%F3n%20de%20Incidencia%20y%20Severidad%20de%20la%20Sigatoka%20negra.pdf](https://ditisa.net/files/5ffdc14f1f74_Anexo%204.2-1_Instructivo%20para%20la%20evaluaci%F3n%20de%20Incidencia%20y%20Severidad%20de%20la%20Sigatoka%20negra.pdf)
- Encuestas de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC). (2023). Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2023. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Gamboa, A. (2024). Balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) en el Ecuador. [Examen de carácter Complexivo previo a la obtención del título de ingeniero agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo]. Rep.-UTB. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16134/E-UTB-FACIAG-AGRON-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). <https://app.powerbi.com/w?r=eyJrIjoiZTEyY2NiZDIYjIzYi00ZGQ1LTlkNGEtNDE1OGVjM2Q1N2VlIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWVhZWMtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTEyMiJ9&pageName=ReportSection>
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). (1996). INIBAP (International Network for the Improvement of Banana and Plantain), CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). Descriptors for Banana (*Musa Spp.*). International Plant Genetic Resources Institute. <https://cgspace.cgiar.org/items/f41c1660-ebb9-47fa-89a4-171b434d3b95>
- León, J. E. y León, J. E. (2023). *Evapotranspiración de cultivos y lisimetría*. Primera Edición. ESPOCH. [http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n\\_de\\_los\\_cultivos.pdf](http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf)
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2021). Plan Nacimiento de Sequía. Juntos Construyendo Resiliencia 2021-2025. Primera Edición. Volumen 1. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/01/PLAN-NACIONAL-DE-SEQUIA.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2024). Boletín situacional de plátano 2023. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/situacionales-agricolas/situacional-platano-2020>
- Martínez, A. y Cayón, D. (2011). Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa AAA* Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 64(2), 6055-6064. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179922664003.pdf>
- Martínez, A., Cayón, D. y Darghan, E. (2024). Estimación de la diferenciación meristemática en banano (*Musa AAA*) a partir del cálculo del área foliar. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.62498/ARTC.2417>
- Mendoza, J., García, K., Salazar, R. y Vivanco, I. (2019). La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones. *Revista Espacios*, 40(16), 10. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n16/a19v40n16p10.pdf>
- Mendoza, C., Ramírez, C., Ojeda W. y Flores, H. (2017). Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 37-50. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Moreno, L., Reyes, M., Rodríguez, M., Kosky, R., Roque, B. y Chong-Pérez, B. (2017). Respuesta de cultivares de *Musa* spp. al estrés hídrico *in vitro* inducido con polietilenglicol 6000. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 19(2), 75-85. <https://www.redalyc.org/journal/776/77654661008/html/>
- Muñiz, G. (2023). Respuesta de la producción de plantas plátano (*Musa* spp.) por el método de micro cormos con la aplicación de tres bioestimulantes. [Tesis de ingeniería Agropecuaria, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Rep.-UNESUM. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5290/1/Mu%C3%B1iz%20Guti%C3%A9rrez%20Gedesis%20Cheley.pdf>
- Nansamba, M., Sibiyi, J., Tumuhimbise, R., Karamura, D., Kubiriba, J. y Karamura, E. (2020). Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: A review. *Plant Breeding*, 139, 85-696. <https://doi.org/10.1111/pbr.12812>
- Nansamba, M., Sibiyi, J., Tumuhimbise, R., Karamura, D., Ssekandi, J., Tinzaara, W. y Karamura, E. (2022). Response of banana (*Musa* spp.) to drought stress based



- on phenotypic and physiological traits. *Journal of Crop Improvement*, 37(6), 751-775. <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2148313>
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte, R., Ewing, M. y Lee, D. (2009). Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. <https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/16527.pdf>
- Observatorio de Complejidad Económica (OEC). (2024). Plátanos frescos o secos. <https://oec.world/es/profile/hs/bananas>
- Piloso, K., Pinargote, E. y Montesdeoca, R. (2020). Gestión del conocimiento, capital intelectual e innovación de la producción del chifle de plátano (*Musa AAB.*). *Revista Científica de Ciencia y Tecnología El Higo*, 10(2), 35-48. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10552>
- Ravi, I., Uma, S., Vaganan, M. y Mustaffa, M. (2013). Phenotyping bananas for drought resistance. *Frontiers in Physiology*, 4(9). <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00009>
- Rivadeneira, J. (2014). Evaluación del efecto del cambio climático bajo escenarios de emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador. [Tesis de posgrado]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/58552>
- Salazar, E., Trujillo, I., Castro, L., Vallejo, E., y Torrealba, M. (2014a). Radiaciones ionizantes para inducción de mutaciones en *Musa AAA* para la tolerancia a sequía. *Agronomía Tropical*, 64(3-4), 185-200. <https://ve.scielo.org/pdf/at/v64n3-4/art06.pdf>
- Salazar, E., Trujillo, I., y Pérez, M. (2014b). Respuesta fisiológica al estrés hídrico de plantas de banano cv. 'Pineo gigante' (*Musa AAA*) regeneradas a partir de yemas irradiadas. *Biotecnología Vegetal*, 14(3), 155-162. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/72/448>
- Sánchez, B., Flores, S., Rodríguez, E., Anaya, A. y Contreras, E. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(Supl. 2), 126-145. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242020000500010&script=sciarttext#B15>
- Silvia, P., Sablón, N. y Bravo, M. (2021). Estudio de la cadena agroalimentaria del plátano en la provincia de Manabí. *ECA Sinergia*, 12(3), 155-174. <https://www.redalyc.org/journal/5885/588569107012/html/>
- Surendar, K. K., Devi, D. D., Ravi, I., Kumar, S. R. y Velayudham, K. (2013). Water stress in Banana- A Review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*, 2(6), 01-18. [http://www.beppls.com/may\\_2013/1.pdf](http://www.beppls.com/may_2013/1.pdf)
- Teoh, E.Y., Teo, C.H., Baharum, N.A., Pua, T.-L. y Tan, B.C. (2022). Waterlogging stress induces antioxidant defense responses, aerenchyma formation and alters metabolisms of Banana plants. *Plants*, 11(15), 2052. <https://doi.org/10.3390/plants11152052>
- Valdivieso, C., Cedeño, G. y Guanaluiza, A. (2021). Análisis estadístico de los datos climáticos históricos de la ESPAM MFL. <https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2021/11/Analisis-Estadistico-de-los-datos-climaticos-historicos-de-la-SPAM-MFL.pdf>
- Villalobos, E., Umaña, C., y Sterling, F. (1990). Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 14(1), 73-78. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v14n01\\_073.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v14n01_073.pdf)

#### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**Loor Quijije María José:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Leridy Mercedes Sabando Loor:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Cristian Sergio Valdivieso López:** supervisión, conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Myrian Elizabeth Herrera Centeno:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Javier Alejandro Manguashca Guzmán:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **José Luis Rivadeneira García:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Carlos Alberto Molina Hidrovo:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Jim Raphael Ochoa Ramos:** metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.



## Morfometría de órganos digestivos en gallinas criollas (*Gallus domesticus*)

### Morphometry of digestive organs in creole hens (*Gallus domesticus*)

#### Autores

<sup>1</sup>\***María Teresa Cedeño Loor**

✉ mariat.cedeno@espam.edu.ec



<sup>1</sup>**Paula Leonela Macías Moreira**

✉ paula.macias@espam.edu.ec



<sup>2</sup>**Vicente Alejandro Intriago Muñoz**

✉ vicente.intriago@espam.edu.ec



<sup>1</sup>Estudiantes de la Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), Calceta, Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup>Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), Calceta, Manabí, Ecuador.

**Citación sugerida:** Cedeño Loor, M. T., Macías Moreira, P. L., Intriago Muñoz, V. A. (2025). Morfometría de órganos digestivos en gallinas criollas (*Gallus domesticus*). *La Técnica*, 15(2), 146-154. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7863>

Recibido: Julio 08, 2025

Aceptado: Diciembre 18, 2025

Publicado: Diciembre 23, 2025

#### Resumen

El objetivo de la investigación fue analizar las características morfológicas de órganos digestivos en gallinas criollas (*Gallus domesticus*), según las variaciones relacionadas con la edad y el sistema de crianza. El estudio se llevó a cabo en el cantón de Tosagua, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Se trabajó con 20 gallinas criollas, divididas en dos grupos de acuerdo con su edad: seis meses y un año, y criadas bajo dos tipos de sistemas de crianza: pastoreo y semi pastoreo (con cuatro grupos de cinco aves cada uno). Las aves fueron sacrificadas siguiendo una metodología estándar que incluyó un periodo de ayuno de 12 horas y procedimientos de necropsia uniformes para asegurar que las mediciones fueran comparables. Las variables analizadas incluyeron el peso absoluto, el peso relativo, la longitud y el diámetro de órganos digestivos: esófago, proventrículo, molleja, hígado, páncreas, intestino delgado e intestino grueso. Los datos fueron organizados y analizados mediante el programa estadístico InfoStat, representados por promedios y desviaciones estándar para describir la variabilidad entre grupos. Los resultados indicaron que la edad tuvo impacto significativo en gran parte de las variables morfológicas, observándose longitudes y diámetros mayores en el esófago, proventrículo, molleja, hígado, páncreas e intestino grueso en las aves de un año. El intestino delgado mostró un mayor peso relativo en las aves de seis meses, mientras que las diferencias debido al sistema de crianza fueron menos evidentes. Estos resultados sugieren que la edad es el factor más influyente en el desarrollo morfológico de los órganos digestivos en gallinas criollas.

**Palabras clave:** gallinas, morfometría, órganos, crianza, edad.

#### Abstract

The objective of this research was to analyze the morphometric characteristics of digestive organs in native hens (*Gallus domesticus*), considering variations related to age and rearing system. The study was conducted in the canton of Tosagua, located in the province of Manabí, Ecuador. Twenty Creole chickens were used, divided into two groups according to age: six months and one year, and raised under two types of rearing systems: pasture and semi-intensive rearing system (with four groups of five birds each). The birds were euthanized following a standardized methodology that included a 12-hour fasting period and uniform necropsy procedures to ensure comparability of measurements. The variables analyzed included absolute weight, relative weight, length, and diameter of digestive organs: esophagus, proventriculus, gizzard, liver, pancreas, small intestine, and large intestine. The data were organized and analyzed using the statistical software InfoStat, and averages and standard deviations were used to describe the variability between groups. The results indicated that age had a significant impact on most of the morphometric variables, with greater lengths and diameters observed in the esophagus, proventriculus, gizzard, liver, pancreas, and large intestine in one-year-old birds. The small intestine showed a greater relative weight in six-month-old birds, while differences due to the rearing system were less evident. These results suggest that age is the most influential factor in the morphometric development of digestive organs in Creole chickens.

**Keywords:** hens, morphometry, organs, rearing, age.



## Introducción

La producción de alimentos constituye uno de los principales desafíos a escala global y, en América Latina, los agricultores se distinguen por su capacidad de adaptación frente a contextos económicos, sociales, ambientales y culturales adversos (Hortúa y Cerón, 2021). En este escenario, la avicultura de traspatio se ha consolidado en las zonas rurales como una actividad estratégica, sustentada en la cría de gallinas criollas capaces de desarrollarse bajo condiciones limitantes y con insumos de bajo costo. Este sistema no solo contribuye a la seguridad alimentaria mediante el suministro de proteína de alto valor biológico, sino que también representa una fuente complementaria de ingresos para las familias rurales (Toalombo et al., 2024).

Las gallinas criollas están expuestas a una marcada heterogeneidad genética y ambiental, lo que puede traducirse en diferencias importantes en el desarrollo anatómico y funcional de sus órganos, particularmente del sistema digestivo, con posibles implicaciones sobre la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes (Oñate et al., 2020). En Ecuador, se estima la crianza anual de aproximadamente seis millones de gallinas criollas, distribuidas principalmente en la región Costa (49,89%), seguida de la Sierra (40,75%) y la Amazonía (9,33%) (Bailón, 2022). No obstante, pese a su importancia productiva y sociocultural, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ha señalado la limitada disponibilidad de estudios que aborden la morfología de los órganos digestivos de estas aves (FAO, 2013).

Las aves criollas se caracterizan por una amplia variabilidad fenotípica, resultado de procesos históricos de domesticación, cruzamientos no controlados y adaptación a distintos entornos productivos. Esta diversidad se manifiesta en rasgos como el plumaje, la conformación corporal y las características de los huevos (Cuca et al., 2016; Illescas, 2023). En el contexto ecuatoriano, diversos estudios han identificado biotipos locales mediante análisis morfométricos basados en descriptores cualitativos y cuantitativos propuestos por la FAO (2017), que incluyen la estructura corporal, el tipo de cresta, el color del plumaje, la longitud de los tarsos y parámetros productivos (Villacís et al., 2016; Barzallo, 2019).

El análisis morfométrico de los órganos digestivos constituye una herramienta clave para comprender el desempeño productivo y la eficiencia digestiva de las gallinas criollas, al permitir identificar alteraciones estructurales o variaciones anatómicas que podrían afectar negativamente su productividad (Juárez et al., 2020). Asimismo, este enfoque proporciona información relevante para el diseño de estrategias orientadas a optimizar el manejo, la alimentación y la selección genética, en función

de las condiciones locales de producción, contribuyendo así al fortalecimiento de sistemas avícolas sostenibles (Lázaro et al., 2012; Vera et al., 2021; Toalombo et al., 2024).

En este contexto, el objetivo del estudio fue analizar las características morfométricas de los órganos digestivos en gallinas criollas (*Gallus domesticus*) y comparar estos parámetros en función de la edad, considerando la posible influencia del sistema de crianza y de factores metabólicos y ambientales que podrían incidir en su desarrollo.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el cantón Tosagua, provincia de Manabí, Ecuador, localizado en las coordenadas 0,7859° S y 80,2346° O (Geodatos, 2025). El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental, con alcance descriptivo y diseño de campo, orientado al análisis de las características morfométricas de los órganos digestivos en gallinas criollas.

La población de estudio estuvo constituida por 20 gallinas criollas adquiridas en explotaciones rurales del cantón Tosagua, seleccionadas según disponibilidad y criterios de inclusión previamente establecidos. Se consideraron aves con buen estado sanitario, ausencia de lesiones externas visibles y sin evidencias de malformaciones congénitas, dentro de un rango etario comprendido entre los seis meses y un año. Se excluyeron aquellas aves que presentaron signos clínicos de enfermedad o alteraciones anatómicas evidentes. La edad de las gallinas fue proporcionada por los productores locales, con base en sus registros de manejo. El peso corporal promedio de las aves fue de aproximadamente 2 kg.

Las gallinas procedieron de dos sistemas de crianza: pastoreo libre y semipastoreo o sistema semiintensivo. A partir de este criterio, se conformaron cuatro grupos experimentales: pastoreo libre a los seis meses, pastoreo libre al año de edad, semipastoreo a los seis meses y semipastoreo al año de edad, con cinco aves por grupo. Tras su adquisición, todas las gallinas fueron manejadas bajo condiciones homogéneas de alimentación, suministro de agua y manejo sanitario, con el fin de minimizar posibles efectos de confusión sobre las variables morfométricas evaluadas.

Las mediciones se realizaron durante un período de dos semanas, conforme al cronograma establecido para garantizar una recopilación de datos sistemática. Previo al sacrificio, las aves fueron pesadas utilizando una balanza digital (marca QP). El manejo, sacrificio y procesamiento de las aves se realizaron respetando los principios de bienestar animal y las normativas éticas vigentes para la investigación con animales, minimizando el estrés, el dolor y el sufrimiento durante todo el proceso experimental, de acuerdo con las recomendaciones

internacionales para la investigación en animales de producción y las directrices de la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH, anteriormente OIE). El sacrificio se efectuó mediante descarga eléctrica a 160 voltios, seguida de la decapitación, asegurando una pérdida rápida de la consciencia y un desangrado adecuado. Posteriormente, se procedió a la evisceración y a la extracción de los órganos digestivos para su evaluación morfométrica.

Las variables analizadas incluyeron el peso corporal del ave y las mediciones morfométricas del tracto gastrointestinal, específicamente longitud, diámetro y peso de los órganos digestivos: esófago, proventrículo, molleja, hígado, páncreas, intestino delgado e intestino grueso. Para las mediciones se emplearon un micrómetro análogo (Trupper), una cinta métrica flexible y una balanza digital de precisión en miligramos (marca AWCNILACAV). En el caso de órganos con morfología irregular, el diámetro se estimó mediante la medición de los ejes mayor y menor.

La longitud del esófago se midió desde la faringe hasta su unión con el proventrículo, registrándose el diámetro en tres puntos equidistantes. En el proventrículo, la longitud se determinó entre los extremos proximal y distal, mientras que el diámetro se midió en el eje transversal mayor. En la molleja, debido a su estructura muscular, se consideraron los ejes longitudinal y transversal para describir su tamaño. En el hígado, se midió la longitud del lóbulo principal siguiendo su eje mayor y el diámetro en su máxima amplitud. El diámetro del páncreas se estimó mediante la medición transversal de su eje funcional mayor. En el intestino delgado, la longitud se midió siguiendo el trayecto completo de cada segmento y el diámetro se registró en tres puntos representativos. Finalmente, en el intestino grueso, la longitud se midió desde la unión ileocecal hasta la cloaca, y el diámetro se registró a nivel del colon recto.

Para la determinación del índice morfométrico o peso relativo de los órganos, se utilizó la relación entre el peso del órgano y el peso corporal del ave, multiplicada por 100, según la siguiente ecuación:

$$\text{Índice morfométrico} = \frac{\text{Peso del órgano}}{\text{Peso del pollo}} \times 100$$

Durante el proceso de recolección de datos se empleó la técnica de observación directa, asignándose un código individual a cada ave y registrándose la fecha de evaluación. Las imágenes obtenidas fueron archivadas digitalmente con descripciones detalladas, y se mantuvo una hoja de registro en la que se documentaron las observaciones realizadas y cualquier incidencia ocurrida durante el desarrollo del estudio.

Los datos obtenidos fueron organizados en una base estadística y analizados mediante el software InfoStat. Para cada grupo experimental se calcularon los promedios y la desviación estándar de las variables evaluadas, con el fin de describir adecuadamente la variabilidad interna de las mediciones morfométricas.

## Resultados y discusión

### Esófago

Las gallinas de un año presentaron mayor peso corporal que las de seis meses ( $p < 0,001$ ), independientemente del sistema de crianza (tabla 1). En concordancia, el peso absoluto del esófago fue significativamente mayor en aves adultas ( $p = 0,0006$ ), mientras que el peso relativo no mostró diferencias por edad ni por sistema ( $p = 0,979$ ), lo que indicó que el crecimiento del esófago fue proporcional al aumento del peso corporal, manteniendo una relación alométrica cercana a la isometría. Este comportamiento ha sido descrito previamente en aves domésticas, donde los órganos del tracto digestivo tendieron a conservar proporciones estables una vez alcanzada la madurez fisiológica (Godoy, 2014; Ravindran, 2021).

**Tabla 1.** Morfometría del esófago en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	3,02 ± 0,15	0,138 ± 0,0068	13,64 ± 0,36	4,76 ± 0,11
	6 meses	1752,80 ± 90,84	2,32 ± 0,47	0,133 ± 0,0268	11,52 ± 0,70	4,20 ± 0,16
Semi pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	3,02 ± 0,13	0,141 ± 0,0061	13,38 ± 0,26	4,64 ± 0,27
	6 meses	1701,60 ± 48,89	2,50 ± 0,43	0,147 ± 0,0253	10,88 ± 0,47	4,28 ± 0,24
p-valor edad		<0,001	0,0006	0,979	<0,001	0,0001
p-valor sistema de crianza		0,230	0,545	0,218	0,049	0,831

En cuanto a las dimensiones, la longitud del esófago fue significativamente mayor en aves de un año ( $p < 0,001$ ) y mostró además un efecto leve pero significativo del sistema de crianza ( $p = 0,049$ ), sugiriendo que el acceso al pastoreo podría influir en el uso funcional del tracto digestivo anterior, lo que podría relacionarse con diferencias en el patrón de consumo (forrajeo vs. aporte controlado) y en la dinámica de llenado del tracto anterior en aves con acceso a pastoreo.

Por el contrario, el diámetro del esófago estuvo determinado principalmente por la edad ( $p = 0,0001$ ), sin efecto del sistema ( $p = 0,831$ ), fue mayor en especies que comieron grandes porciones de alimento entero (Godoy, 2014). Lo que concordó con lo reportado por Faria (2017) y Orosz (2020), quienes señalaron que el diámetro esofágico se relacionó más con la madurez anatómica que con el manejo productivo. Estudios en aves con acceso al exterior han evidenciado variaciones asociadas al comportamiento de rango y al consumo de material vegetal, con implicaciones en el desarrollo/uso funcional del tracto digestivo proximal (Marchewka et al., 2021). En conjunto, estos resultados apoyan que la madurez anatómica explica la mayor parte de la variación morfométrica, mientras que el sistema de crianza tendría un efecto más sutil y focalizado en la longitud.

**Proventrículo**

El proventrículo presentó un claro efecto de la edad sobre su desarrollo morfométrico, evidenciando que este órgano alcanza un estado funcional estable en la etapa adulta. En las gallinas de un año, el peso absoluto del proventrículo fue significativamente mayor ( $p < 0,001$ ) y mostró valores similares entre los sistemas de pastoreo y semipastoreo, lo que indicó que, a esta edad, el sistema de crianza no ejerció una influencia relevante sobre su desarrollo (tabla 2). En contraste, las aves de seis meses presentaron valores inferiores, con ligeras variaciones entre sistemas, lo que sugirió que el proventrículo continuó su proceso de crecimiento durante esta fase juvenil. De manera consistente, el peso relativo fue significativamente mayor en aves adultas ( $p = 0,0026$ ), confirmando el efecto de la madurez fisiológica sobre el desarrollo proporcional del órgano. La longitud del proventrículo siguió esta misma tendencia, siendo mayor en las aves de un año ( $p < 0,001$ ), mientras que el diámetro no mostró diferencias significativas asociadas ni a la edad ni al sistema de crianza ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 2.** Morfometría del proventrículo en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	6,94 ± 0,34	0,316 ± 0,016	4,78 ± 0,19	6,20 ± 0,16
	6 meses	1752,80 ± 90,84	3,24 ± 0,39	0,185 ± 0,022	3,22 ± 0,18	5,42 ± 0,13
Semi pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	6,94 ± 0,28	0,325 ± 0,013	4,54 ± 0,18	5,84 ± 0,42
	6 meses	1701,60 ± 48,89	3,54 ± 0,54	0,208 ± 0,032	3,72 ± 0,68	5,34 ± 0,11
p-valor edad		<0,001	<0,001	0,0026	<0,001	<0,001
p-valor sistema de crianza		0,230	0,692	0,110	0,495	0,062

En conjunto, estos resultados indicaron que la edad constituyó el principal factor determinante de la morfometría del proventrículo, mientras que el sistema de crianza ejerció una influencia secundaria bajo condiciones de alimentación homogénea. Este patrón fue coherente con lo descrito por Martínez et al. (2021), quienes reportaron incrementos progresivos en el peso relativo del proventrículo durante las primeras etapas de desarrollo, y con Langlois (2003), quien señaló que la forma y el tamaño de este órgano varió principalmente en función de la fase de crecimiento. Evidencia más reciente respaldó que la

maduración del proventrículo ocurrió de manera temprana y se estabilizó conforme disminuyó la tasa de crecimiento corporal, en concordancia con la ontogenia del aparato digestivo y el aumento progresivo de su capacidad secretora y funcional en aves domésticas (Ravindran, 2021).

Como fue señalado, el sistema de crianza no mostró efectos significativos ( $p > 0,05$ ), lo que refuerza que el desarrollo del proventrículo está dominado por procesos de crecimiento y maduración fisiológica más que por el manejo, al menos bajo condiciones de alimentación homogénea posadquisición. A su vez, estos resultados indicaron que el desarrollo morfométrico del proventrículo está determinado principalmente por la edad y el crecimiento corporal, alcanzando un estado funcional estable en la etapa adulta.

**Molleja**

En las aves de un año, el peso absoluto de la molleja fue similar entre sistemas de crianza, lo que evidenció estabilidad estructural en la etapa adulta (tabla 3). En las aves de seis meses, el peso absoluto fue ligeramente mayor en semipastoreo, mientras que el peso relativo resultó superior en ambos sistemas, lo que podría interpretarse como una compensación fisiológica propia de una etapa de crecimiento activo.

**Tabla 3.** Morfometría de la molleja en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	7,12 ± 0,68	0,324 ± 0,031	8,64 ± 0,30	25,50 ± 1,12
	6 meses	1752,80 ± 90,84	6,02 ± 1,06	0,344 ± 0,060	6,50 ± 0,96	23,06 ± 0,75
Semi pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	7,04 ± 0,35	0,329 ± 0,016	8,48 ± 0,26	25,86 ± 1,96
	6 meses	1701,60 ± 48,89	6,22 ± 0,79	0,366 ± 0,046	6,32 ± 0,30	23,70 ± 1,62
p-valor edad		<0,001	0,010	0,088	<0,001	0,001
p-valor sistema de crianza		0,230	0,859	0,353	0,479	0,407

La longitud y el diámetro de la molleja fueron significativamente mayores en las aves adultas, independientemente del sistema de crianza, confirmando que la madurez corporal influyó más que el manejo productivo en el desarrollo de este órgano. La longitud y el diámetro fueron mayores en aves de 1 año (8,48-8,64 cm y 25,50-25,86 mm) tanto del sistema de pastoreo como semi pastoreo (tabla 3). Las mollejas de las aves jóvenes fueron más

pequeñas, lo cual era esperable dado que este órgano continúa desarrollándose en respuesta a la ingestión y molienda del alimento.

Igualmente, el peso absoluto de la molleja fue parecido en aves de 1 año (7,12 g), lo que indicó estabilidad estructural a esa edad (tabla 3.). En aves de 6 meses, el peso absoluto fue ligeramente mayor en semi pastoreo (6,22 g), el peso relativo fue más alto en aves de 6 meses en esta ocasión en ambos sistemas de crianza (0,344 a 0,366%), posiblemente se debió a una compensación fisiológica por la etapa de crecimiento activo.

Estos resultados concordaron con lo señalado por Solís (2016) y Ruiz (2018), quienes indicaron que el tamaño y la musculatura de la molleja estuvieron estrechamente relacionados con el tamaño de las partículas del alimento y con el crecimiento corporal del ave. Asimismo, Ravindran (2021) describió una disminución progresiva del peso relativo de la molleja con la edad, patrón que coincidió con lo observado en este estudio.

Cuando se usó tamaño de partículas grueso en la alimentación, se observó un mayor tamaño de la molleja en las aves y también se observó mayor contenido intestinal en la molleja (Solís, 2016). El volumen de la molleja depende del tamaño del pollo. Cuanto más grande el pollo menor es la relación, por lo que, en función del pollo, lo idóneo es que sea de 1,5 al 2 % del peso corporal vivo (Ruiz, 2018).

Por otro lado, la molleja no posibilita que pase nada de más de un milímetro de longitud. Cuanto más elevadas sean el tamaño de las partículas, “más tiempo se quedan estancadas dentro de la molleja, aumentando su musculatura”. Es por eso que la mayoría de los científicos de salud intestinal tratan a la molleja como un órgano plenamente fundamental (Ruiz, 2018).

Al momento de la eclosión, la molleja es el órgano más grande asociado con el tracto gastrointestinal, incluso más grande que el hígado (52 frente a 33 g·kg<sup>-1</sup> de peso corporal). Sin embargo, el peso relativo de la molleja disminuyó de forma constante con la edad (Ravindran, 2021).

Desde la perspectiva funcional, la molleja es altamente sensible a la estructura física de la dieta (tamaño de partícula, fibra estructural), lo cual modula su hipertrofia muscular y la dinámica de retención/molienda. Ensayos controlados han mostrado que dietas con partículas más gruesas pueden incrementar el desarrollo de la molleja y modificar parámetros morfológicos del tracto gastrointestinal (Novotný et al., 2023; Rueda et al., 2024).

## Hígado

Las gallinas de un año presentaron hígados de mayor peso y tamaño en comparación con las aves de seis meses, reflejando el desarrollo normal del órgano con la edad (tabla 4). No obstante, el peso relativo del hígado se mantuvo estable entre grupos, lo que indicó que su proporción respecto al peso corporal no se vio significativamente afectada ni por la edad ni por el sistema de crianza.

Las diferencias entre pastoreo y semipastoreo fueron mínimas, lo que sugirió que la morfometría hepática dependió principalmente de la madurez fisiológica. Este comportamiento coincidió con lo reportado por Zaefarian et al. (2019), quienes describieron variaciones marcadas en el peso relativo del hígado durante las primeras etapas de vida, seguidas de una estabilización conforme avanzó el desarrollo corporal; en tal sentido; encontraron un aumento en el peso relativo del hígado de 25 g·kg<sup>-1</sup> de peso corporal en la eclosión a 46 y 48 g·kg<sup>-1</sup> de peso corporal en el día 8 en pollitas para producción de huevos y pollitos para carne, respectivamente. Los pesos relativos disminuyeron después, pero las reducciones fueron mayores en las aves productoras de huevo que en los de tipo carne. Para el día 14, el peso del hígado de los pollos de tipo carne excedió al de los pollos de tipo huevo.

**Tabla 4.** Morfometría del hígado en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	43,90 ± 2,70	2,00 ± 0,00	10,16 ± 0,27	13,50 ± 0,41
		1752,80 ± 90,84	34,40 ± 3,21	1,96 ± 0,13	8,18 ± 0,26	11,82 ± 0,29
S e m i pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	42,34 ± 2,25	1,98 ± 0,02	9,94 ± 0,15	13,68 ± 0,35
		1701,60 ± 48,89	33,86 ± 1,97	1,99 ± 0,07	8,04 ± 0,21	11,72 ± 0,30
p-valor edad		<0,0001	<0,0001	0,6647	<0,0001	<0,0001
p-valor sistema de crianza		0,2303	0,3638	0,9307	0,0865	0,7955

El mayor tamaño relativo del hígado a temprana edad presumiblemente permite a las aves metabolizar los nutrientes con mayor eficiencia, debido a la menor ingesta de alimento y a la secreción de enzimas endógenas. En un estudio posterior, Nitsan et al. (1991) mostraron que los pesos relativos del hígado y el páncreas alcanzaron su punto máximo a los 6 y 9 días de edad, respectivamente.

En esta investigación el peso relativo se mantuvo estable (~2%;  $p=0,6647$ ) y el sistema de crianza no evidenció efecto estadístico ( $p>0,05$ ). Este patrón indicó crecimiento proporcional al peso vivo y mayor desarrollo anatómico con la madurez. En pollos se ha descrito que los órganos metabólicamente activos (incluido el hígado) fueron especialmente dinámicos durante fases tempranas y luego tendieron a estabilizar su contribución proporcional conforme progresó el crecimiento (Ravindran, 2021; Gorenz et al., 2024).

## Pancreas

El páncreas presentó diferencias significativas por edad en todas las variables (tabla 5), mayor peso absoluto, longitud y diámetro en aves de 1 año ( $p<0,0001$ ). Sin embargo, el peso relativo fue mayor en aves jóvenes ( $p<0,0001$ ). Como ya fue indicado, el peso absoluto del páncreas fue mayor en las aves de un año, tanto

en pastoreo como en semipastoreo, lo que evidenció un órgano completamente desarrollado en la etapa adulta (tabla 5). En contraste, las aves de seis meses presentaron valores inferiores, coherentes con su estado de crecimiento. El sistema de crianza no mostró efectos significativos ( $p > 0,05$ ), aunque el  $p$  del peso relativo (0,0724) sugirió una tendencia que podría explorarse con mayor tamaño muestral o con una caracterización más fina de dieta efectiva consumida en cada sistema.

**Tabla 5.** Morfometría del páncreas en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	16,72 ± 1,07	0,76 ± 0,004	12,96 ± 0,34	1,28 ± 0,08
Pastoreo	6 meses	1752,80 ± 90,84	14,16 ± 1,63	0,81 ± 0,09	10,52 ± 0,41	0,74 ± 0,17
Semi pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	16,24 ± 0,92	0,76 ± 0,004	12,78 ± 0,39	1,38 ± 0,08
Semi pastoreo	6 meses	1701,60 ± 48,89	14,12 ± 0,72	0,83 ± 0,02	9,96 ± 0,34	0,84 ± 0,11
p-valor edad		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
p-valor sistema de crianza		0,2416	0,3189	0,0724	0,0912	0,2847

En lo que respecta al peso relativo, se evidenció una tendencia opuesta, las aves jóvenes mostraron porcentajes más altos (0,81 a 0,83%) en comparación con las adultas (0,76%). Este comportamiento sugirió que, aunque el páncreas de las aves de 6 meses fue más pequeño en términos absolutos, representó una mayor proporción del peso del cuerpo debido a que el organismo aún no ha alcanzado su tamaño adulto, algo que se espera fisiológicamente en los órganos digestivos.

En cuanto a la longitud del páncreas fue mayor en aves de 1 año (aproximadamente 12,78 a 12,96 cm), lo que nuevamente reflejó el impacto del desarrollo anatómico relacionado con la edad. En cuanto al diámetro, las medidas fueron superiores en las aves adultas (1,28 a 1,38 mm), lo cual indicó que el crecimiento del órgano no solo implicó alargamiento, sino también un aumento en su grosor.

En términos relativos, las aves jóvenes mostraron porcentajes más altos, lo que indicó que, aunque el páncreas fue más pequeño en valores absolutos, representó una mayor proporción del peso corporal durante las etapas tempranas del desarrollo. La longitud y el diámetro del páncreas fueron mayores en las aves adultas, reflejando un crecimiento tanto longitudinal como transversal del órgano con la edad. Esto fue coherente con la lógica alométrica: en etapas de crecimiento, un órgano puede representar una fracción mayor del peso corporal total aun cuando su masa absoluta fuera

menor. Esta dinámica ha sido documentada en aves con relación a los órganos digestivos y metabólicos, particularmente cuando se evalúan proporciones respecto al peso vivo (Ravindran, 2021; Gorenz et al., 2024).

Hooge (2020) indicó que el peso del hígado y del páncreas se incrementó entre dos y cuatro veces, respectivamente, con relación al peso total del cuerpo durante la primera semana de vida. Nitsan et al. (2011) evidenciaron que el peso relativo del páncreas aumenta a los 8 días de edad, momento en el que su tasa de crecimiento alométrico es aproximadamente cuatro veces superior al crecimiento del cuerpo. Luego de esos 8 días, la tasa empezó a disminuir, y para el día 23, el crecimiento alométrico del páncreas fue 1,5 veces mayor en comparación con el peso corporal.

**Intestino delgado**

Para el intestino delgado se observó una tendencia, las aves de 6 meses presentaron mayor peso absoluto y peso relativo ( $p < 0,0001$ ), mientras que la longitud no difirió por edad ( $p = 0,5490$ ) ni por sistema ( $p = 0,6595$ ) (tabla 6). La longitud del intestino fue comparable entre edades y sistemas, mientras que el diámetro fue mayor en las aves adultas, posiblemente como resultado de una mayor capacidad funcional y adaptación digestiva adquirida con la edad. En cambio, el diámetro fue mayor en aves adultas ( $p < 0,0001$ ). Este resultado sugirió que, a los 6 meses, el intestino delgado podría encontrarse en una fase de mayor “priorización” tisular en términos de masa (posible mayor inversión relativa en tejido digestivo), mientras que en la adultez se observa un intestino menos pesado proporcionalmente, pero con mayor calibre, potencialmente asociado a mayor capacidad funcional/flujo luminal; lo que sugirió una mayor proporción del órgano durante las fases de crecimiento activo.

**Tabla 6.** Morfometría del intestino delgado en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (g)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	23,44 ± 1,41	1,07 ± 0,00	119,80 ± 5,40	8,26 ± 0,21
Pastoreo	6 meses	1752,80 ± 90,84	33,60 ± 3,21	1,91 ± 0,12	113,00 ± 2,24	7,51 ± 0,14
Semi pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	22,78 ± 1,33	1,06 ± 0,01	115,60 ± 2,07	8,36 ± 0,18
Semi pastoreo	6 meses	1701,60 ± 48,89	31,62 ± 1,19	1,86 ± 0,07	119,40 ± 7,37	7,56 ± 0,18
p-valor edad		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,5490	<0,0001
p-valor sistema de crianza		0,2303	0,1470	0,3587	0,6595	0,3516

Las aves de seis meses presentaron mayores valores de peso absoluto y relativo del intestino delgado ( $p < 0,0001$ ), mientras que el diámetro fue mayor en aves adultas ( $p < 0,0001$ ) (tabla 6). Esta tendencia sugirió que, durante la etapa juvenil, el intestino priorizó el crecimiento tisular, mientras que en la adultez se incrementó su calibre funcional.

En el intestino delgado, se observó que las aves de 6 meses presentaron los valores más elevados de peso tanto absoluto como relativo en los dos sistemas de crianza, con cifras que estuvieron entre 31,62 y 33,60 g y entre 1,86 y 1,91%. Esto sugirió una proporción más alta del órgano con relación al peso total del cuerpo durante las fases de crecimiento activo (tabla 6).

La longitud del intestino fue comparable entre las diferentes edades y sistemas de crianza, con pequeñas variaciones que no alteraron esta tendencia, mientras que el diámetro fue mayor en las aves adultas tanto de pastoreo como semi pastoreo, lo que podría ser resultado de una capacidad funcional más alta y una adaptación digestiva adquirida con la edad.

Esta tendencia indicó que, durante las etapas juveniles, el intestino delgado experimentó un crecimiento proporcional acelerado para satisfacer mayores demandas metabólicas, mientras que en la etapa adulta tendió a estabilizar su tamaño relativo y a aumentar su grosor. Aunque estos resultados difirieron parcialmente de lo reportado por Nitsan et al. (1991, 2011) y Nir et al. (2020), quienes observaron máximos de peso relativo en los primeros días post-eclosión, reflejaron adaptaciones propias de aves criollas en sistemas extensivos y semiextensivos; donde la diversidad dietaria y el ritmo de crecimiento difieren de sistemas intensivos (Gorenz et al., 2024).

Desde la literatura, se reconoce que la morfología intestinal responde tanto a la ontogenia como a la dieta y al ritmo de crecimiento; por ejemplo, estudios en broilers han mostrado relaciones entre crecimiento corporal, pesos relativos de órganos digestivos y longitudes intestinales (Gorenz et al., 2024).

### Intestino grueso

En el intestino grueso, la edad tuvo un efecto consistente, en aves de 1 año presentaron mayores pesos (absoluto y relativo), además de mayor longitud ( $p = 0,0004$ ) y diámetro ( $p < 0,0001$ ) (tabla 7). A diferencia de otros órganos, aquí también se detectó un efecto del sistema de crianza sobre la longitud ( $p = 0,0139$ ), lo cual debe reflejarse explícitamente en la interpretación: aunque el impacto del sistema es menor que el de la edad, no es despreciable para esa variable (tabla 7).

El intestino grueso presentó mayores pesos absoluto y relativo en aves adultas ( $p < 0,001$ ), así como un efecto significativo del sistema de crianza sobre la longitud ( $p = 0,0139$ ) (tabla 7). Esto sugiere que, aunque la edad es el factor dominante, el sistema de crianza puede modular aspectos estructurales específicos del colon.

**Tabla 7.** Morfometría del intestino grueso en gallinas criollas de dos edades provenientes de distinto sistema de crianza.

Crianza	Edad	Peso ave (gr)	Peso absoluto (gr)	Peso relativo (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Pastoreo	1 año	2196,20 ± 134,61	8,28 ± 0,39	0,37 ± 0,00	7,70 ± 0,45	7,50 ± 0,08
	6 meses	1752,80 ± 90,84	3,34 ± 0,38	0,19 ± 0,01	7,24 ± 0,21	6,78 ± 0,09
S e m i pastoreo	1 año	2139,00 ± 107,49	7,84 ± 0,39	0,37 ± 0,03	8,54 ± 0,17	7,56 ± 0,18
	6 meses	1701,60 ± 48,89	3,08 ± 0,25	0,18 ± 0,01	7,54 ± 0,58	6,74 ± 0,11
p-valor edad		<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0004	<0,0001
p-valor sistema de crianza		0,2303	0,6203	0,4196	0,0139	0,5925

Las gallinas de un año presentaron pesos absolutos y relativos del intestino grueso significativamente mayores que las aves de seis meses, en ambos sistemas de crianza. En contraste, la longitud y el diámetro mostraron variaciones menores, con valores ligeramente superiores en aves adultas.

Estos resultados sugirieron que la madurez estructural del intestino grueso se alcanzó alrededor del primer año de vida y que el sistema de crianza tuvo un impacto limitado sobre su morfometría. Al comparar estos valores con los reportados en otras especies aviares (Mobini, 2011), las gallinas criollas presentaron una longitud intermedia del intestino grueso, consistente con una dieta variada y una alta capacidad de adaptación digestiva.

En conjunto, los resultados confirmaron que la edad fue el principal factor determinante del desarrollo morfométrico del tracto digestivo en gallinas criollas, mientras que el sistema de crianza ejerció un efecto secundario, principalmente en etapas juveniles. Este patrón reflejó la plasticidad funcional del aparato digestivo de las gallinas criollas y su adaptación a distintos sistemas productivos.

En términos comparativos, la variación del intestino grueso entre aves puede relacionarse con la dieta y con el grado de fermentación posterior; sin embargo, bajo su diseño (y con alimentación homogénea tras la adquisición), la madurez explicó el cambio principal y el sistema parece modular de manera sutil la longitud. Hallazgos recientes en Poultry Science resaltan que el desarrollo relativo de órganos digestivos y características intestinales se asocia con perfiles de crecimiento y metabolismo, incluso cuando no hay cambios marcados en la histomorfología (Gorenz et al., 2024).

Estos hallazgos sugieren que la plena madurez estructural del colon se logra alrededor del primer año de vida, mientras que el tipo de crianza tiene un impacto mínimo en estas características morfométricas. Por ejemplo, en animales de la misma especie con diferentes fines productivos, por ejemplo, en pollos de engorde la longitud total de ciegos y colon se encontró de 14,64

a 39,84 cm y de 2,22 a 10,83 cm, respectivamente, mientras que estos valores en pavo bronce, pollo adulto, pingüino y tinamú fueron de 64,4 a 91,4 cm y de 33,4 a 42 cm, de 28 a 47 cm y de 8 a 11 cm, de 1,4 a 2,6 cm y de 2,15 a 5,7 cm, de 2,5 a 6,2 cm y de 2,8 a 5,8 cm, respectivamente. La longitud total de cada ciego en pollos de engorde se encontró de 7,32 a 19,92 cm.

Estos tamaños en algunas especies, como patos, gansos y palomas, variaron entre 10 a 20 cm, 23 a 28 cm y 1 a 3,5 cm, respectivamente. Estas variaciones indicaron la diversidad en la estructura intestinal que se relacionó con el tipo de alimentación y la fisiología digestiva (Mobini, 2011). En contraste, las gallinas criollas que se analizaron en esta investigación presentaron una longitud intermedia del intestino grueso, lo que es consistente con su dieta variada y su habilidad para adaptarse en el proceso de digestión. Esto refuerza la idea de que el desarrollo del intestino grueso está fuertemente influenciado por la edad y el tipo de alimentación, y que las gallinas criollas poseen un aparato digestivo flexible y funcional, adaptado tanto a forraje como a concentrado.

### Conclusión

La edad se identificó como el factor con mayor influencia sobre las características morfométricas del sistema digestivo en gallinas criollas, mientras que el tipo de manejo (pastoreo o semipastoreo) generó variaciones marginales, sin efectos determinantes sobre los parámetros evaluados. De manera general, las aves de un año de edad presentaron valores superiores de peso, longitud y diámetro en los órganos digestivos analizados, lo que evidencia un mayor grado de desarrollo anatómico y estabilidad estructural.

En contraste, las gallinas de seis meses mostraron órganos de menor tamaño y peso absoluto; no obstante, en algunos casos registraron valores relativos más elevados, coherentes con los procesos fisiológicos asociados a la fase de crecimiento y maduración orgánica. En conjunto, estos hallazgos aportan información relevante para la caracterización morfométrica de gallinas criollas en Ecuador, y constituyen una referencia útil para futuras investigaciones, así como para la optimización de estrategias de manejo, selección y producción en sistemas avícolas rurales.

### Conflicto de intereses

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

### Referencias bibliográficas

Bailón, B. (2022). *Aspectos generales y situación actual de gallinas criollas de la península de Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8804/1/UPSE-TIA-2022-0072.pdf>

Barzallo, D. (2019). Análisis de la innovación tecnológica avícola ecuatoriana en el contexto de la industria 4.0. *Investigación Tecnológica IST Central Técnico*, 1(2), 9. <https://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigaciontecnologica/article/view/23>

Cuca, J. M., Gutiérrez, D. A. y López, E. (2016). Avicultura de traspatio en México: Historia y caracterización. *Agro Productividad*, 8(4), 1-7. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/669/537>

Faria, D. (2017). Body conformation and internal organs characteristics of different commercial Broiler lines. *Scientific Electronic Library Online*, 9. <https://www.scielo.br/j/rbca/a/p3c9hJfwPK7FHwK6H35P6my/?lang=en>

Godoy, M. (2014). *El sistema digestivo en diferentes especies de aves*. <https://bionotas.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/09/sist-dig-diferentes-especies-aves.pdf>

Gorenz, B., Oelschlager, M. L., Jespersen, J. C., Cao, C., Smith, A. H., Mackie, R. I. and Dilger, R. N. (2024). Organ growth and fermentation profiles of broilers differing in body growth rate. *Poult Sci.*, 103(5), 103628. doi: 10.1016/j.psj.2024.103628.

Hooge, H. (2020). *Uso de un alimento de recepción: cambios en el aparato digestivo de pollo de engorda durante la primera semana de edad*. [https://www.wpsa-aece.es/aece\\_imgs\\_docs/uso\\_de\\_un\\_alimento\\_de\\_recepcion.pdf](https://www.wpsa-aece.es/aece_imgs_docs/uso_de_un_alimento_de_recepcion.pdf)

Illescas, A. (2023). Caracterización morfométrica y potencial reproductivo de los huevos de gallinas criollas mexicanas (*Gallus gallus domesticus*) dispuestos a incubación artificial. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.509>

Juárez, A., Gutiérrez, E., Segura, J. y Santos, R. (2020). Calidad del huevo de gallinas criollas criadas en traspatio en Michoacan, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(1), 109-115. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074011>

Langlois, I. (2003). Anatomía, fisiología y enfermedades del proventrículo y ventrículo aviar. *Clínicas Veterinarias: Práctica con Animales Exótico*, 6(1). [https://www.vetextotic.theclinics.com/article/S1094-9194\(02\)00027-0/fulltext](https://www.vetextotic.theclinics.com/article/S1094-9194(02)00027-0/fulltext)

Lázaro, G., Hernández, J., Vargas, L., Martínez, L. y Pérez, A. (2012). Uso de caracteres morfométricos en la

- clasificación de gallinas locales. *Actas Iberoamericana de Conservación Animal*, 109-115.
- Marchewka, J., Sztandarski, P., Zdanowska-Sąsiadek, Ż., Adamek-Urbańska, D., Damaziak, K., Wojciechowski, F., Riber, A. B. and Gunnarsson, S. (2021). Gastrointestinal tract morphometrics and content of commercial and indigenous chicken breeds with differing ranging profiles. *Animals*, 11(7), 1881. <https://doi.org/10.3390/ani11071881>
- Martínez, Y., Altamirano, E., Ortega, V., Paz, P. y Valdivié, M. (2021). Efecto de la edad en el peso de los órganos inmunitarios y viscerales, y en las características cecales de pollos de engorde modernos. *Animals*, 11(3), 845. <https://doi.org/10.3390/ani11030845>
- Mobini, B. (2011). Age-dependent morphometric changes of different parts of small and large intestines in the Ross broilers. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 5(5), 456-463. Doi:10.5455/ijavms.2022111108123845
- Nir, I., Nitsan, Z. y Mahaga, M. (2020). Crecimiento y desarrollo comparativo de los órganos digestivos y de algunas enzimas en pollos de engorde y pollitos de tipo huevo después de la eclosión. *Br. Poult. Sci.*, 34, 523-532.
- Nitsan, Z., Ben-Avraham, G., Zoref, Z. and Nir, I. (1991). Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching. *Br Poult Sci.*, 32(3):515-523. doi: 10.1080/00071669108417376. PMID: 1716507
- Nitsan, Z., Dunnington, E. A. y Siegel, P. B. Crecimiento de órganos y niveles de enzimas digestivas hasta los quince días de edad en líneas de pollos con diferente peso corporal. *Poult. Sci.*, 70, 2040-2048.
- Novotný, J., Horáková, L., Řiháček, M., Zálešáková, D., Šťastník, O., Mrkvicová, E., Kumbár, V. and Pavlata, L. (2023). Effect of different feed particle size on gastrointestinal tract morphology, ileal digesta viscosity, and blood biochemical parameters as markers of health status in broiler chickens. *Animals*, 13(15), 2532. <https://doi.org/10.3390/ani13152532>
- Oñate, F., Villafuerte, G. y Bravo, C. (2020). Calidad de huevos de gallinas criollas criadas en traspatio, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 662-673. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1307>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Revisión del desarrollo avícola*. <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Alimentación de las aves de corral*. <https://www.fao.org/3/V5290S/v5290s42.htm>
- Orosz, S. (2020). *Anatomía y fisiología del tracto gastrointestinal aviar*. [https://lafeber.com/vet/wp-content/uploads/SPANISH-GI-Anatomy-lecture-notes.pdf?srsltid=AfmBOor0XX2\\_2cV\\_kXYAMvcO\\_-k9St6nVACMQzZmDWDmVgZlgrTGck5aF](https://lafeber.com/vet/wp-content/uploads/SPANISH-GI-Anatomy-lecture-notes.pdf?srsltid=AfmBOor0XX2_2cV_kXYAMvcO_-k9St6nVACMQzZmDWDmVgZlgrTGck5aF)
- Ravindran, V. and Abdollahi, M. R. (2021). Nutrition and digestive physiology of the Broiler chick: state of the art and outlook. *Animals*, 11, 2795. <https://doi.org/10.3390/ani11102795>
- Rueda, M. S., Bonilla, S., de Souza, C., Starkey, J. D., Starkey, C. W., Mejia, L. and Pacheco, W. J. (2024). Evaluation of particle size and feed form on performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract development of broilers at 39 d of age. *Poultry Science*, 103(3), 103437. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103437>
- Ruiz, B. (2018). *Por qué la molleja debe recobrar su papel*. WATTPoultry. <https://www.wattagnet.com/broilers-turkeys/article/15523850/por-que-la-molleja-debe-recobrar-su-papel-wattagnet>
- Solís, F. (2016). *Importancia del tamaño de partículas en avicultura*. Nutrition Division Director, Instituciones Pecuarías Dominicanas (IPD), República Dominicana. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_aves/produccion\\_avicola/154-Importancia\\_tamano\\_particulas.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/154-Importancia_tamano_particulas.pdf)
- Toalombo, P., Andino, P., y Arboleda, L. (2024). Procesos y caracterización del manejo productivo de un grupo genético de gallinas criollas, Riobamba, Ecuador. *Revista de La Universidad del Zulia*, 15(42), 96-128. <https://doi.org/10.46925/rdluz.42.06>
- Vera, J., Lazo, R., Hidalgo, G., Mendía, C., Naranjo, R., Ortiz, R., Rivera, S., Moncayo, K. y Bravo, I. (2021). Evaluación física del huevo comercial de gallinas criollas (*Gallus gallus domesticus*) en el cantón La Troncal, Ecuador. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 29(2), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.5377/rci.v29i02.13318>
- Zaefarian, F., Abdollahi M., Cowieson, A y Ravindran, V. (2019). Hígado aviar: el órgano olvidado. *Animals PMC PubMed Central*, 9(2). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6406855/>

#### Declaración de contribución a la autoría según CRediT

**María Teresa Cedeño Loor:** análisis formal, redacción del borrador original del artículo, y redacción, revisión y edición del artículo, adquisición de financiamiento. **Paula Leonela Macías Moreira:** investigación, metodología, visualización, redacción del borrador original del artículo, adquisición de financiamiento. **Vicente Alejandro Intriago Muñoz:** conceptualización, análisis formal, visualización, redacción del borrador original del artículo.

