

CIENCIA Y TECNOLOGÍA



UTEQ

ISSN:1390 - 4051

e-ISSN:1390 - 4043

Vol. 18, Núm. 2 | Julio 2025

Índice de contenido

Control de <i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par en cacao mediante <i>Trichoderma asperellum</i> , aceite de girasol ozonizado y aceite de sachá inchi <i>Control of Moniliophthora roreri Cif & Par in cocoa using Trichoderma asperellum, ozonated sunflower oil and sachá inchi oil.</i>	1
Producción de variedades y clones de café (<i>Coffea canephora</i>) en condiciones subtropicales de Guasaganda – Ecuador <i>Production of coffee varieties and clones (Coffea canephora) under subtropical conditions in Guasaganda - Ecuador</i>	14
Producción de café robusta (<i>Coffea canephora</i>) con reciclaje de biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca <i>Production of coffee robusta (Coffea canephora) with biomass recycling from three forage species during the dry season</i>	22
Evaluación de la perecibilidad en raíces de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) variedad INIAP P-652 mediante la poda previa a la cosecha <i>Evaluation of perishability in cassava roots (Manihot esculenta Crantz) variety INIAP P-652 by pre-harvest pruning</i>	30
Rizobacterias y Trichodermas antagonistas al control de nematodos fitoparásitos en plátano barraganete (<i>Musa paradisiaca</i> L.) <i>Rhizobacteria and Trichodermas antagonistic to the control of phytoparasitic nematodes in Barraganete plantain (Musa paradisiaca L.)</i>	38
Absorción de nutrientes de la pimienta negra (<i>Piper nigrum</i>) al inicio de su producción <i>Nutrient uptake of black pepper (Piper nigrum) at the onset of production</i>	48
Efecto del metaldehído, extractos botánicos, y sal común sobre el gasterópodo (<i>Sarasinula plebeia</i>) en el cultivo de fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) voluble var. Rojo Bolón <i>Effect of metaldehyde, botanical extracts, and common salt on gastropod (Sarasinula plebeia) of common beans (Phaseolus vulgaris) voluble var. "Rojo Bolón" in two growth cycles</i>	59
Soil aggregate formation and carbon storage by endogeic earthworms in an Ultisol <i>Formación de agregados del suelo y almacenamiento de carbono por lombrices de tierra endogéicas en un Ultisol</i>	68
Caracterización florística, estructura y diversidad del arbolado urbano del cantón puerto López, manabí, ecuador <i>Floristic characterization, structure and diversity of urban trees of the Puerto López canton, Manabí, Ecuador</i>	78
Pronóstico de la contaminación por material particulado PM10 con series de tiempo <i>Forecast of pollution by pm10 particulate material with time series</i>	86

Análisis de puntos críticos en el proceso de fabricación de la margarina Girasol comercializada en Ecuador

A critical points analysis in the manufacturing process of Girasol margarine marketed in Ecuador .. 97

Nuevo hospedero intermediario de la fasciolosis hepática ovina

New intermediate host for ovine hepatic fasciolosis..... 107

Uso de agregados en la producción de ensilaje con raquis de plátano (*Musa paradisiaca*)

Use of Additives in the Production of Silage with Plantain Rachis (Musa paradisiaca)113

Control de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en cacao mediante *Trichoderma asperellum*, aceite de girasol ozonizado y aceite de sachá inchi

Control of *Moniliophthora roreri* Cif & Par in cocoa using *Trichoderma asperellum*, ozonated sunflower oil and sachá inchi oil

Josue David Sanmiguel Chimbo¹, Diego Manuel León Tapia¹

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra, Ecuador

Autor de correspondencia: jdsanmiguel@pucesi.edu.ec

Recibido: 17/01/2025. Aceptado: 22/05/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

En Ecuador, las plantaciones cacaoteras de las comunas y comunidades *Kichwas*, se evidencia alta incidencia y severidad de moniliasis con pérdidas de producción que oscilan entre el 40 y 80 % de la cosecha anual de cacao. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de fungicidas biológicos en *Moniliophthora roreri* Cif & Par en el cultivo *Theobroma cacao* L. Se evaluaron cuatro productos: *Trichoderma asperellum* (T1: 2×10^6 UFC y T5: 2×10^7 UFC), aceite de girasol ozonizado (T2: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ y T6: 5 mL L^{-1}), aceite de sachá inchi (T3: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ y T7: 5 mL L^{-1}) y sulfato de cobre pentahidratado 270 g L^{-1} (T4: $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ y T8: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$), además del testigo absoluto (T9). El ensayo al inicio presentó en promedio 39,71 % de daño por moniliasis. Las aplicaciones se realizaron cada 15 y 21 días, con monitoreos cada 15 días durante 9 semanas. Los resultados demostraron que los tratamientos tuvieron efecto en el nivel de control frente a moniliasis en plantas de cacao CCN51 con reducción en promedio de incidencia del 38,53 % y severidad del 49,73 % en comparación al del testigo absoluto. Además, se obtuvieron valores superiores al 48 % de eficacia en el control del fitopatógeno para los tratamientos T8 (51,69 %), T6 (49,36 %) y T2 (48,19 %). Se recomienda la aplicación aceite de girasol ozonizado a dosis de $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ cada 15 días y 5 mL L^{-1} cada 21 días.

Palabras clave: Moniliasis, control biológico, incidencia, severidad, eficacia.

Abstract

In Ecuador, cocoa plantations in *Kichwa* communities and communes have a high incidence and severity of moniliasis, with production losses ranging from 40 % to 80 % of the annual cocoa harvest. The objective of the research was to evaluate the effect of the application of biological fungicides on *Moniliophthora roreri* Cif & Par in the crop *Theobroma cacao* L. Four products were evaluated: *Trichoderma asperellum* (T1: 2×10^6 CFU and T5: 2×10^7 CFU), ozonated sunflower oil (T2: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ and T6: 5 mL L^{-1}), sachá inchi oil (T3: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ and T7: 5 mL L^{-1}) and copper sulfate pentahydrate 270 g L^{-1} (T4: $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ and T8: $2,5 \text{ mL L}^{-1}$), in addition to the absolute control (T9). The trial showed an average of 39,71 % damage by moniliasis. Applications were made every 15 and 22 days, with monitored every 15 days for 9 weeks. The results showed that the treatments had an effect on the level of control of moniliasis in CCN51 cocoa plants, with an average incidence reduction of 38,53 % and severity of 49,73 % compared to that of the absolute control. In addition, values higher than 48 % of efficacy in the control of the phytopathogen were obtained for treatments T8 (51,69 %), T6 (49,36 %), and T2 (48,19 %). Applying ozonated sunflower oil in doses of $2,5 \text{ mL L}^{-1}$ every 15 days and 5 mL L^{-1} every 21 days is recommended.

Keywords: Moniliasis, biological control, incidence, severity, efficacy.

Introducción

Ecuador destaca como el principal productor mundial de cacao fino de aroma, con una contribución del 63 % a la producción mundial. En la actualidad, Ecuador produce cacao en diversas provincias, entre ellas Sucumbíos, Orellana, Napo, Zamora Chinchipe, Manabí, El Oro, Esmeraldas, Guayas y Los Ríos, desempeñando un papel significativo en la economía nacional con una producción de 375,72 t de almendra seca (González *et al.*, 2018; Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024).

Durante los últimos años la producción del cultivo cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha visto afectada debido a la prevalencia y severidad de moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) con pérdidas estimadas del 80 % en la cosecha anual, de cada tres mazorcas de cacao afectadas dos son dañadas por la moniliasis (Correa *et al.*, 2014; Abad-Sánchez *et al.*, 2018).

La productividad del cultivo de cacao en Ecuador se ve afectada por el manejo inapropiado de prácticas agrícolas, las condiciones climáticas y meteorológicas, moléculas químicas ineficientes y clones susceptibles. Estos factores demuestran la influencia que tienen en la propagación y severidad del fitopatógeno, dependiente tanto de la zona como de la época del año, esta situación facilita la reproducción y dispersión de la *Moniliophthora roreri* Cif & Par, en las plantaciones cacaoteras (Pilaloa *et al.*, 2021).

En la región amazónica de Ecuador, las condiciones ambientales se caracterizan por una alta humedad relativa, que supera el 80 %. Las temperaturas oscilan entre los 25 °C y 28 °C. Estas condiciones son propicias para la propagación de moniliasis, la cual afecta desde la etapa de floración hasta el completo desarrollo del fruto. Se estima que se pierde más del 40 % de la producción de cacao en esta región, lo que equivale a 8,0 toneladas de cacao. Estas pérdidas representan alrededor de 20 millones de dólares al año (Carrera-Sánchez *et al.*, 2016; Pico *et al.*, 2019a).

En los últimos años, se han empleado métodos de control químico y biológico para controlar la moniliasis en el cultivo de cacao; sin embargo, las estrategias de control químico han generado un aumento en los costos de producción y, por ende, afectan la economía de los pequeños y medianos productores. El control biológico representa una alternativa efectiva para el manejo de moniliasis en los cultivos de cacao (Anzules-Toala *et al.*, 2021).

En la provincia de Orellana en el cantón Loreto se evidencia alta incidencia y severidad de moniliasis en mazorcas de cacao en plantaciones de las comunas y comunidades *Kichwas*, esta situación ha llevado a una disminución en los rendimientos del cultivo y al incremento en el uso de agroquímicos con diversos ingredientes activos como: Tebuconazol, Azoxystrobin y Boscali, entre otros. Con el fin de promover prácticas sostenibles, mejorar la

productividad y reducir el impacto ambiental y económico de esta enfermedad, el objetivo principal de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de *Trichoderma asperellum*, aceite de girasol ozonizado y aceite de sachá inchi en el nivel de control de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en el cultivo de *Theobroma cacao* L.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se desarrolló en una plantación de cacao del clon CCN51 de 12 años de edad durante el período agosto a diciembre del 2023, en la comunidad Bajo Huino, parroquia Puerto Murialdo, cantón Loreto, provincia Orellana, Ecuador. La finca cacaotera se encuentra en las coordenadas geográficas 0°37'44,56" Latitud Sur y 77°9'28,60" Longitud Oeste, a una altitud de 307 m s. n. m. De acuerdo con las zonas de vida natural de Holdridge (1978) y el mapa ecológico del Ecuador, es una zona de bosque húmedo tropical (b.h.T.), con precipitación anual de 2.542 mm, temperatura media de 24,2 °C y humedad relativa de 87,81 % (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2023).

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA): modelo lineal con 9 tratamientos (Tabla 1) y 3 repeticiones. Las unidades experimentales fueron 27 parcelas, de 144 m² acorde a lo sugerido por Pilaloa *et al.* (2021) cada una con 9 plantas de cacao del clon CCN51. Previo al establecimiento del ensayo se realizó control mecánico de malezas (Motoguadña Sthil FS 150), podas fitosanitarias, de mantenimiento y producción. De acuerdo a Pico *et al.* (2019b), 15 días después de las podas se aplicó fertilización edáfica a dosis de 150 g planta⁻¹ de MixPac Cacao Producción (17 % N - 3,4 % P₂O₅ - 27 % K₂O - 3 % MgO - 2 % S - 1 % Ca - 1 % Si).

Se realizaron 4 aplicaciones de fungicidas biológicos y químico (Tabla 1) a intervalos de 15 y 21 días, de acuerdo a Mbarga *et al.* (2014), Peñaherrera *et al.* (2020) y Avilés *et al.* (2023) bajo condiciones de un sistema agroforestal de clima tropical. Se mantuvo un flujo constante de aspersión de 1,1 L min⁻¹ (Bomba *Shindaiwa ES726*) mojando el tronco, hojas, frutos y ramas desde el suelo hasta 3 metros, a partir de las 15:00 horas durante la temporada de floración y fructificación (Peñaherrera *et al.*, 2020; Soto *et al.*, 2022).

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el nivel de control de moniliasis en mazorcass de cacao

Tratamientos	Productos	Dosis	Método de control	Sugerido por:
T1	<i>Trichoderma asperellum</i>	2x10 ⁶ UFC		(Hanada <i>et al.</i> , 2009)
T2	Aceite de girasol ozonizado	2,5 mL L ⁻¹	Biológico	(Yáñez <i>et al.</i> , 2023)
T3	Aceite de sachá inchi	2,5 mL L ⁻¹		(Bustamante-Morales <i>et al.</i> , 2023)
T4	Sulfato de cobre pentahidratado	1,5 mL L ⁻¹ (270 g L ⁻¹ IA)	Químico	(El Salous <i>et al.</i> , 2020)
T5	<i>Trichoderma asperellum</i>	2x10 ⁷ UFC		(Hanada <i>et al.</i> , 2009)
T6	Aceite de girasol ozonizado	5 mL L ⁻¹	Biológico	(Yáñez <i>et al.</i> , 2023)
T7	Aceite de sachá inchi	5 mL L ⁻¹		(Bustamante-Morales <i>et al.</i> , 2023)
T8	Sulfato de cobre pentahidratado	2,5 mL L ⁻¹ (270 g L ⁻¹ IA)	Químico	(El Salous <i>et al.</i> , 2020)
T9	Testigo absoluto	-	-	-

Incidencia

Se calculó dividiendo el número de mazorcass infectados entre el número total de mazorcass de cada árbol evaluado y multiplicando el resultado por 100, de acuerdo a la Ecuación 1 propuesta por (Anzules *et al.*, 2019):

$$NI = [MD/MT] * 100 \quad (1)$$

Donde:

NI = Porcentaje de incidencia

MD = Número de mazorcass dañadas

MT = Número de mazorcass totales

Severidad

Se evaluó mediante la estimación visual de la extensión del daño causado por la enfermedad en las mazorcass de cacao. Se asignaron categorías de severidad a cada mazorca por árbol evaluado según la escala de clasificación de síntomas adaptado por Ruiz *et al.* (2020) y Torres-Rodriguez *et al.* (2024) (Tabla 1), y fue calculada con la ecuación 2 propuesta por Townsend y Heuberger (1943):

$$SE = [(1(n) + 2(n) + 3(n) + 4(n) + 5(n)) / (V * N)] * 100 \quad (2)$$

Donde:

SE = Porcentaje de severidad

n = Número de mazorcass que se clasifican en el rango de escala propuesta.

v = Valor de la escala propuesta para evaluar el daño del patógeno (1, 2, 3, 4, 5).

N = Número total de mazorcass evaluados.

V = Valor de la categoría más alta.

Tabla 2. Escala de clasificación de síntomas para evaluar la severidad de moniliasis en mazorcas de cacao

Valor	Interna (% de almendras afectas)	Externa (clasificación de síntomas)
0	0	Fruto sano
1	1-20	Presencia de puntos aceitosos
2	21-40	Presencia de tumefacción y/o madurez prematura
3	41-60	Necrosis sin esporulación
4	61-80	Necrosis más esporulación en un área menor de la cuarta parte de la superficie necrótica
5	> 81	Necrosis más esporulación en un área mayor de la cuarta parte de la superficie necrótica

Fuente: Ruiz *et al.* (2020) y Torres-Rodríguez *et al.* (2024)

Eficacia

La eficacia de los tratamientos fue estimada con el porcentaje de incidencia de moniliasis, de acuerdo a la Fórmula 3 propuesta por Abbott (1925) (Leiva *et al.*, 2020):

$$E = ((FIWo - FIW)/FIWo) * 100 \quad (3)$$

Donde:

E = Eficacia de los tratamientos (%)

FIWo = Incidencia final sin aplicación (Testigo)

FIW = Incidencia final con aplicación (Tratamientos)

Análisis de datos

Se verificó la normalidad de los datos y homogeneidad de varianza de cada variable mediante el test de Shapiro-Wilk y el test Bartlett (Torres-Rodríguez *et al.*, 2024). Posteriormente, se realizó el análisis de varianza (ANOVA-unidireccional) y para la comparación del promedio entre los tratamientos se utilizó el test de Tukey ($p\text{-value} < 0,05$). Los gráficos y análisis estadísticos se realizaron con el software R versión 4.3.1 (R Core Team, 2024). Además, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (Rho) entre la incidencia, severidad y variables meteorológicas (Torres-de la Cruz *et al.*, 2020).

Resultados

En este estudio, los porcentajes de incidencia (Figura 1) y severidad (Figura 2) de moniliasis en las mazorcas de cacao evidencian el avance progresivo de la enfermedad a lo largo del tiempo, alcanzando valores superiores al 37 % y 27 % respectivamente, al final del ensayo. Este incremento de la enfermedad se debe a que las condiciones climáticas de la región Amazónica donde se desarrolló el experimento favorecieron el desarrollo y la patogenicidad del fitopatógeno.

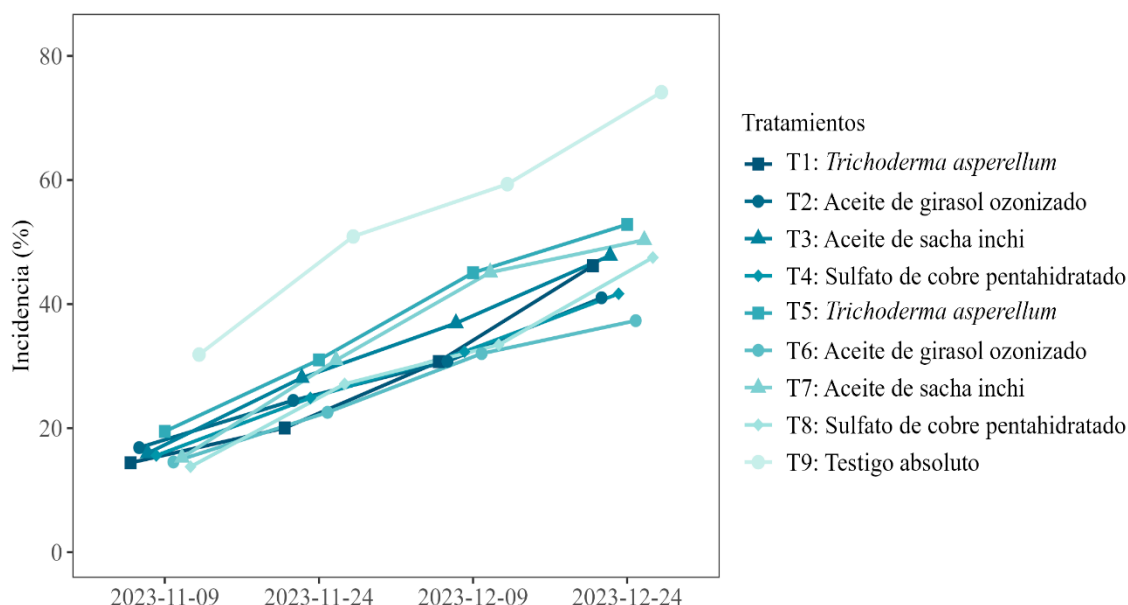


Figura 1. Efecto de los tratamientos en la incidencia de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en el cultivo de cacao

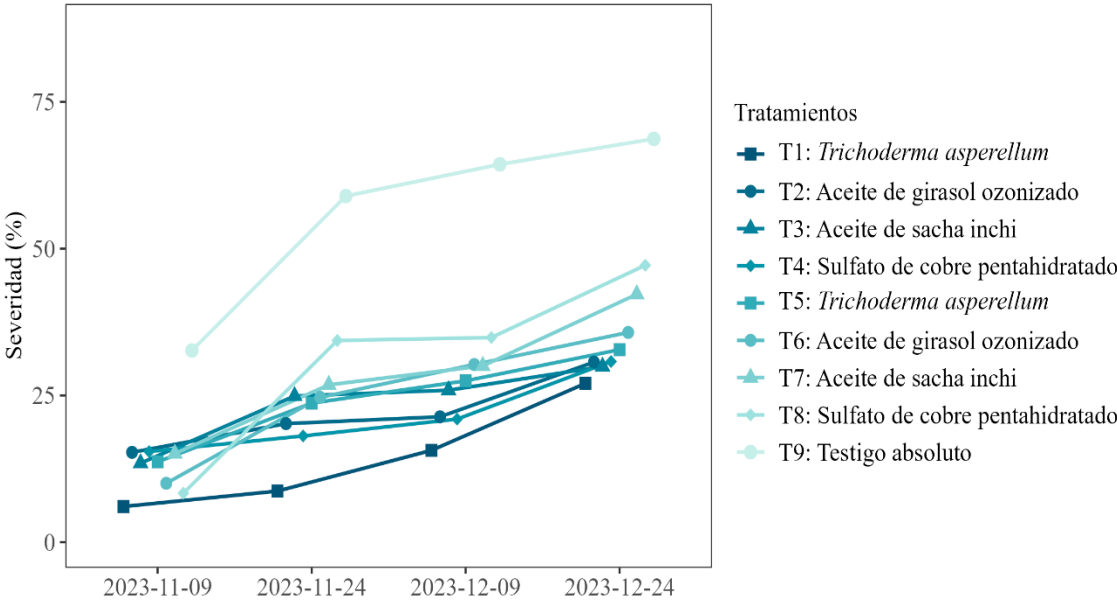


Figura 2. Efecto de los tratamientos en la severidad de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en el cultivo de cacao

Tabla 3. Porcentaje de incidencia de los tratamientos evaluados en el nivel de control de moniliasis en el cultivo de cacao

Tratamientos	Incidencia (%)									
	0		15		30		45		60	
T1 ²										
<i>Trichoderma asperellum</i>	39,97 ±1,81	a ¹	14,40 ±2,93	a	20,02 ±2,08	a	30,71 ±5,12	a	46,18 ±7,47	a
2x10 ⁶ UFC										
T2										
Aceite de girasol ozonizado	42,25 ±4,33	a	16,85 ±0,81	a	24,46 ±4,82	ab	30,75 ±3,13	a	41,01 ±1,94	ab
2,5 mL L ⁻¹										
T3										
Aceite de sachá inchi	49,56 ±3,74	a	15,95 ±2,86	a	28,10 ±1,32	ab	36,90 ±5,45	a	47,81 ±4,25	ab
2,5 mL L ⁻¹										
T4										
Sulfato de cobre pentahidratado	38,88 ±4,60	a	15,58 ±2,84	a	24,86 ±0,81	ab	32,32 ±0,49	a	41,66 ±1,88	ab
1,5 mL L ⁻¹										
T5										
<i>Trichoderma asperellum</i>	43,79 ±2,45	a	19,45 ±3,48	a	31,00 ±5,55	b	45,04 ±7,23	ab	52,84 ±9,47	b
2x10 ⁷ UFC										

T6										
Aceite de girasol ozonizado	34,16 ±3,66	a	14,53 ±1,11	a	22,54 ±0,71	ab	32,01 ±2,16	a	37,32 ±3,46	a
5 mL L ⁻¹										
T7										
Aceite de sachá inchi	46,45 ±2,60	a	15,25 ±2,21	a	30,94 ±2,72	b	45,10 ±6,49	ab	50,32 ±2,34	b
5 mL L ⁻¹										
T8										
Sulfato de cobre pentahidratado	46,74 ±4,33	a	13,77 ±2,88	a	27,11 ±1,30	ab	33,43 ±4,76	a	47,50 ±4,64	ab
2,5 mL L ⁻¹										
T9										
Testigo Absoluto	46,33 ±3,69	a	31,85 ±2,84	b	50,89 ±6,33	c	59,33 ±13,10	b	74,15 ±3,24	c
Pr(>F)	0,336		0,0000115***		0,00000124***		0,000813***		0,0000135***	
CV %	13,48		11,90		9,81		13,25		8,22	
D. Stand	7,51		2,08		2,83		5,08		4,00	

¹Letras iguales indican medidas no significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5 %. ²Frecuencia de aplicación cada 15 días: T1, T2, T3, T4; y cada 21 días: T5, T6, T7, T8.

Incidencia de moniliasis

Previo a la aplicación de los tratamientos se realizó la evaluación inicial de incidencia de moniliasis, obteniendo valores que oscilaban entre el 34,16 % y el 46,74 %. Se realizó la verificación de normalidad de datos mediante el test de Shapiro-Wilk para cada evaluación, los *p-values* obtenidos fueron los siguientes: 0,05 a los 15 días, 0,59 a los 30 días, 0,27 a los 45 días y 0,37 a los 60 días. Asimismo, para la homogeneidad de la varianza mediante el test Bartlett, los *p-values* obtenidos fueron: 0,72 a los 15 días, 0,14 a los 30 días, 0,31 a los 45 días y 0,19 a los 60 días.

El porcentaje de incidencia de moniliasis en las mazorcas de cacao se evidenció un efecto estadísticamente significativo para tratamientos después de las aplicaciones según el test de Tukey al 5 % (Tabla 3). Por consiguiente, se observó que el T1 y T6 durante las evaluaciones a los 15, 30 y 45 días tuvieron un efecto positivo con porcentajes de incidencia inferiores en relación a los otros tratamientos, destacando el T6 al final del ensayo (Tabla 3). Sin embargo, el T8 en los primeros 15 días tuvo un efecto favorable versus el resto de los tratamientos. Por otro lado, los biofungicidas del T2, T3 y T5 mostraron valores de incidencia similares en comparación con el control químico T4 y T8. No obstante, las plantas del T9 que no se les aplicó ningún producto fueron las que mayor incidencia que presentaron desde el inicio hasta el final de las evaluaciones (Tabla 3).

Severidad externa de moniliasis

Las mazorcas de cacao evaluadas presentaron sintomatología

que van desde el grado 0 hasta el grado 5 del progreso de la enfermedad, en relación a la escala propuesta por Ruiz *et al.*, (2020) y Torres-Rodriguez *et al.*, (2024). Previo a la aplicación de los tratamientos se realizó una evaluación inicial de severidad de moniliasis, cuyos valores oscilaron entre el 31,88 % y el 44,58 %. Se verificó la normalidad de datos mediante el test de Shapiro-Wilk para cada evaluación, los *p-values* obtenidos fueron los siguientes: 0,05 a los 15 días, 0,87 a los 30 días, 0,73 a los 45 días y 0,97 a los 60 días. Asimismo, la homogeneidad de la varianza mediante el test Bartlett, los *p-values* obtenidos fueron: 0,74 a los 15 días, 0,55 a los 30 días, 0,36 a los 45 días y 0,71 a los 60 días.

El porcentaje de severidad de moniliasis se encontraron diferencias estadísticamente significativas para tratamientos después de las aplicaciones según el test de Tukey al 5 % (Tabla 4). Por consiguiente, se observó que el T1 durante las evaluaciones a los 15, 30, 45 y 60 días tuvo un efecto positivo del progreso de la enfermedad con valores inferiores en comparación con el resto de los tratamientos (Tabla 4). Por otro lado, los biofungicidas del T2, T3, T5 y T6 mostraron valores de severidad similares en comparación con el control químico T4. Además, el T7 y T8 tuvieron valores altos los 60 días a diferencia de los T1, T2, T3, T4, T5 y T6. Por el contrario, las mazorcas de cacao evaluadas del T9 que no se les aplicó ningún producto, fueron las que mayor progreso de la enfermedad presentaron desde el inicio hasta el final del ensayo (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de severidad de los tratamientos evaluados en el nivel de control de moniliasis en el cultivo de cacao

Tratamientos	Severidad (%)									
	0		15		30		45		60	
T1 ²										
<i>Trichoderma asperellum</i>	32,63 ±1,26	a ¹	6,07 ±5,25	a	8,70 ±5,80	a	15,63 ±3,13	a	27,04 ±6,69	a
2x10 ⁶ UFC										
T2										
Aceite de girasol ozonizado	42,34 ±5,63	a	15,30 ±2,45	a	20,19 ±2,80	ab	21,35 ±3,66	a	30,67 ±4,68	a
2,5 mL L ⁻¹										
T3										
Aceite de sachá inchi	35,90 ±5,46	a	13,45 ±2,07	a	24,90 ±3,76	ab	25,88 ±4,66	a	29,91 ±8,43	a
2,5 mL L ⁻¹										
T4										
Sulfato de cobre pentahidratado	42,15 ±7,80	a	15,43 ±7,71	a	18,09 ±6,17	ab	20,96 ±6,67	a	30,77 ±12,05	a
1,5 mL L ⁻¹										
T5										
<i>Trichoderma asperellum</i>	34,24 ±6,59	a	13,68 ±5,76	a	23,68 ±14,52	ab	27,48 ±14,97	a	32,79 ±14,13	a
2x10 ⁷ UFC										
T6										
Aceite de girasol ozonizado	31,88 ±8,34	a	10,02 ±5,51	a	24,66 ±5,74	ab	30,25 ±2,84	a	35,72 ±8,22	a
5 mL L ⁻¹										
T7										
Aceite de sachá inchi	41,73 ±8,13	a	15,09 ±2,38	a	26,80 ±9,02	ab	30,02 ±10,20	a	42,23 ±4,67	ab
5 mL L ⁻¹										
T8										
Sulfato de cobre pentahidratado	44,58 ±9,61	a	8,34 ±6,17	a	34,36 ±5,47	b	34,85 ±6,01	a	47,17 ±3,72	ab
2,5 mL L ⁻¹										
T9										
Testigo Absoluto	34,82 ±1,82	a	32,65 ±4,18	b	58,97 ±11,15	c	64,37 ±10,47	b	68,70 ±11,96	b
Pr(>F)	0,80		0,00045***		0,00018***		0,000157***		0,0012**	
CV %	23,34		26,46		24,09		21,35		18,58	
D. Stand	11,26		3,82		6,43		6,42		7,12	

¹Letras iguales indican medidas no significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5 %. ²Frecuencia de aplicación cada 15 días: T1, T2, T3, T4; y cada 21 días: T5, T6, T7, T8.

Eficacia

El porcentaje de eficacia entre los tratamientos mostraron diferencias significativas según el test de Tukey al 5 % (Tabla 5), además test de Shapiro-Wilk fue *p-value* 0,86 y el test Bartlett fue *p-value* 0,32. Se obtuvieron valores superiores al 48 % de eficacia en el nivel de control de monilia en los tratamientos T8, T6 y T2. A continuación, le siguieron los tratamientos T7, T3 y T5. Por último, los tratamientos con menor eficacia fueron los T1 y T4.

Tabla 5. Eficacia de los tratamientos en el nivel de control de moniliasis en el cultivo de cacao

Tratamientos	Eficacia (%)		
T1 ² <i>Trichoderma asperellum</i> 2x10 ⁶ UFC	36,53 ±11,85		bc ¹
T2 Aceite de girasol ozonizado 2,5 mL L ⁻¹	48,19 ±3,53		ab
T3 Aceite de sachá inchi 2,5 mL L ⁻¹	40,98 ±7,23		abc
T4 Sulfato de cobre pentahidratado 1,5 mL L ⁻¹	34,23 ±16,81		c
T5 <i>Trichoderma asperellum</i> 2x10 ⁷ UFC	40,56 ±8,90		abc
T6 Aceite de girasol ozonizado 5 mL L ⁻¹	49,36 ±5,47		ab
T7 Aceite de sachá inchi 5 mL L ⁻¹	47,38 ±7,92		abc
T8 Sulfato de cobre pentahidratado 2,5 mL L ⁻¹	51,70 ±2,20		a
Pr(>F)	0,030*		
CV %	14,23		
D. Stand	6,21		

¹Letras iguales indican medidas no significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5 %. ²Frecuencia de aplicación cada 15 días: T1, T2, T3, T4; y cada 21 días: T5, T6, T7, T8.

Correlación

Los análisis de correlación de Spearman (Rho) mostraron la existencia de correlaciones positivas entre la incidencia, severidad, temperatura, humedad relativa y precipitación (Tabla 6). La incidencia mostró una correlación positiva fuerte con la severidad ($r = 0,79$). La incidencia y severidad mostraron una correlación positiva con valores moderados (r

$= 0,31$ y $r = 0,29$) con períodos temperatura mensuales entre 24,85 °C y 26,35 °C. Además, tanto la incidencia como la severidad mostraron correlaciones positivas débiles ($r = 0,11$ y $r = 0,087$) con humedad relativa superior al 82,42 %, de igual manera la precipitación ($r = 0,0064$ y $r = 0,11$) con valores mensuales en octubre 151,87 mm, noviembre 228,32 mm y diciembre 224,55 mm.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Spearman Rho entre la incidencia, severidad, temperatura, humedad relativa y precipitación

Variable	Inciden- cia	Seve- ridad	Tempe- ratura	Hu- medad relati- va	Preci- pita- ción
Incendencia	-				
Severidad	0,79****	-			
Tempera- tura	0,31**	0,29**	-		
Humedad Relativa	0,11	0,087	0,8****	-	
Precipita- ción	0,0064	0,11	0,8****	0,5***	-

*Significancia al 0,05 de probabilidad

Discusiones

Estos resultados demostraron que los biofungicidas aplicados en las plantas de cacao tuvieron un efecto positivo en el control de la moniliasis. Las condiciones ambientales del ensayo favorecieron el desarrollo epidémico del fitopatógeno en las mazorcas de cacao, siendo este efecto más evidente en el testigo absoluto, donde se registraron porcentajes finales de 74,15 % de incidencia y 68,70 % de severidad. Además, se observaron mazorcas con una abundante masa pulverulenta del hongo, evidenciando un alto nivel de esporulación. Peñaherrera *et al.*, (2020) mencionan que la incidencia de moniliasis tiende a reducirse en el tiempo a medida que se acentúa la época seca, lo cual coincide con una disminución de la humedad ambiental a medida que avanza la época sin lluvias. Sin embargo, las condiciones climáticas de la Amazonía Ecuatoriana favorecen a la propagación del fitopatógeno en el cultivo de cacao, principalmente por la influencia de precipitaciones con lluvias frecuentes e intensas durante todo el año, con temperaturas promedio entre 22 °C y 26 °C, y humedad relativa superior a los 80 %, facilitando la germinación de las esporas en las mazorcas de cacao (Plasencia-Vázquez *et al.*, 2022).

Estudios realizados por Villamil *et al.* (2015) reportaron resultados similares, con menores porcentajes de incidencia en los tratamientos con los antagonistas *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. durante las dos primeras semanas, después de la aparición de los síntomas, sin diferencia estadística frente al control. A partir de la tercera semana la incidencia fue del

100 % en todos los tratamientos. Por consiguiente, el menor porcentaje de severidad externa encontraron en los frutos inoculados con el antagonista *Trichoderma* spp. con 66,5 % al final de las evaluaciones.

Pilaloa *et al.* (2021) realizaron el manejo agroecológico de la moniliasis, demostrando que las aplicaciones de fungicidas biológicos *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. combinadas con podas fitosanitarias disminuyen el daño ocasionado por el patógeno, con valores de incidencia entre 3,47 % y 4,77 %, y con valores de severidad del 3 % a los 60 días. Estos resultados fueron obtenidos durante la época seca del sitio de estudio. Soto *et al.* (2022) mencionan que las aplicaciones de *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis* rociados en árboles de cacao a intervalos de 30 días mostraron reducción de la infección por moniliasis con 14,9 % de incidencia final, logrando un aumento en el peso promedio de mazorcas entre 6,9 kg a 8,4 kg.

Peñaherrera *et al.* (2020) evaluaron la eficacia de mezclas de *Trichoderma* spp. y aceite de palma, sus resultados indicaron que las aplicaciones combinadas de aceite de palma + *Trichoderma koningiopsis* + *Trichoderma stromaticum* y aceite de palma + *Trichoderma ovalisporum* potencian la capacidad de biocontrol de moniliasis con porcentajes del 50,27 % y 41,68 %, superando al fungicida hidróxido de cobre que alcanzó el 26 % de eficacia. En consecuencia, estas mezclas incrementan el rendimiento y beneficio económico del cacao.

Leiva *et al.* (2020) evaluaron cepas nativas de *Trichoderma* spp., destacando su potencial antagónico, de antibiosis y micoparasitismo. Las cepas CP10-3, CP53-2, CP24-6 y CP38-2 mostraron mayor control biológico bajo condiciones de campo, con eficiencias entre 38,99 % y 71,9 % en Copallín, y entre 45,88 % y 51,16 % en La Peca, localidades de la Provincia de Bagua de la región Amazónica de Perú.

El efecto del antagonista *Trichoderma asperellum* se explica porque es un antagonista natural de moniliasis, y sus especies producen más de 40 metabolitos diferentes capaces de inhibir varios microorganismos fitopatógenos, siendo el micoparasitismo uno de los mecanismos que utilizan el hongo donde se ven implicadas enzimas extracelulares como quitinasas, celulasas, β -1-3-glucanasas y proteasas que lisan o digieren las paredes de los hongos en su caso la enfermedad *Moniliophthora roreri* (Carrera-Sánchez *et al.*, 2016; González *et al.*, 2023; López-Ferrer *et al.*, 2017).

Las aplicaciones con aceite de ozonizado de girasol en las plantas de cacao CCN51 tuvieron mejor efecto en el nivel de control moniliasis respecto a los demás productos, además se observó floración en abundancia y mayor cuajado del fruto. Yáñez *et al.* (2023) evaluaron el efecto de dosis de 5 y 7 mL L⁻¹ de Agrozol en variedades de *Delphinium* sp. en variables morfo-fisiológicas, demostrando efectos favorables en el crecimiento, área foliar, mayor altura y diámetro del tallo de las flores.

Hakim-Rodríguez *et al.* (2022) señalan que la actividad antimicrobiana de los aceites ozonizados se debe a la acción de compuestos peroxídicos sobre biomoléculas esenciales, como lípidos insaturados y proteínas. Su efecto se atribuye a la presencia de ozónidos, peróxidos y aldehídos, que son citotóxicos para los microorganismos. Estos aceites, especialmente los de oliva y girasol, han demostrado ser efectivos contra bacterias, hongos y virus.

El aceite de sachá inchi tuvo un efecto controlador sobre la moniliasis, con valores similares a las aplicaciones realizadas con *Trichoderma asperellum* y el sulfato de cobre pentahidratado. Stegmayer *et al.* (2021) estudiaron aceites esenciales de plantas nativas contra los siguientes hongos fitopatógenos: *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum acutatum*, *Rhizopus stolonifer*, *Fusarium semitectum* y *Monilia fructicola*, destacando la notable eficacia de *Lippia alba* inhibiendo el 100 % la germinación de esporas a concentración de 1.000 ppm. Piloza *et al.* (2024) evaluaron el efecto antifúngico in vitro contra *Lasiodiplodia theobromae* de aceites esenciales de orégano y tomillo, demostrando los efectos inhibitorios del crecimiento micelial del patógeno a concentraciones de 200, 250, 500 y 1.000 ppm de los aceites evaluados.

Chelaghema *et al.* (2022) evaluaron el efecto de los aceites esenciales citronela, hierba limón y eucalipto rojo, mostrando sus efectos inhibidores sobre el crecimiento, esporulación y producción de micotoxinas sobre *A. flavus*, *A. carbonarius* y *F. verticillioides*. Tucuch-Pérez *et al.* (2021) y Piloza *et al.*, (2024) mencionan que los aceites esenciales son compuestos lipofílicos que atraviesan las membranas celulares e inhiben el crecimiento de patógenos, actuando como biofungicidas. Su actividad antifúngica se debe a la inactivación de los conidios del hongo por sus compuestos volátiles, que afectan la integridad de la membrana fúngica. Además, inhiben la quitina sintasa, enzima clave en la formación de la pared celular del hongo, debilitando su estructura.

Las aplicaciones con sulfato de cobre pentahidratado en el estudio tuvieron un efecto similar al de los productos biológicos en el control de moniliasis, demostrando eficacia mayor al 50 % en el T8. El Salous *et al.* (2020) compararon el efecto de dos fungicidas en el control de los fitopatógenos *Moniliophthora roreri* y *Botryodiplodia theobromae*, demostrando excelentes resultados en dosis de 700 mL CuSO₄/ha y 600 g *Trichoderma harzianum*/ha al obtener menor cantidad de mazorcas enfermas y mayor número de mazorcas sanas. Perez-Ventura y Barrios-Calderon (2022) demostraron que el CuSO₄·5H₂O reducen la infección de roya del café *Hemileia vastatrix*, siendo 2 L ha⁻¹ la dosis más eficaz, con un 7,33 % de infección a los 60 días después de las aplicaciones.

Pilaloa *et al.* (2021) mencionan que las aplicaciones de fungicidas de síntesis química no favorecen la obtención de frutos sanos y su función se basa en inhibir la germinación de las esporas, así como en el desarrollo micelial, inactivando aminoácidos o procesos bioquímicos importantes.

Carrasco-de la Cruz *et al.* (2023) identificaron el efecto antifúngico efectivo del $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 10 μM a nivel de laboratorio, donde no observaron crecimiento micelial del hongo *Moniliophthora roreri*.

González *et al.* (2018) demostraron que los tratamientos orgánicos: ceniza en polvo y ceniza diluida en agua; y los tratamientos químicos: Fossil Shell agro y 290 g kg^{-1} Oxiclورو de Cobre + 120 g de Mancozeb + 40 g de Cymoxanil no mostraron diferencias significativas, registrando incidencias del 18,24 %, 20,44 %, 18,24 % y 18,52 %. Además, mencionan que hubo poca producción de frutos durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre (época seca), lo cual se manifiesta en baja incidencia. Anzules-Toala *et al.* (2021) evaluaron diferentes métodos de control de patógenos en el cultivo de cacao, donde el uso de fungicidas químicos “Chlorothalonil and Pyraclostrobin” más control biológico “*Bacillus subtilis*” disminuyen la incidencia de moniliasis, pudrición negra de la vaina y marchitez del cherelle en el cultivo de cacao. Adicionalmente, las buenas prácticas agronómicas y de fertilización, pueden aumentar los rendimientos y los ingresos económicos de los pequeños agricultores.

La correlación de Spearman (Rho) realizadas entre la incidencia, severidad, temperatura, humedad relativa y precipitación mostraron correlaciones positivas moderadas y débiles durante la investigación. Torres-de la Cruz *et al.* (2020) demostraron que los flujos productivos y eventos climáticos influyen en la estructura epidémica de la moniliasis en frutos de cacao, donde la incidencia anual de frutos con moniliasis se relacionó positivamente con periodos de temperatura de 20 a 26,9 °C ($r = 0,41-0,87$) y con periodos de humedad relativa mayor al 60 % (60-90 % y > 90 %) ($r = 0,35-0,67$) y por la disponibilidad de frutos susceptibles.

Torres-de la Cruz *et al.* (2023) determinaron la influencia del clima, fructificación y la incidencia de la moniliasis en la intensidad epidémica de *Phytophthora capsici*, donde la incidencia se correlacionó positivamente con valores moderados (Rho = 0,41-0,77) de humedad relativa mayor al 90 %, precipitación (Rho = 0,34-0,76), periodos de temperaturas de 20-26,9 °C (Rho = 0,38-0,81). Julca *et al.* (2019) encontraron una correlación positiva entre incidencia y severidad de la “roya del café” en los niveles tercio inferior, medio y superior de la planta, también entre los valores totales de la planta con índices de correlación (r) mayores a 0,8, demostrando que no solo la severidad permite estimar el nivel de ataque de la roya del café, sino también la incidencia.

Conclusiones

Se observó un efecto positivo en el nivel de control de moniliasis en mazorcas de cacao CCN51 mediante la aplicación de aceite de girasol ozonizado, tanto a dosis de 2,5 mL L^{-1} como de 5 mL L^{-1} , con intervalos de aplicación de 15 y 21 días. Estas condiciones promovieron abundante floración,

cuajado de frutos y control efectivo del fitopatógeno.

Los biofungicidas *Trichoderma asperellum*, aceite de sachá inchi y el producto químico sulfato de cobre pentahidratado mostraron una eficacia superior al 40 % en el control de moniliasis, lo que resalta su potencial en estrategias de manejo integrado. Además, se demostró correlación positiva entre la incidencia, severidad y las variables climáticas humedad relativa y temperatura que influyen en la epidemiología de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en las mazorcas de cacao.

Se recomienda estudiar el aceite de sachá inchi aplicando diferentes concentraciones, con el fin de identificar la dosis efectiva en la inhibición del patógeno. Además, realizar controles culturales cada 20 días y rotar las aplicaciones de control biológico con fungicidas de diferentes mecanismos de acción en el manejo integrado de la moniliasis en cacao.

Este estudio evidencia que los biofungicidas son una alternativa efectiva y sostenible frente a los fungicidas químicos convencionales en el manejo de moniliasis en cacao, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y amigables con el ambiente. Su aplicación en campo puede fortalecer la producción cacaotera, especialmente en los sistemas de manejo agroecológico.

Referencias bibliográficas

- Abad-Sánchez, M. L., Alvarado-Aguayo, A. A. y Gallardo-Campoverde, A. (2018). Análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao CCN-51, en el cantón La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(1), 20-30. <https://doi.org/10.53591/cna.v12i1.271>
- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Anzules, V., Borjas, R., Alvarado, L., Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2019). Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* ‘CCN-51’. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 511-520. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08>
- Anzules-Toala, V., Pazmiño-Bonilla, E., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2021). Control of cacao (*Theobroma cacao*) diseases in Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 45939. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45939>
- Avilés, D., Espinoza, F., Villao, L., Alvarez, J., Sosa, D., Santos-Ordóñez, E. y Galarza, L. (2023). Application of microencapsulated *Trichoderma* spp. against *Moniliophthora roreri* during the vegetative development of cocoa. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 539-547. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.045>

- Bustamante-Morales, K., Custode-Pérez, A., Herrera-Reyes, S., Jaramillo-Aguilar, E. y Barrezueta-Unda, S. (2023). Potencial antifúngico de extractos de plantas y aceites esenciales contra *Fusarium incarnatum*. *Polo del Conocimiento*, 8(10), 534-551. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6140/15501>
- Carrasco-de la Cruz, T. P., Olivo-Vidal, Z. E., Sánchez-Peregrino, J. A. y Mendoza-Lorenzo, P. (2023). Evaluación del efecto antifúngico del sulfato de cobre (II) pentahidratado en *Moniliophthora roreri*. *Journal of Basic Sciences*, 9(25), 8-18. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/6133>
- Carrera-Sánchez, K., Herrera Isla, L., Díaz Castellanos, M. y Leiva-Mora, M. (2016). Micobiota asociada a frutos de cacao con síntomas de moniliasis en la amazonía ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43(1), 48-54. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n1/cag07116.pdf>
- Chelaghema, A., Durand, N., Servent, A., Mamouni, M., Pouchet, P., Schorr-Galindo, S., Fontana, A. y Strub, C. (2022). Antifungal and antimycotoxic activities of 3 essential oils against 3 mycotoxinogenic fungi. *Archives of Microbiology*, 204(8), 504. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03115-1>
- Correa Álvarez, J., Castro Martínez, S. y Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta agronómica*, 63(4), 388-399. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.42747>
- El Salous, A., Marcillo García, J. J., Gómez Vargas, J. A. y Martínez Alcívar, F. R. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(3), 368-380. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/33375>
- González López, G. C., Quevedo Guerrero, J. N. y García Batista, R. M. (2018). Alternativas orgánicas para el control de monilia (*Moniliophthora roreri*, Cif. y Par) en el cultivo de cacao. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 56-62. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/194>
- González, M. F., Galarza, L., Valdez, L. L. y Quizhpe, G. M. (2023). Antifungal activity of metabolites from *Trichoderma* spp. against *Fusarium oxysporum*. *Bionatura*, 8(2), 1-9. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.7>
- Hakim-Rodríguez, D., Guerra-Collazo, G., Cordero-Hernández, M. E., Cabrera-Pérez, C., Veliz-Lorenzo, E., Fernández García, L. A. y Cima Sotolongo, G. (2022). Obtención y caracterización de aceite de girasol y oliva ozonizados. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 53(2), 369-382. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2221-24422022000200369&script=sci_arttext
- Hanada, R. E., Pomella, A. W. V., Soberanis, W., Loguercio, L. L. y Pereira, J. O. (2009). Biocontrol potential of *Trichoderma martiale* against the black-pod disease (*Phytophthora palmivora*) of cacao. *Biological Control*, 50(2), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.04.005>
- Holdridge, L. R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. <https://books.google.com.ec/books?id=oXufTpUKUb4C>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2024*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., Alvarado Huamán, L., Julca Vera, N., Castro Cepero, V. y Bello Amezcua, S. (2019). Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú. *Journal of Science and Research*, 4(4), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>
- Leiva, S., Oliva, M., Hernández, E., Chuquibala, B., Rubio, K., García, F. y Torres de la Cruz, M. (2020). Assessment of the potential of *Trichoderma* spp. strains native to Bagua (Amazonas, Peru) in the biocontrol of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*). *Agronomy*, 10(9), 1376. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091376>
- López-Ferrer, U. D. C., Brito-Vega, H., López-Morales, D., Salaya-Domínguez, J. M. y Gómez-Méndez, E. (2017). Papel de *Trichoderma* en los sistemas agroforestales-cacaotales como un agente antagonista. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 91-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93950595003>
- Mbarga, J. B., Begoude, B. A. D., Ambang, Z., Meboma, M., Kuate, J., Schiffers, B., Ewbank, W., Dedieu, L. y Ten Hoopen, G. M. (2014). A new oil-based formulation of *Trichoderma asperellum* for the biological control of cacao black pod disease caused by *Phytophthora megakarya*. *Biological Control*, 77, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.06.004>
- National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Prediction of worldwide energy resources*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Peñaherrera Villafuerte, S., Cedeño García, G., Solórzano Alcívar, F., Cedeño-García, G. y Terrero Yépez, P. (2020). Eficacia de mezclas de *Trichoderma* spp. y aceite de palma en el manejo de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en cacao. *Centro Agrícola*, 47(2), 5-15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000200005

- Perez-Ventura, L. Y. y Barrios-Calderon, R. D. J. (2022). Pentahydrated copper sulphate $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ at different doses for control of *Hemileia vastatrix* berk & broome. *Journal of Applied Biotechnology and Bioengineering*, 9(4), 113-118. <https://doi.org/10.15406/jabb.2022.09.00297>
- Pico, J. T, Paredes, N. J., Subía, C. R., Suárez, C. W., Caicedo, C. E. y Fernández, F. M. (2019a). Efecto de prácticas de manejo sobre la incidencia de *Moniliophthora roreri* (Cif & Par) y rendimiento en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). En Caicedo, C., Díaz, A., (Eds). Memorias del Primer Simposio Internacional Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía Ecuatoriana (pp. 1-11). INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5565>
- Pico, J. T., Paredes, N. J., Moncayo, L., Calderón, D., Lima, L. F., Fernández, F. M., Sabando, G. A., Chimbo, P. P. y Caicedo, C. E. (2019b). Manejo integrado de la monilia [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par)] en el cultivo de cacao en La Joya de los Sachas. En Caicedo, C., Díaz, A., (Eds). Memorias del Primer Simposio Internacional Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía Ecuatoriana (pp. 49-52). INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5570>
- Pilaloa, W. D., Alvarado Aguayo, A., Pérez Vaca, D. y Torres Sánchez, S. (2021). Manejo agroecológico de la moniliasis en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) mediante la utilización de biofungicidas y podas fitosanitarias en el cantón La Troncal. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(15), 70-85. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.129>
- Pilozo, G., Villavicencio-Vásquez, M., Chóez-Guaranda, I., Vera Murillo, D., Duarte Pasaguay, C., Tomalá Reyes, C., Maldonado-Estupiñán, M., Ruiz-Barzola, O., León-Tamariz, F. y Manzano, P. (2024). Chemical, antioxidant, and antifungal analysis of oregano and thyme essential oils from Ecuador: Effect of thyme against *Lasiodiplodia theobromae* and its application in banana rot. *Heliyon*, 10(10), e31443. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31443>
- Plasencia-Vázquez, A. H., Vilchez-Ponce, C. R., Ferrer-Sánchez, Y. y Veloz-Portillo, C. E. (2022). Efecto del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo *Moniliophthora roreri* y el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1151>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (4.3.1). <https://www.r-project.org/>
- Ruiz Parrales, Y., Crespo Alvarez, S. I. y Flores Arteaga, L. (2020). Manejo técnico de la monilla "*Moniliophthora roreri*" en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en el recinto Cuatro Esquinas. *Revista Pertinencia Académica*, 4(5), 347-358. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4593664>
- Soto Chochocca, R. R., Gonzales Avila, E., Fernandez Rojas, J. H., Angeles Suazo, J. M., Huamán De La Cruz, A. R. y Hadi Mohamed, M. M. (2022). Antifungal effect from *Zingiber officinale*, *Aloe vera* and *Trichoderma* sp. for control of *Moniliophthora roreri* in *Theobroma cacao* in Huánuco, Peru. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(1), 9823-9830. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179970815007>
- Stegmayer, M. I., Fernandez, N. L., Álvarez, N. H., Olivella, L., Gutiérrez, H. F., Favaro, M. A. y Derita, M. G. (2021). Aceites esenciales provenientes de plantas nativas para el control de hongos fitopatógenos que afectan a frutales. *FAVE ciencias agrarias*, 20(1), 317-329. <https://doi.org/10.14409/fa.v20i1.10273>
- Torres-de la Cruz, M., Gaspar-Génico, J. Á., Pérez-de la Cruz, M., Acencio-Castillo, N., Mora-Aguilera, G. y Ortiz-García, C. F. (2023). Climate, fruiting and frosty pod rot influence the epidemic intensity of *Phytophthora capsici* in cacao plantations in Mexico. *Revista mexicana de fitopatología*, 41(1), 26-44. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092023000100026
- Torres-de la Cruz, M., Mora-Aguilera, G., Ortiz-García, C. F., de la Cruz-Pérez, A. y Gaspar-Génico, J. A. (2020). Flujos productivos determinan la estructura epidémica de la moniliasis del cacao en el sureste de México. *Revista fitotecnica mexicana*, 43(4), 421-431. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.431>
- Torres-Rodriguez, J. A., Ramos-Remache, R. A., Reyes-Pérez, J. J., Quinatoa-Lozada, E. F. y Rivas-García, T. (2024). Silicon as a biostimulant in cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivation and biological control agent for *Moniliophthora roreri*. *Revista Terra Latinoamericana*, 42, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1817>
- Towsend, G. R. y Heuberger, J. W. (1943). Methods for estimating losses caused by disease in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter*, 27(17), 340-343. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=725513>
- Tucuch-Pérez, M. A., Bojórquez-Vega, J. J., Arredondo-Valdes, R., Hernández-Castillo, F. D. y Anguiano-Cabello, J. C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2), 1-8. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2745>
- Villamil Carvajal, J. E., Viteri Rosero, S. E. y Villegas Orozco, W. L. (2015). Aplicación de antagonistas microbianos para el control biológico de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en *Theobroma cacao* L. bajo condiciones de campo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7441-7450. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47830>

Yáñez Villacís, J. J., Valle Naranjo, G. D., Veloz Naranjo, W. O., Ati Tamayo, J. D. y Leiva-Mora, M. (2023). Evaluación del efecto de diferentes combinaciones de dosis de Agrozol y variedades de *Delphinium* sp. sobre variables morfo-fisiológicas. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(1), 191-203. <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/427>



Producción de variedades y clones de café (*Coffea canephora*) en condiciones subtropicales de Guasaganda – Ecuador

Production of coffee varieties and clones (*Coffea canephora*) under subtropical conditions in Guasaganda - Ecuador

Oscar Joel Moreira Angulo¹ , Ricardo Augusto Luna Murillo¹ , Ana Lucia Espinoza Coronel² , Veronica Alexandra Chuquitarco Esmeraldas¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

²Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Ecuador.

Autor de correspondencia: ricardo.luna@utc.edu.ec

Recibido: 09/02/2025. Aceptado: 13/06/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

Coffea canephora, conocido como café robusta, es una especie importante en la industria mundial del café, valorada por su contenido de cafeína y su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas. La Universidad Técnica de Cotopaxi – Ecuador a través del proyecto “Fomento a la Producción Integral del Cultivo de Café en la Provincia de Cotopaxi”, evaluó la producción de variedades y clones de café robusta (*Coffea canephora* P) bajo condiciones subtropicales en la parroquia Guasaganda provincia de Cotopaxi –Ecuador en el centro experimental Sacha Wiwa. Se establecieron dos lotes experimentales, el lote 1 con las variedades Ecorobusta, Napopayamino y Conirolón y el lote 2 con los clones COF-06; COF-01; COF-02; EET-375611; NP-2024; NP-3051. Cada lote se estudió de forma diferente, en un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones, para el análisis de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% de probabilidad. Las variedades y clones se evaluaron en las épocas lluviosa y seca, de los años 2022 y 2023. En el lote 1 la variedad con mayor producción fue Ecorobusta con 9.121,78; 17.548,39 y 13.979,12 g/planta; En el lote 2 los clones que sobresalieron en época lluviosa y seca y lluviosa fue COF-06 con 535,50 y 53.010,00 g/planta y el clon EET-375611 con 6.842,50 y 16.071,00 g/planta. Estas variedades y clones se han adaptado a las condiciones agroclimáticas de la zona por lo que se recomienda divulgar entre los agricultores.

Palabras clave: Rendimiento, cultivo, épocas, agroecosistema.

Abstract

Coffea canephora, known as robusta coffee, is an important species in the world coffee industry, valued for its caffeine content and its adaptability to diverse climatic conditions. The Technical University of Cotopaxi - Ecuador through the project “Promotion of Integral Coffee Production in the Province of Cotopaxi” evaluated the production of varieties and clones of robusta coffee (*Coffea canephora* P) under subtropical conditions in the parish of Guasaganda, province of Cotopaxi - Ecuador in the experimental center Sacha Wiwa. Two experimental lots were established, lot 1 with the varieties Ecorobusta, Napopayamino and Conirolón and lot 2 with the clones COF-06; COF-01; COF-02; EET-375611; NP-2024; NP-3051. Each lot was studied differently, in a randomized complete block design (DBCA) with four replications, for the analysis of means the Tukey’s multiple range test was used at 5 % probability. The varieties and clones were evaluated in the rainy and dry seasons of 2022 and 2023. In lot 1, the variety with the highest production was Ecorobusta with 9,121.78, 17,548.39 and 13,979.12 g/plant; in lot 2, the clones that stood out in the dry and rainy seasons were COF-06 with 535.50 and 53,010.00 g/plant and clone EET-375611 with 6,842.50 and 16,071.00 g/plant. These varieties and clones have adapted to the agroclimatic conditions of the area, so it is recommended to disseminate them among farmers.

Keywords: Yield, crop, seasons, agroecosystem.

Introducción

El café es uno de los productos de origen vegetal de mayor valor económico del mundo y se cultiva en más de 80 países, alcanzando una superficie de producción de más de 10,2 millones de hectáreas en regiones tropicales y subtropicales (Campuzano-Duque y Wohlgemuth Blair, 2022). El café robusta fue descubierto en África a fines del siglo XIX, creciendo de manera silvestre en las zonas tropicales de Guinea y El Congo. Se introdujo a Ecuador en 1943 a través de la Estación experimental Tropical Pichilingue del INIAP, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, proveniente del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) comenzando su producción desde la década de 1950 (COFENAC, 2012).

Se han identificado 104 especies del género *Coffea* siendo las especies: robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) y arábica (*Coffea arabica* L.) las de mayor importancia para los ecuatorianos desde las perspectivas económicas, social, ambiental y de salud humana, en esta última se relaciona el consumo de café con la salud ya que está probado que el consumo muestra correlación inversa con el riesgo de diabetes, daño hepático y enfermedades neurodegenerativas (Motato-Alarcón *et al.*, 2018; Preedy y Patel, 2025).

En relación al café robusta (*Coffea canephora* P.) se distinguen tres grupos genéticos o genotipos principales: Congolensis, Conilón y Guinensis, esta especie se caracteriza por su mayor resistencia a enfermedades mayor contenido de cafeína y mejor adaptación a zonas de menor altitud en comparación con el café arábica. El tipo Congolensis fue introducido en 1951, constatándose una alta diversidad entre y dentro de los clones. En Ecuador y América Latina se cultivan los cafés Congolensis y Conilón, los cuales han demostrado una excelente adaptación a las condiciones edafoclimáticas locales (Chilán- Villafuerte *et al.*, 2025).

Se reporta que el café robusta es una especie alógama, que se caracteriza por la autoincompatibilidad, por tanto, las poblaciones que se derivan por polinización libre tienen una alta variabilidad fenotípica (morfología) y genotípica (diversidad). La selección de árboles “cabeza de clon” se define como la planta seleccionada por sus características fenotípicas que se aproximan al “ideotipo” del cultivar deseable. Un clon también puede referirse a una mezcla de plantas obtenidas por reproducción asexual, que en sentido estricto se trataría de una población policlonal (Duicela-Guambi *et al.*, 2020).

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021) en el Informe de rendimientos de café grano oro 2021 se estableció que la producción de café robusta a nivel nacional fue 0,71 t/ha, teniendo a las variedades robusta con 53 % (0,58 t/ha); Conilón con 33 % (0,88 t/ha); Napo payamino con 12 % (0,67 t/ha) y Pepon con 2 % (0,72 t/ha), la provincia de Cotopaxi registró un rendimiento de 0,03 t/ha. Para el año 2023 la producción fue de 0,19 t/ha con un total de 31,90 ha, registrándose el mes de julio con el 53,33 % de la producción

(SIPA, 2024).

Debido a los fuertes problemas que atraviesa el sector cafetalero como el ataque de roya, broca, falta de asistencia técnica, falta de semillas certificadas entre otros, la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ) junto a diversas Universidades e Institutos de Educación Superior está desarrollando investigaciones debido a que en el Ecuador el café robusta podría ser una alternativa para incrementar la producción del café dadas las características sensoriales excepcionales y la resistencia a enfermedades (Tezara Fernández *et al.*, 2020).

En este contexto, la Universidad Técnica de Cotopaxi a través de su proyecto Fomento a la Producción Integral del Cultivo de Café en la Provincia de Cotopaxi” busca impulsar la producción de café robusta en la región. Para ello, se evaluó variedades y clones de *Coffea canephora* (café robusta) en condiciones subtropicales de Guasaganda-Ecuador, buscando determinar su potencial productivo y adaptabilidad a esta zona específica, contribuyendo así a la base de conocimiento necesaria para el desarrollo cafetalero local.

Materiales y métodos

El trabajo de adaptación y producción de siete variedades de café robusta (*Coffea canephora*) se realizó en el Centro Experimental Sacha Wiwa ubicado entre las coordenadas geográficas WGS84 de 0° 47' 46" latitud S; 79° 09' 31" longitud W, a una altitud de 500 m s.n.m en la parroquia Guasaganda del cantón La Maná en la provincia de Cotopaxi. Los datos de temperatura y precipitación se describen en la Figura 1.

Las variedades y clones de café se encontraban distribuidas en dos lotes, el lote 1 con una extensión de 1.984 m² donde se encuentran 216 plantas de las variedades Napo payamino, Ecorobusta y Conilón, el lote 2 con una extensión de 2.800 m² se mantienen 260 plantas de los clones COF-06, COF-01, COF-02, NP-2024, NP-3051 y EET-375611 con una edad promedio de cuatro años desde el momento de la siembra. Todas las plantas del lote 1 y 2 durante sus fases de crecimiento y desarrollo fueron tratadas con abonos orgánicos foliares y edáficos, mezclas nutricionales de fertilizante inorgánico con la finalidad de cubrir los requerimientos nutritivos y tener plantas vigorosas y de buena producción. Para el análisis de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5 % de probabilidad, empleando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2020). Los periodos evaluados fueron la época lluviosa (enero-mayo) y seca (junio-noviembre) de los años 2022 y 2023, la variable que se evaluó fue producción de grano maduro (cereza) por época y total.

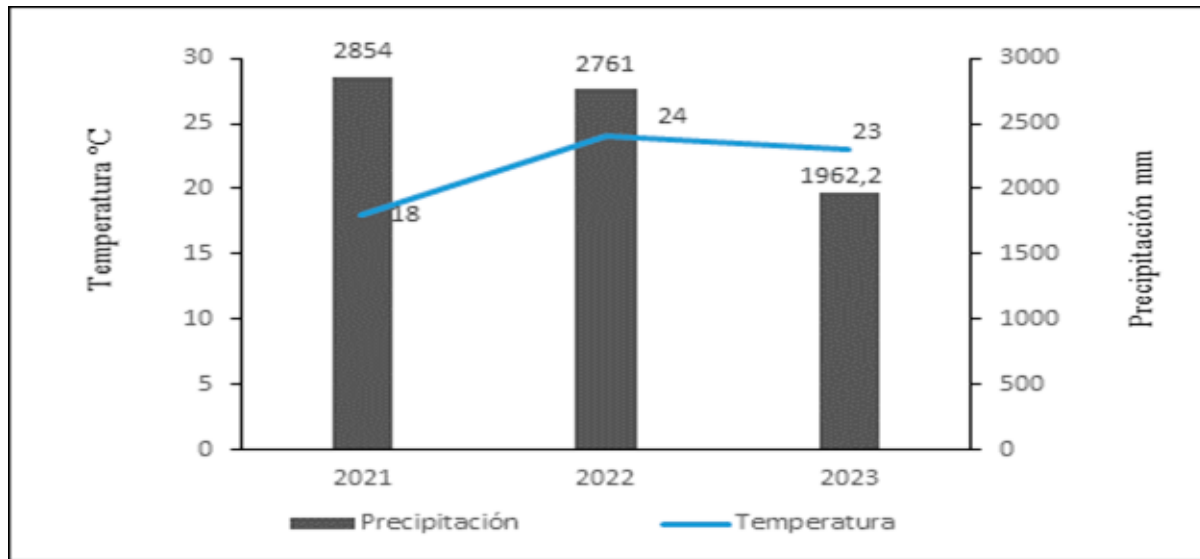


Figura 1. Temperatura promedio (°C) y precipitación (mm/año) del Centro Experimental Sacha Wiwa Guasaganda-La Maná-Cotopaxi- Ecuador.

Tabla 1. Análisis de suelo del lote 1 en la producción de variedades de café (*Coffea canephora*) en el centro experimental Sacha Wiwa

Descripción	2022 ¹			2023 ²	
	Valores e interpretación				
pH	5,40 Ac RC	5,60 Me AC	5,60 Me AC	5,40 Acido	5,10 Acido RC
Materia orgánica (%)	5,50 A	4,60 M	3,80 M	3,0 0 M	5,70 A
NH4 mg/kg	10,00 B	13,00 B	11,00 B	11,00 B	40,00 M
P mg/kg	12,00 M	6,00 B	3,00 B	12,00 M	10,00 M
K meq/100 mL	0,10 B	0,13 B	0,09 B	0,15 B	0,23 M
Ca meq/100 mL	3,00 B	3,00 B	4,00 M	2,00 M	3,00 B
Mg meq/100 mL	0,90 B	0,90 B	0,60 B	1,40 M	0,90 B
S mg/kg	8,00 B	8,00 B	8,00 B	7,00 B	51,00 A
Zn mg/kg	0,90 B	0,50 B	1,10 B	1,60 B	1,90 B
Cu mg/kg	6,50 A	8,30 A	5,80 A	7,70 A	7,20 A
Fe mg/kg	264,00 A	316,00 A	33,00 M	129,00 A	279,00 A
Mn mg/kg	0,30 B	1,50 B	1,80 B	2,90 B	3,40 B
B mg/kg	0,25 B	0,40 B	0,26 B	0,32 B	0,18 B
Ca/Mg	3,30	3,30	6,60	1,40	3,30
Mg/K	9,00	6,92	6,67	9,33	3,91
Ca+Mg/K	39,00	30,00	51,11	22,67	16,96

Clase textural: Franco arenoso

Análisis de suelo: ¹diciembre 2021 – febrero 2022; ²abril 2022 – febrero 2023

Ac RC=Ácido requiere cal; Me AC= Medianamente ácido; A= Alto; M= Medio; B= Bajo

Resultados y discusión

Durante la producción de café en la época lluviosa y seca se monitoreó el suelo para conocer el estado de macro y micronutrientes, donde se notó que el pH inició con 5,40 ácido con requerimiento de cal y al final se redujo a 5,10; la materia orgánica se mantuvo alta, los elementos como NH_4 , fósforo, potasio, calcio, magnesio se mantuvieron entre bajo y medio, los microelementos zinc, manganeso y boro se mantuvieron bajos, hierro y cobre presentaron valores altos (Tabla 1).

En el lote 2 se muestreo el suelo y se evidencio que en su gran mayoría el suelo presentaba un pH de mediamente ácido con rangos de 5,60 a 5,99, la materia orgánica se encontraba en rangos de media y baja, los macroelementos primarios y secundarios presentaban valores entre medios y bajos, los

microelementos como hierro y cobre presentaban valores altos (Tabla 2).

La variedad Ecorobusta en la época lluviosa y seca 2022 y seca 2023 presentó los mayores valores con 9.121,78 g (0,14 t/ha); 17.548,39 g (0,26 t/ha) y 13.979,12 g (0,21 t/ha). La variedad Conilón reportó el mayor valor en la época lluviosa 2023 con 6.087,53 g (0,13 t/ha), estos valores son inferiores a los mencionado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021) quien en el informe de rendimiento de café grano oro para Ecuador menciona a robusta con 0,58; Conilón 0,88 y Napo payamino 0,67 t /ha, mientras que Toapanta-Añarumba *et al.* (2023) reporto valores para Napo payamino de 0,26 t /ha, Ecorobusta 3,25 t /ha y Conilón 2,42 t /ha, al emplear diferentes niveles de fertilización inorgánica-orgánica (Tabla 3) y (Figura 2).

Tabla 2. Análisis de suelo del lote 2 en la producción de variedades de café (*Coffea canephora*) en el centro experimental Sacha Wiwa

Descripción	2022 ¹				2023 ²			
	Valores e interpretación							
pH	5,90 Me AC	5,4 Ac RC	5,80 Me AC	5,60 Me AC	5,76 Me AC	5,65 Me AC	5,99 Me AC	5,80 Me AC
Materia orgánica (%)	4,00 M	4,60 M	4,60 M	3,80 M	3,82 M	2,50 B	3,43 B	2,40 B
NH4 mg/kg	12,00 B	19,00 B	17,00 B	14,00 B	18,70 B	12,90 B	19,99 B	8,00 B
P mg/kg	6,00 B	6,00 B	5,00 B	7,00 B	2,79 B	2,19 B	1,99 B	39,00 A
K meq/100 mL	0,18 B	0,17 B	0,15 B	0,14 B	0,30 M	0,26 M	0,10 B	0,39 M
Ca meq/100 mL	3,00 B	3,00 B	4,00 M	3,00 B	2,00 B	2,00 B	2,00 B	8 ,00 M
Mg meq/100 mL	0,90 B	0,80 B	1,00 B	0,90 B	0,45 B	0,38 B	0,44 B	3,00 A
S mg/kg	19,00 M	15,00 M	11,00 M	14,00 M	14,67 M	25,31 A	14,67 M	5,00 B
Zn mg/kg	0,60 B	0,50 B	0,40 B	0,30 B	1,20 B	5,50 M	5,30 M	4,30 M
Cu mg/kg	11,20 A	9,80 A	9,70 A	10,20 A	5,00 A	3,80 M	4,80 A	26,60 A
Fe mg/kg	374,00 A	385,00 A	375,00 A	339,00 A	279,1 A	182,00 A	196,20 A	170,00 A
Mn mg/kg	2,00 B	2,20 B	1,80 B	2,00 B	8,30 M	5,50 M	4,40 B	11,70 M
B mg/kg	0,38 B	0,38 B	0,39 B	0,34 B	0,24	0,26 M	0,45 M	0,43 B
Ca/Mg	3,30	3,70	4,00	3,30	4,44	5,25	4,55	2,60
Mg/K	5,00	4,71	6,67	6,43	1,50	1,46	4,40	7,69
Ca+Mg/K	21,67	22,35	33,33	27,86	8,17	9,15	24,4	28,21

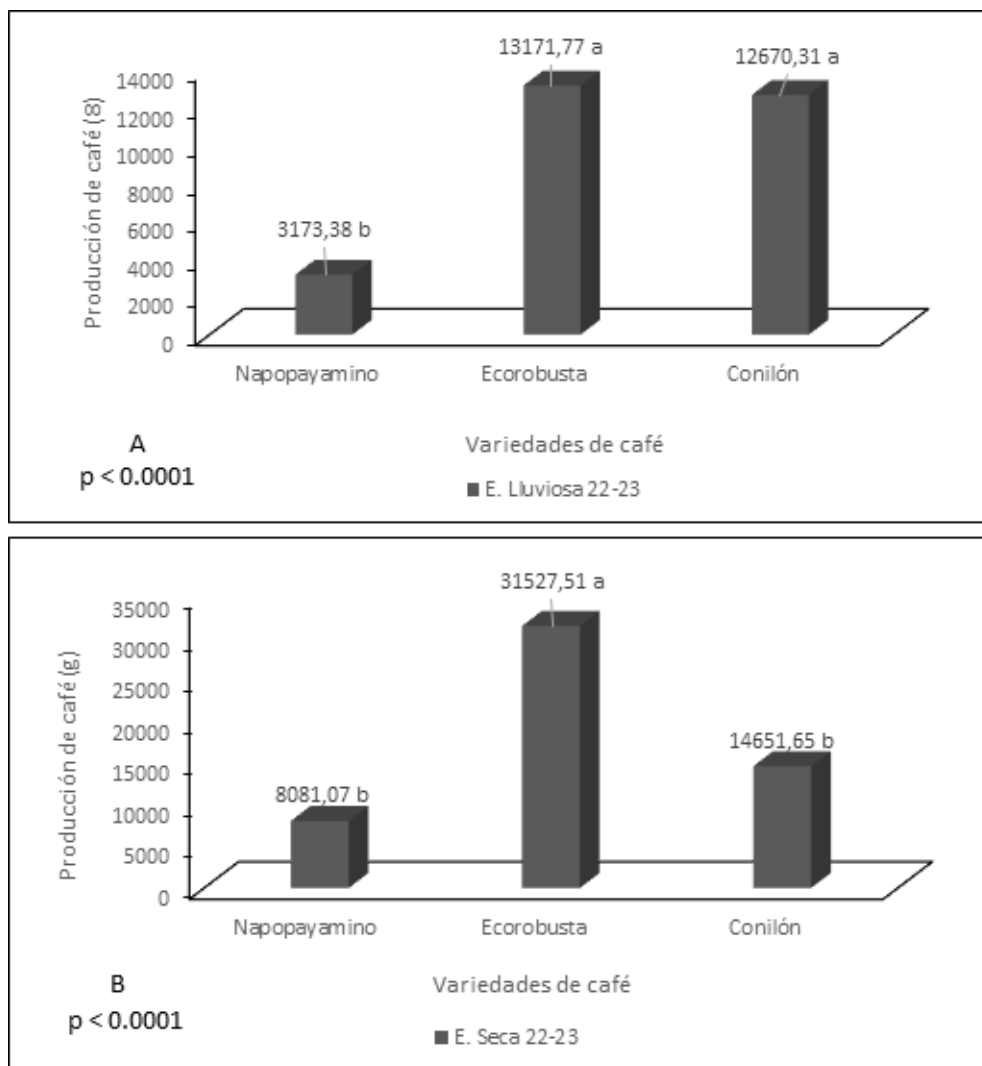
Clase textural: Franco arenoso

Análisis de suelo: ¹diciembre 2021 – febrero 2022; ²abril 2022 – febrero 2023

Ac RC=Ácido requiere cal; Me AC= Medianamente ácido; A= Alto; M= Medio; B= Bajo

Tabla 3. Producción de variedades de café robusta (g) lote 1 durante la época lluviosa y seca durante los años 2022-2023 en el centro experimental Sacha Wiwa

Variedades de café	Época			
	2022		2023	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Napopayamino	1.322,89 b	3.520,67 b	2.091,67 b	4.795,48 b
Ecorobusta	9.121,78 a	17.548,39 a	4.049,99 ab	13.979,12 a
Conilón	6.582,78 a	6.977,00 b	6.087,53 a	7.674,65 b
<i>p</i> -valor	0,0001	<0,0001	0,0175	0,0032
Promedio	5.675,81	9.348,69	4.149,70	9.074,13

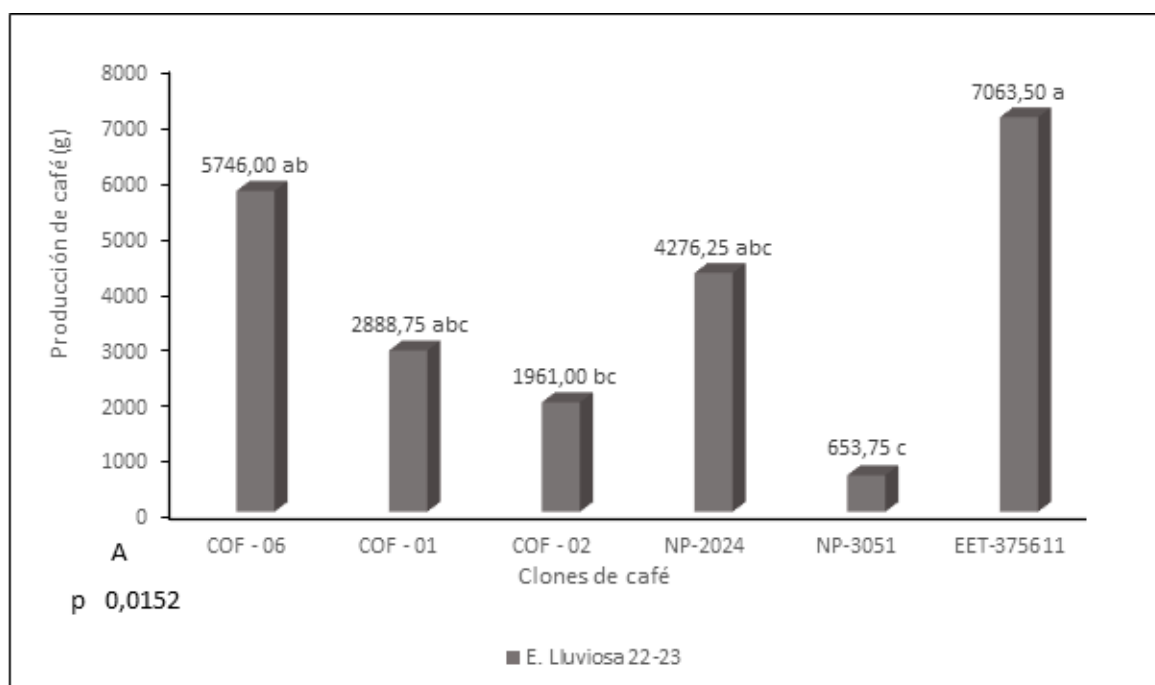
**Figura 2. Producción total de variedades de café robusta (g) lote 1 durante las épocas lluviosa (A) y seca (B) de los años 2022 -2023 en el centro experimental Sacha Wiwa**

El clon COF-06 presenta la mayor producción tanto en la época lluviosa como en la época seca del año 2022 con 535,50 g (0,01 t/ha) y 53.010,00 g (0,96 t/ha), para el año 2023 el clon EET-375611 presenta los mayores en la época lluviosa y seca con valores con 6.842,50 g (0,23 t/ha) y 16.071,00 g (0,54 t/ha) con un promedio general de todos los clones evaluados de 6.592,35 g valor superior al reportado Plaza Avellán *et al.* (2015) al evaluar las características fenotípicas del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. De la misma forma Arzube *et al.*

(2017) al evaluar clones de café robusta con rendimientos de 4,20 t/ha en la provincia de Santa Elena, así Tomalá (2017) encontró que el clon NP- 2024 reportó una producción de 1,16 t/ha en su estudio análisis económico de la producción de café robusta. Al analizar la producción kg/planta se pudo observar que los clones COF-01 presenta 1,97; COF-02 con 1,57 y NP2024 con 1,51 kg/planta valores que son inferiores a los reportados por Zambrano- Flores *et al.* (2018) que obtienen 7,95 a 13,80 kg de café (Tabla 4) y (Figura 3).

Tabla 4. Producción de clones de café robusta (g) lote 2 durante la época lluviosa y seca durante los años 2022-2023 en el centro experimental Sacha Wiwa

Clones de café	Época			
	2022		2023	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
COF-06	535,50 a	53.010,00 a	5.210,50 ab	7.450,50 b
COF-01	107,50 b	12.204,00 a	2.781,25 ab	3.978,50 b
COF-02	271,00 ab	7.508,75 a	1.690,00 b	3.529,75 b
NP-2024	227,00 ab	9.624,75 a	4.049,25 ab	4.329,00 b
NP-3051	143,75n b	1.644,75 b	510,00 b	1.601,75 b
EET-375611	221,00 ab	26.114,00 a	6.842,50 a	16.071,00 a
p-valor	0,009	0,0521	0,0218	0,0003
Promedio	253,68	17.645,32	3.211,32	5.259,09



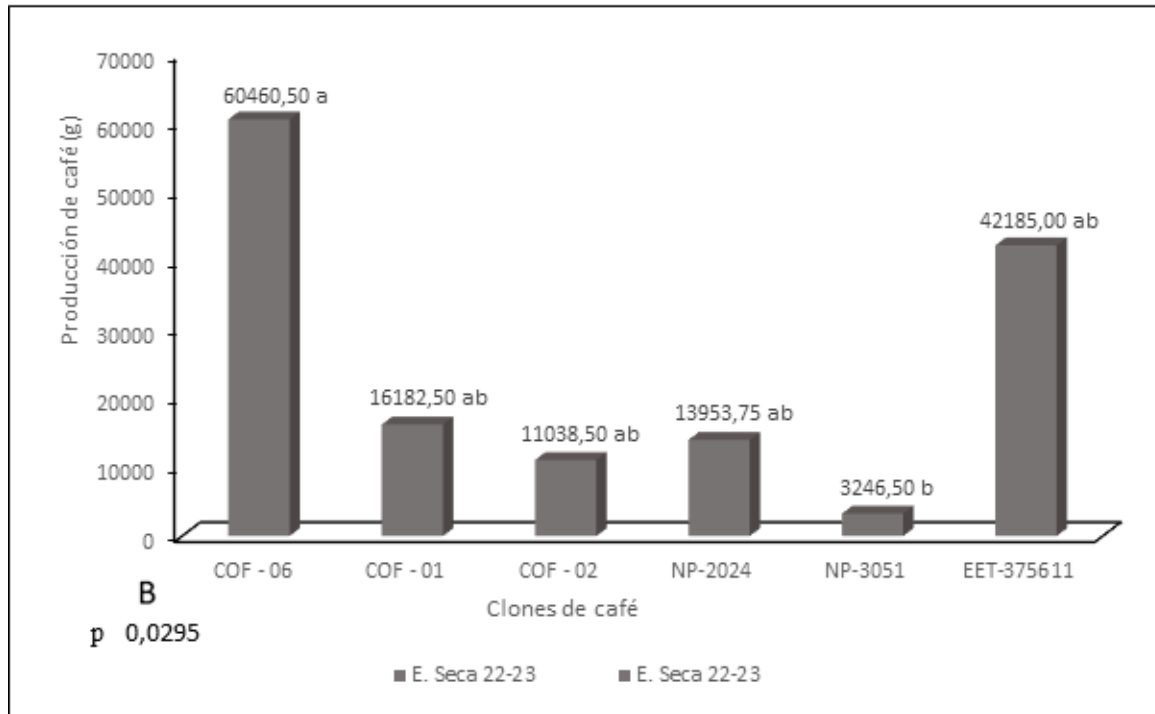


Figura 3. Producción total de clones de café robusta (g) lote 2 durante las épocas lluviosa (A) y seca (B) de los años 2022 -2023 en el centro experimental Sacha Wiwa

Conclusiones

En las condiciones subtropicales de Guasaganda - La Maná (Ecuador), la variedad Ecorobusta demostró una productividad superior en comparación con Napopayamino y Conilón. En cuanto a los clones de café evaluados sobresalieron los materiales COF-06 y EET-375611 por su alto rendimiento. Es importante destacar que, tanto en variedades como en clones, la mayor producción se concentró durante la época seca.

Agradecimiento

Se deja constancia del agradecimiento a la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ), a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná - Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales con el proyecto “Fomento a la producción integral del cultivo de café en la provincia de Cotopaxi”.

Referencias bibliográficas

- Arzube Mayorga, M., Orrala Borbor, N., León Mejía, Ángel. y Ramírez Flores, L. (2017). Comportamiento productivo de clones de café robusta (*Coffea canephora* P) en Manglaralto, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(1), 34-38. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/237>
- Campuzano-Duque, L. y Wohlgemuth Blair, M. (2022). Estrategias para el mejoramiento del café robusta (*Coffea canephora*) como nuevo cultivo en Colombia. *Agriculture*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture12101576>
- Chilán Villafuerte, W., Duicela Guambi, L., Pinargote Alonso, P. y Salcedo Benítez, J. (2025). Competitividad de los cafés robustas especiales por origen y métodos de beneficio, en Ecuador: 2016-2022. *Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista (DATEH)*, 7(1). <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/982/1468>
- COFENAC. (2012). Mejoramiento genético y desarrollo de tecnologías para la producción de café robusta, en el trópico seco del litoral ecuatoriano. Consejo Cafetalero Nacional, Dublinsa, Portoviejo.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). InfoStat verisón 2020 Centro de transferencia. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infobostat.com.ar>
- Duicela Guambi, L., Guamán Aguilar, J., Farfán Talledo, D. y Chilán Villafuerte, W. (2020). Poscosecha y calidad del café robusta. Calceta, cantón Bolívar, Manabí: Humus. <https://reducafe.com/wp-content/uploads/2022/08/Libro-Poscosecha-y-calidad.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021). Informe de rendimientos de café grano oro. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). https://fliphtml5.com/ijia/npaz/Informe_de_rendimientos_objetivos_de_caf%C3%A9_2021/
- Motato-Alarcón, N., Orrala-Borobor, N., Castro, L. y Duicela-Guambi, L. (2018). Plan de Investigación y Desarrollo Cafetalero: Café, Caficultura y Caficultores. Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ), Manta.
- Plaza Avellán, L., Loor Solórzano, R., Guerrero Castillo, H. y Duicela Guambi, L. (2015). Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 6(1), 7-13. https://revistasespam.eslam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/90/73
- Preedy, V. y Patel, V. (2025). *Coffee In Health and Disease prevention* (2ª ed.). Elsevier Inc. https://elsevier-books-eproof.tnq.co.in/ECOMPS/0d7cb741646b711c6096681861295769/PREEDY_9780443138690.pdf
- SIPA. (2024). Rendimientos objetivos de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador, Quito. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/informe-de-rendimientos-objetivos/rendimiento-de-cafe>
- Tezara Fernández, W., Mendoza Cortez, P., Loyaga Guerrero, W., Reynel Chila, V. y Bolaños Ortega, M. (2020). Capacidad fotosintética de 15 clones de café robusta (*Coffea canephora*) en Esmeraldas, Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 11(2), 57-67. https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.206
- Toapanta Añarumba, J., Quinatoa Lozada, E., Luna Murillo, R. y Macías Pettao, R. (2023). Producción de café (*Coffea canephora* P) en el subtrópico ecuatoriano en respuesta a diferentes niveles de fertilización inorgánica-orgánica. *Revista Multidisciplinar Ciencia Latina*, 7(1), 2750-2761. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4623
- Tomalá, J. (2017). *Análisis económico de la producción de café robusta (Coffea canephora P) en el centro de prácticas Manglaralto a partir del primer año de producción*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena] <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/3961/UPSE-TAA-2017-0005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zambrano-Flores, F., Loor-Solorzano, R., Plaza-Avellán, L., Jaimez-Arellano, R., Guerrero- Castillo, H., Casanova-Mendoza, T., López, D. y Rodríguez-Zamora, G. (2018). Relación entre productividad y calidad integral del grano en selecciones avanzadas de café robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador. *Agrociencia*, 52(4), 593-607. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1691/1691>



Producción de café robusta (*Coffea canephora*) con reciclaje de biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca

Production of coffee robusta (*Coffea canephora*) with biomass recycling from three forage species during the dry season

Argenis Ariel Franco Vera¹, Alexis Fernando Torres Moreira¹, Ricardo Augusto Luna Murillo², Gregorio Humberto Vásconez Montufar³

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

²Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFE)

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: ricardo.luna@utc.edu.ec

Recibido: 09/02/2025. Aceptado: 15/06/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

En Ecuador, la producción de café robusta es clave para pequeños agricultores gracias a los microclimas favorables. En el centro experimental Sacha-Wiwa (provincia de Cotopaxi), se evaluó la producción de los cultivares Napo payamino, Ecorobusta y Conilón durante la época seca, usando biomasa reciclada de forrajeras mucuna (*Mucuna pruriens*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*). Se aplicó un diseño experimental en bloques completos al azar y se midió la producción cada 30 días hasta los 150 días. El cultivar Ecorobusta obtuvo la mayor producción (143,88 kg/10 plantas), destacando el uso de kudzu como forrajera, con 128,88 kg/10 plantas. Además, se mantuvieron los niveles de nutrientes en el suelo. El estudio concluye que el uso de forrajeras, especialmente kudzu, mejora el rendimiento del café y la fertilidad del suelo.

Palabras clave: Rendimiento, cultivares, suelo, materia orgánica.

Abstract

In Ecuador, Robusta coffee production is key for small farmers thanks to favorable microclimates. At the Sacha-Wiwa experimental center (Cotopaxi), the production of the Napo payamino, Ecorobusta, and Conilón cultivars was evaluated during the dry season, using recycled biomass from mucuna (*Mucuna pruriens*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*), and golden button (*Tithonia diversifolia*) forage crops. A randomized complete block experimental design was applied, and production was measured every 30 days up to 150 days. The Ecorobusta cultivar obtained the highest production (143,88 kg/10 plants), highlighting the use of kudzu as a forage plant, with 128,88 kg/10 plants. In addition, adequate nutrient levels were maintained in the soil. The study concludes that the use of forage crops, especially kudzu, improves coffee yield and soil fertility.

Keywords: Yield, cultivars, soil, organic matter.

Introducción

El café es uno de los productos agroindustriales más importantes en el comercio internacional, su producción juega un papel sustancial en la economía de muchos países generando fuentes de empleo y produciendo grandes ingresos económicos (Urgiles-Gómez *et al.*, 2023). Las especies de café económicamente significativo son *Coffea arabica* y *Coffea robusta* dentro de las cuales existen múltiples cultivares.

El café robusta (*Coffea canephora*) representa un 30 % de la producción mundial como menciona López Torres (2024), se adapta bien a las zonas tropicales húmedas y subhúmedas del país, puede sembrarse en cualquier mes del año, lo que ha facilitado su rápida expansión en la costa y oriente ecuatoriano, se caracteriza por su sabor fuerte y menor aroma en comparación con el café arábigo. La cosecha de robusta se realiza durante todo el año con frecuencia mensual (Sotomayor Herrera y Duicela Guambi, 1995; Lindao Cruz, 2016).

La incorporación de leguminosas y forrajeras como abono verde son una fuente de nutrientes al suelo, ha logrado reemplazar parte de la fertilización química, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo. La incorporación de abonos verdes al suelo no es una práctica generalizada sin embargo se postula que su uso podría contribuir a minimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y por ende a reducir los costos de producción, además pueden modificar las propiedades físicas, crear un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces y extracción de nutrimentos (Jiménez-Suárez *et al.*, 2005). Las leguminosas y forrajeras tolerantes a sequías integradas como abonos verdes proveen una protección al suelo a procesos erosivos durante la época seca y conservar la humedad del suelo (Castro-Rincon *et al.*, 2018).

El empleo de leguminosas y forrajeras tiene ventajas entre ellas aumentar el aporte de nitrógeno vía fijación biológica y la mejora de la fertilidad del suelo. Estas especies empleadas en los cafetos como una práctica agroecológica están ganando importancia, incrementan la sostenibilidad de los cafetales y disminuye la dependencia de los insumos externos (Bustamante-González *et al.*, 2022).

Con los antecedentes expuestos el estudio se planteó con el objeto de evaluar la producción de las variedades de café

robusta Napo payamino, Ecorobusta y Conilón empleando las forrajeras mucuna (*Mucuna pruriens*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*) durante la época seca como una estrategia de manejo sustentable en la producción de café.

Materiales y métodos

La investigación se ejecutó durante la época seca, en el Centro Experimental Sacha Wiwa, ubicado en el sistema WGS84 entre las coordenadas geográficas de 0° 47' 46" latitud S; 79° 09' 31" longitud W, a una altura de 500 m sobre el nivel del mar, en la parroquia Guasaganda del cantón La Maná en la provincia de Cotopaxi - Ecuador. Las condiciones meteorológicas de mayo a octubre del año 2024 se presentan en la Tabla 1, en donde se observó que la temperatura promedio del ambiente es de 30,54 °C, temperatura del suelo de 26,45 °C, humedad relativa de 93,83 %, humedad del suelo 68,00 % y precipitación de 273,80 mm. (Tabla 1).

La investigación se inició con la limpieza de la zona de estudio y alrededor de las plantas experimentales de café robusta Napo payamino, Ecorobusta y Conilón, se procedió al sorteo de los tratamientos constituidos por la biomasa de plantas forrajeras de mucuna (*Mucuna pruriens*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*), material forrajero obtenido del Jardín de Pastos y Forrajes de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), y cuyo análisis químico de tejido vegetal se reporta en Cedeño Enriquez *et al.* (2024).

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con seis repeticiones, para la estimación del rendimiento el número de observaciones se ajustó a 10 plantas. Para el análisis estadístico, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5 % de probabilidad, mediante el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2020). Se realizaron análisis de suelo y foliar antes y después del experimento en los tres cultivares de café, con el objetivo de determinar los niveles de macro y micronutrientes. La biomasa de las especies forrajeras se aplicó alrededor de las plantas de café en una dosis total de 800 gramos por planta, distribuida en dos aplicaciones de 400 gramos cada una, efectuadas al inicio del experimento (día 0) y a los 30 días.

Tabla 1. Condiciones meteorológicas del Centro Experimental Sacha Wiwa durante el periodo de investigación

Parámetros	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Promedios
Temperatura del ambiente (°C)	30,10	32,20	28,70	29,50	31,40	30,90	30,54
Temperatura del suelo (°C)	26,30	25,90	28,70	25,90	26,20	25,70	26,45
Humedad del ambiente (%)	99,00	99,00	98,00	87,00	91,00	89,00	93,83
Humedad del suelo (%)	80,00	80,00	99,00	60,00	37,00	52,00	68,00
Precipitación (mm)	124,20	75,60	26,40	20,00	7,80	19,80	273,80

Al iniciar la investigación se tomó como referencia los análisis de suelo reportado por Cedeño Enriquez *et al.* (2024) quienes evaluaron la producción de los cultivares de café bajo el efecto del reciclaje de la biomasa de las forrajeras mucuna, kudzu y botón de oro desde octubre 2023 a marzo 2024 (época lluviosa) donde el pH fue de 5,06 a 6,92, la materia orgánica de 5,23 a 9,26 (%); los macronutrientes se mantuvieron entre bajo y alto destacándose el fósforo con 193,35 mg/kg.

Resultados y discusión

Al finalizar la investigación se pudo determinar que el pH del suelo se mantuvo ligeramente ácido para las tres cultivares de café, la materia orgánica y el macro elemento fósforo obtuvieron valores altos a nivel edáfico en donde se encontraba el cultivar Conilón con 9,32 % y 149,69 mg/kg, lo que concuerda con García-Hernández *et al.* (2010) quienes mencionan que la materia orgánica del suelo es una importante fuente de nutrimentos para el desarrollo vegetal que necesitan ser mantenidos para asegurar la fertilidad del suelo (Tabla 2).

La mayor producción de café la obtuvo el cultivar Ecorobusta desde los 30 a los 120 días con 3.387,11 (0,05 t/ha) a 15.789,00 g/10 plantas (0,24 t/ha), a los 150 días el cultivar Conilón alcanzó una producción de 8.414,11 g/10 plantas (0,18 t/ha), valores superiores a los reportados por Cedeño

Enriquez *et al.* (2024) quienes reportaron rendimientos de café de 3.258,78 a 1.900,33 g/10 plantas con el cultivar Ecorobusta y con el cultivar Conilón 2065,33 g/10 plantas.

En relación a las forrajeras el kudzu reporto valores 2.992,44 g/10 plantas (0,05 t/ha) a los 30 días; 11.988,44 g/10 plantas (0,18 t/ha) a los 90 días y 9.795,89 g/10 plantas (0,15 t/ha) a los 150 días, lo que probablemente se debe a que el kudzu favorece las propiedades físicas (retención de agua), químicas (incrementa el contenido de nutrientes) y biológicas (aumentan la biodiversidad de microorganismos) de los suelos (Berdeja- Abreu *et al.*, 2022).

La forrajera mucuna obtuvo a los 120 días 10.598,22 g/10 plantas (0,16 t/ha), esta forrajera tiene auge como fertilizante natural, se ha determinado que, durante la descomposición de la materia vegetal, libera compuestos orgánicos que funcionan como nematocidas, el alto porcentaje de nitrógeno total de la mucuna, su peso seco y producción de materia verde, reportan un aporte de nitrógeno total de 80,91 kg /ha (García-Abarca y Calderón-Cerdas, 2021). Es necesario mencionar que botón de oro (*T. diversifolia*) mantiene una producción intermedia de café, pero dentro de una de sus propiedades esta la capacidad de mejorar las características edáficas (biológicas y físicas) cuando se utiliza como abono orgánico, puesto que aporta nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio presentes en sus hojas (Argüello-Rangel *et al.*, 2019) (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de suelo producción de café robusta (*Coffea canephora*) empleando biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca junio-octubre 2024

Descripción	Napo payamino	Ecorobusta	Conilón
pH	6,40 L. Ac	6,46 L. Ac	6,73 L. Ac
C.E ds/m	0,28 N.S.	0,33 N.S.	0,38 N.S.
Materia orgánica (%)	5,66 A	8,75 A	9,32 A
NH ₄ mg/kg	13,33 B	15,47 B	15,47 B
P mg/kg	82,20 A	99,64 A	149,69 A
K meq/100 mL	0,22 M	0,2 M	0,19 M
Ca meq/100 mL	10,00 M	14,00 M	15,00 M
Mg meq/100 mL	1,41 M	1,99 M	2,03 M
S mg/kg	17,10 M	14,71 M	14,89 M
Zn mg/kg	6,17 M	6,33 M	10,67 M
Cu mg/kg	3,37 M	2,80 M	3,33 M
Fe mg/kg	51,23 A	52,10 A	49,1 M
Mn mg/kg	5,00 M	5,13 M	6,03 M
B mg/kg	0,21 B	0,26 B	0,25 B
Ca/Mg	6,92 A	7,25 A	7,48 A
Mg/K	6,52 O	9,90 O	10,51 O
Ca+Mg/K	51,85 A	80,80 A	88,51 A

L. Ac = ligeramente ácido M.O. = Materia Orgánica; N. S= No salino; A= Alto; B = Bajo; M= Medio; O=Óptimo

La mayor producción total de café se obtuvo con el cultivar Ecorobusta con 143,88 kg/10 plantas y en la forrajera kudzú con 122,88 kg/10 plantas. El uso de abonos verdes de leguminosas tiene el potencial de economizar las necesidades de fertilizante nitrogenado (García-Hernández *et al.*, 2010) (Tabla 4 y Figura 1).

Tabla 3. Producción de café cereza (g/10 plantas) empleando biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca junio-octubre 2024

Factores	Producción (g/10 plantas)				
	Días después de incorporar biomasa forrajera al suelo				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
Variedad					
Napo payamino	303,44 b	1.079,44 b	4.914,56 b	5.781,33 b	5.274,11 a
Ecorobusta	3.387,11 a	6.477,44 a	14.202,22 a	15.798,00 a	8.094,00 a
Conilón	2.927,11 a	3.221,78 ab	13.027,67 a	6.425,78 b	8.414,11 a
p - valor	0,0005	0,0034	0,0011	0,0082	0,423
Forrajeras					
Mucuna	1.620,22 a	2.003,11 b	10.085,33 a	10.598,22 a	6.138,67 a
Botón de oro	2.005,00 a	3.083,11 ab	10.070,67 a	6.914,44 a	5.847,67 a
Kudzú	2.992,44 a	5.692,44 a	11.988,44 a	10.492,44 a	9.795,89 a
p - valor	0,1372	0,0383	0,6115	0,418	0,2587

Tabla 4. Variedades por forrajeras en producción de café cereza (g/10 plantas) empleando biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca junio-octubre 2024

Variedades	Forrajeras	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	Total	Variedades (kg)	Forrajeras (kg)
Napo payamino	Mucuna	181,00	791,33	4.140,00	5.048,00	4.411,33	14571,66	51,06	91,34
	Boton de oro	470,67	1.097,33	3.526,67	4.397,67	2.505,00	11.997,34		82,76
	Kudzú	258,67	1.349,67	7.077,00	7.898,33	7.906,00	24.489,67		122,88
Ecorobusta	Mucuna	2.642,67	2.981,33	15.268,00	19.798,67	6.628,33	47.319,00	143,88	
	Boton de oro	2.812,67	5.076,33	11.915,00	12.503,67	7.739,00	40.046,67		
	Kudzú	4.706,00	11.374,00	15.423,67	15.091,67	9.914,67	56.510,01		
Conilón	Mucuna	2.037,00	2.236,67	10.848,00	6.948,00	7.376,33	29.446,00	102,05	
	Boton de oro	2.731,67	3.075,67	14.770,33	3.842,00	6.299,00	30.718,67		
	Kudzú	4.012,67	4.353,00	13.464,67	8.487,33	11.567,00	41.884,67		

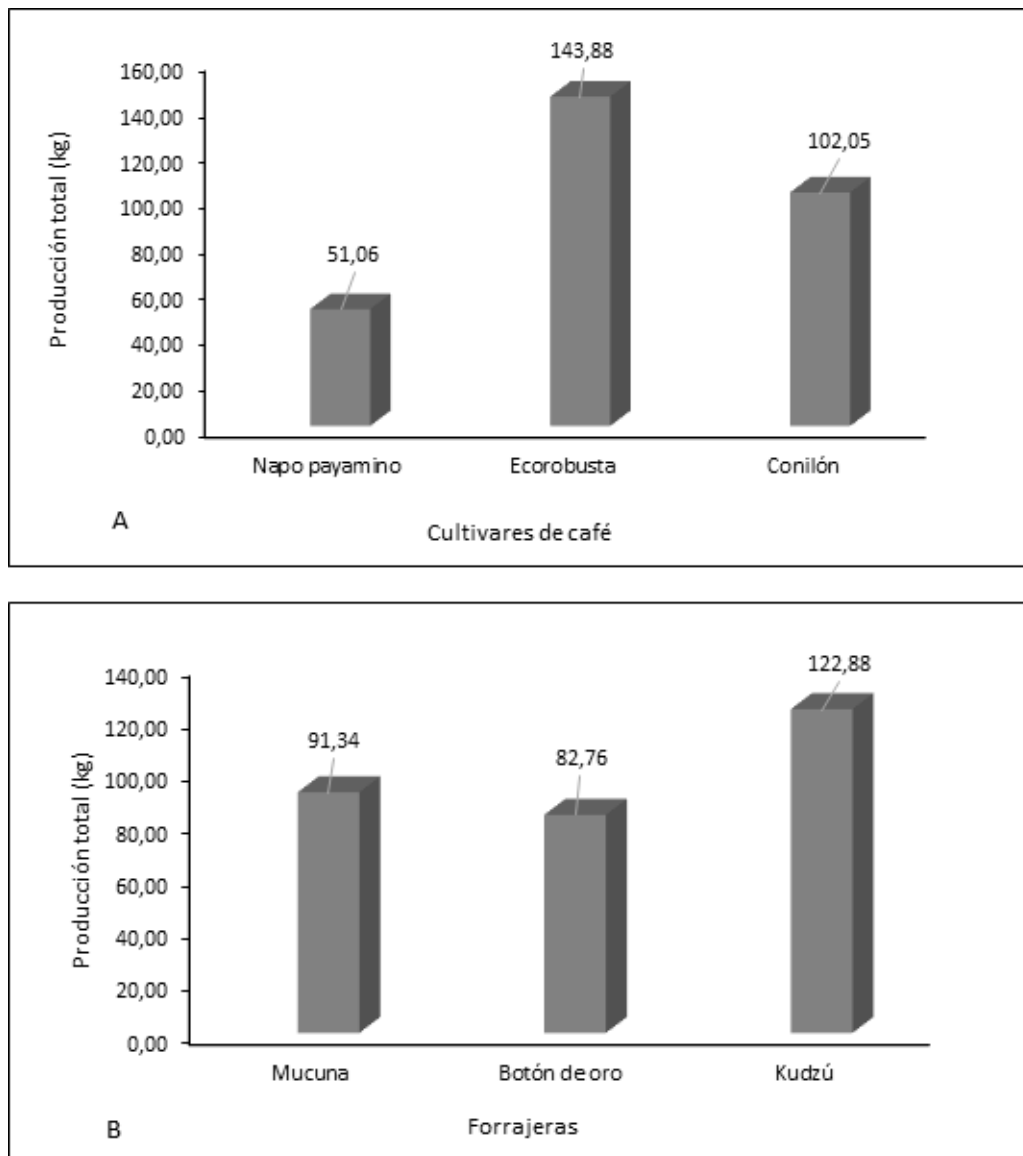


Figura 1. Producción total de café cereza por cultivar (A) y forrajeras (B) durante la época seca junio-octubre 2024

El cultivar de café Ecorobusta con la forrajera kudzú presentaron los mayores valores durante el proceso de investigación, las forrajeras utilizadas como abonos verdes incrementan los contenidos de P asimilable y cationes intercambiables del suelo, así como la absorción de NPK por el cultivo. Las forrajeras mostraron ser una alternativa no sólo de sustitución de fertilizantes minerales, sino de mejora de la fertilidad del suelo e incrementos de los rendimientos (García *et al.*, 2000) (Figura 2).

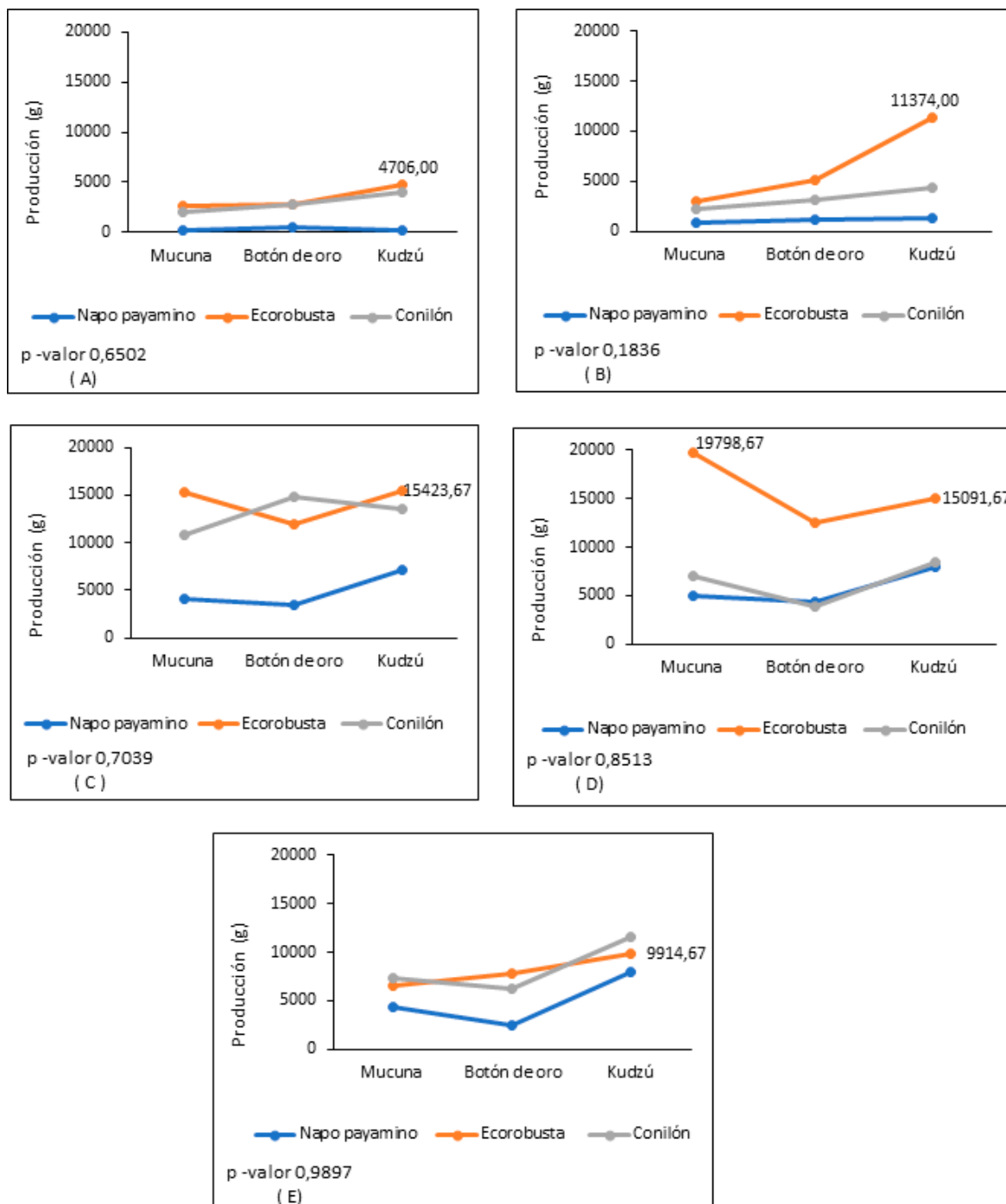


Figura 2. Producción de café a los 30 días (A), 60 días (B), 90 días (C), 120 días (D), 150 días (E) empleando biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca junio-octubre 2024

En el análisis foliar se observó que los valores de nitrógeno calcio, magnesio y azufre aumentaron después de aplicado las forrajeras, los valores para fósforo y potasio disminuyeron levemente, valores que tienen referencia con lo indicado por Sadeghian (2020) donde mencionan los valores críticos para nitrógeno en un rango de 2,56 -2,78 %; fósforo 0,14-0,20 %, potasio 1,58 - 2,15 %; calcio 0,75-1,29 %; magnesio 0,18-

0,45 % y azufre 0,15-0,19 %, lo que permite indicar que el usar las forrajera mejora el estado nutricional de las plantas (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis del tejido vegetal de café robusta (*Coffea canephora*) empleando biomasa de tres especies forrajeras durante la época seca

Descripción	Inicio del experimento			Final del experimento		
	Napo payamino	Ecorobusta	Conilón	Napo payamino	Ecorobusta	Conilón
N (%)	2,23	2,14	2,26	3,20	3,10	2,70
P (%)	0,14	0,16	0,13	0,10	0,12	0,12
K (%)	1,47	1,55	1,42	1,12	1,34	1,25
Ca (%)	0,85	0,88	1,08	1,38	1,74	1,78
Mg (%)	0,23	0,25	0,23	0,29	0,30	0,34
S (%)	0,13	0,15	0,15	0,20	0,24	0,21
Cu (mg/kg)	18,00	23,00	15,00	18,00	26,00	28,00
B (mg/kg)	66,96	87,46	78,35	24,00	26,00	30,00
Fe (mg/kg)	78,00	91,00	57,00	112,00	133,00	87,00
Zn (mg/kg)	16,00	13,00	15,00	9,00	7,00	9,00
Mn (mg/kg)	116,00	43,00	52,00	93,00	62,00	68,00

Conclusiones

La utilización de forrajeras como mucuna (*Mucuna pruriens*), kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*), a través del reciclaje de la biomasa beneficia la producción de café durante la época seca en la provincia de Cotopaxi, donde se observó un mayor rendimiento en el cultivar Ecorobusta utilizando kudzu. Además, el reciclaje de biomasa de estas forrajeras contribuyó al mantenimiento de los niveles de nutrientes en el suelo, asegurando la fertilidad del mismo. Los resultados sugieren que el reciclaje de biomasa de forrajera, especialmente kudzu puede ser una estrategia para mejorar la producción de café en la época seca.

Agradecimiento

A la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ), a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná - Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales con el proyecto “Fomento a la producción integral del cultivo de café en la provincia de Cotopaxi”, al Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) con el proyecto “Sistemas agro-productivos de fabáceas en asociación con cacao y café en un contexto de economía circular para el desarrollo sostenible”.

Referencias bibliográficas

- Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L. y Angulo-Arizala, J. (2019). Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías del trópico bajo Colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 899-915. <https://doi.org/>
- Berdeja-Abreu, R., Méndez-Gómez, J., Escobar-Hernández, R., Pérez- Marroquín, G. y Enríquez-García, F. (2022). Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) una alternativa como abono orgánico en lima Persa. *Agro-Divulgación*, 2(2), 41-44. <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/54/62>
- Bustamante-González, C., Ferrás-Negrin, Y., Hernández-Forte, I. y Rivera-Espinosa, R. (2022). Beneficios del intercambio de canavalia inoculada con hongos micorrízicos y *Rhizobium* in *Coffea canephora*. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2). <https://doi.org/doi:10.15517/am.v33i2.46288>
- Castro-Rincon, E., Mojica-Rodríguez, J. E., Carulla-Fornaguera, J. E. y Lascano-Aguilar, C. E. (2018). Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderos del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43756297016>
- Cedeño Enriquez, S., Moreira Angulo, O., Luna Murillo, R. y Vásconez Montufar, G. (2024). Incorporación de biomasa de tres forrajeras en el suelo de una plantación de café (*Coffea canephora*). *Revista Cinética Multidisciplinaria Pentaciencias*, 6(5), 319-329. <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/1238/1667>
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L. T., Casanoves, F., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). InfoStat versión 2020. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
- García-Hernández, J. L., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Fortis-Hernández, M., Márquez-Hernández, C., Castellanos-Pérez, E., Quiñones-Vera, J. y Avila-Serrano, N. Y. (2010). Avances en investigación y perspectiva

- del aprovechamiento de los abonos en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 391-399. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1222/1447>
- García, M., Treto, E. y Alvarez, M. (2000). Los abonos verdes: Una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. Estudio comparativo de diferentes especies. *Cultivos Tropicales*, 21(1), 5-11. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232232001>
- García-Abarca, E. y Calderón-Cerdas, R. (2021). Influencia de la densidad de siembra sobre producción y desarrollo de mucuna (*Mucuna puriens* L. DC). *Agronomía Costarricense*, 45(2), 103-113. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/47771/47466>
- Jiménez-Suárez, A., Farfán- Valencia, F. y Morales- Londoño, C. (2005). Biomasa seca y contenido de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida*, empleadas como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé*, 56(2), 93-109. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2802%29093-109.pdf>
- Lindao Cruz, K. (2016). Selección preliminar de café robusta (*Coffea canephora* P) con base al rendimiento y características agronómicas deseadas en la zona de Colonche provincia de Santa Elena. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6932>
- López Torres, S. M. (2024). Análisis comparativo de las variedades de café del noroccidente de Pichincha e Intag, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad Regional Autónoma de Los Andes]. <https://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/17645/1/UA-GAS-EAC-003-2024.pdf>
- Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 515, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0515>
- Sotomayor Herrera, I. y Duicela Guambi, L. (1995). Inventario Tecnológico del cultivo de café. Boletín Técnico. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1618/1/Inventario%20de%20caf%2c3%a9.pdf>
- Urgiles-Gómez, N., Loján, P., Ávila-Salem, M., Benavidez-Silva, C., Hurtado, L., Livisaca, F., . . . Quichimbo, L. (2023). Microorganismos benéficos con potencial: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo. *CEDAMAZ*, 13(1), 103-113. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.131>



Evaluación de la perecibilidad en raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad INIAP P-652 mediante la poda previa a la cosecha

Evaluation of perishability in cassava roots (*Manihot esculenta* Crantz) variety INIAP P-652 by pre-harvest pruning

Cristina Marisol Pico Moreira¹, Gema Jamileth Moreira Alcívar¹, Benny Alexander Avellán Cedeño², Wilmer Hernán Ponce Saltos², Daniel Alfredo Leal-Alvarado³, Fernando David Sánchez-Mora¹

¹Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingenierías Agroambientales, Ecuador

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - Estación Experimental Portoviejo, Ecuador

³Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ecuador

Autor de correspondencia: fernando.sanchez@utm.edu.ec

Recibido: 10/02/2025. Aceptado: 28/05/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo de interés para los pequeños agricultores de la provincia de Manabí, por su importancia en la gastronomía ecuatoriana, en la elaboración de alimentos como encebollado, tortillas, muchines, entre otros. Los altos contenidos de almidón de las raíces, está relacionado con el rápido deterioro fisiológico, lo que provoca descomposición y pérdida del contenido nutricional. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la intensidad y tiempo de poda antes de la cosecha, en la variedad INIAP-P 652 “La Rendidora”, determinando variables agronómicas y productivas, así como el contenido de almidón y el período de vida útil de la raíz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo bi-factorial, 2 x 3 + 1 testigo (sin poda), con cuatro repeticiones. La intensidad de poda se realizó mediante el corte del 50 y 75 % del follaje de las plantas, a los 14, 21 y 28 días previo a la cosecha. Las plantas con el tratamiento de intensidad de poda de 50 y 75 %, mostraron síntomas de deterioro al cuarto día, con valores de 13,3 y 3,3 %, respectivamente. El tratamiento con el 75 % de poda a los 28 días mostró síntomas de deterioro al séptimo día, esto en contraste con las plantas testigo que mostraron síntomas al día siguiente de la cosecha. Los resultados sugieren que la poda antes de la cosecha aumenta el periodo de vida útil de las raíces de yuca.

Palabras clave: Deterioro fisiológico, épocas de poda, intensidad de poda, La Rendidora.

Abstract

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is an important crop for small farmers in the province of Manabí, due to its prominence in Ecuadorian cuisine, as is one of the main ingredients in local dishes such as encebollado, tortillas, muchines, and others. The high starch content of its roots is related to rapid physiological deterioration, which causes decomposition and loss of nutritional content. This work aims to evaluate the effects of intensity and time pruning before harvest on variety INIAP-P 652 “La Rendidora”, by determining agronomic and productive variables, as well as starch content and shelf-life of the roots. A randomized complete block design (RCBD) with bi-factorial arrangement, 2 x 3 + 1 control (without pruning), with four replications was used. The pruning intensity was carried out by cutting 50 and 75 % of the foliage on plants at 14, 21 and 28 days before harvest. The plants subjected to the pruning intensity at 50 and 75 % showed deterioration symptoms on the fourth day, with values of 13.3 and 3.3 %, respectively. The treatment with 75 % pruning at 28 showed deterioration symptoms on the seventh day. This contrasts with the control plants, which showed deterioration symptoms the day after the harvest. The results suggest that pruning before harvest increases the shelf-life of cassava roots.

Keywords: Physiological deterioration, pruning time, pruning intensity, La Rendidora.

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) perteneciente a la familia Euphorbiaceae comprende aproximadamente de 7.200 especies que se distinguen por el desarrollo de vasos laticíferos con galactocitos productores de una secreción lechosa. Según Aguilar *et al.* (2017), esta planta es un arbusto perenne originario de Suramérica que prospera en las regiones tropicales y subtropicales de América, Asia y África. En estas zonas, tal como señalan Medina *et al.* (2013) y Uarrota *et al.* (2017), se le conoce comúnmente por diversos nombres como yuca, mandioca, cassava, aipim, macacheira o guacamote. Este cultivo multipropósito tiene múltiples aplicaciones, desde el consumo humano y animal hasta su uso en la industria alimentaria. Sus hojas se aprovechan para la producción de harinas o forrajes, mientras que sus raíces son consumidas frescas o procesadas para obtener almidón, alcohol y bebidas fermentadas (Sotelo y Acevedo, 2012; Folgueras *et al.*, 2012; Cenóz y Burgos, 2012; Fernández y Cerratos, 2017).

Este cultivo tiene un alto valor económico al tener tolerancia a la sequía, capacidad de cosechar en suelos degradados, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a los suelos ácidos, y flexibilidad de siembra y cosecha (Medina *et al.*, 2013). La composición de la yuca juega un papel muy importante en cuanto a su valor nutricional, de acuerdo con Medina *et al.* (2017), los componentes de la yuca que están contenidos en 100 g de parte comestible son: fibra (1 g), grasas totales (0,40 g); proteínas (1 g); calcio (40 g); fósforo (34 g); hierro (1,4 g); niacina (0,06 g); riboflavina (0,04 g) y vitamina C (19 g), demostrando que es un alimento bastante completo y práctico para compensar la dieta diaria de las personas. Sin embargo, a pesar de su amplio uso en la gastronomía y su valor como fuente de almidón, las raíces de yuca presentan alta perecibilidad lo que representa un obstáculo para su comercialización en fresco, resultando en pérdidas económicas para los productores.

La yuca se destaca entre los cultivos de raíces y tubérculos por su rápido deterioro fisiológico postcosecha, un proceso que comienza como una alteración fisiológica, pero que con frecuencia evoluciona hacia problemas fitopatológico (Uarrota *et al.*, 2016; Uarrota *et al.*, 2017). De acuerdo con Zainuddin *et al.* (2018) el deterioro fisiológico es un proceso complejo que implica respuestas al estrés enzimático ante heridas, cambios en la expresión génica y la síntesis de proteínas, así como la acumulación de metabolitos secundarios.

Entre los factores que permiten este rápido deterioro son: los altos contenidos de materia seca y almidón presentes en la raíz, las infecciones microbianas en la cosecha y postcosecha y las variedades de yuca (Aristizabal *et al.*, 2007; Caballero *et al.*, 2019; Zainuddin *et al.*, 2018). Sin embargo, Uarrota *et al.* (2016) sugiere que altos contenido de polifenol oxidasa, ácido ascórbico y proteínas en las raíces, desempeñan un papel importante en el retardo del deterioro fisiológico postcosecha. Los síntomas de deterioro de la raíz se manifiestan con cambios

de color en los tejidos parenquimatosos y haces xilógenos, tomando un color azulado para luego volverse marrones en forma de estrías vasculares, los cambios de color se extienden a las células parenquimáticas, que tiene un tinte azulado y también síntomas de desecación (Caballero *et al.*, 2019).

Varios métodos han sido utilizados para retrasar el deterioro fisiológico postcosecha de la raíz de yuca, entre estos: el almacenamiento extendido en el suelo, el almacenamiento a baja temperatura, la aplicación de recubrimientos comestibles, el recubrimiento con parafina, la poda pre-cosecha de la parte foliar de plantas y los tratamientos con aplicaciones de fungicidas químicos del grupo carbamatos (Booth, 1976; Oirschot *et al.*, 2000; Sotelo y Acevedo, 2012; Salcedo y Siritunga, 2011; Folgueras *et al.*, 2012; Cenóz y Burgos, 2012; Meneses *et al.*, 2017).

Según Hinostroza *et al.* (2014), en Ecuador se siembran diferentes tipos de yuca, de acuerdo a la región y las demandas de los consumidores; los genotipos de yuca han sido divididos por el color de sus raíces en tres grupos: el primero son yucas “Negras”, reconocidas por tener tallo de color oscuro y pulpa blanca, en este grupo se encuentran las variedades: Escancela, Pata de paloma y Patucha, así como las variedades de exportación Morada y Valencia; en el segundo grupo son las yucas “Blancas”, con tallo de colores claros y pulpa blanca, a este grupo pertenecen Taureña, Espada y Blanca; y por último, el tercer grupo son las “Amarillas”, presentando tallos de colores claros u oscuros, con color de pulpa amarilla, crema o blanco cremoso, las variedades de este grupo son Yema de huevo, Crema y Amarilla.

La variedad de yuca INIAP P-652 “La Rendidora”, pertenece al grupo de yucas blancas, y es proveniente del clon CM 3306-19 (♀ MCOL22 x ♂ CM 523-7), sus características son: planta de crecimiento erecto con altura entre 2,27 a 2,50 m. La planta presenta 3 niveles de ramificación y la primera ramificación se localiza a los 1,51 m. La forma de la raíz es cónica cilíndrica, con longitud promedio de 28 cm y diámetro de 5,3 cm. El color del peridermis es café oscuro, con esclerenquima de color crema y pulpa blanca. Los rendimientos promedio por hectárea están en 21.322 kg de raíces, con índice de cosecha de 0,76, contenido de materia seca de 36,2 % y días a la cosecha entre 7 a 12 meses (Cobeña *et al.*, 2020).

En Ecuador existe escasa información científica sobre el manejo precosecha para evitar el deterioro de la raíz, aunque, los agricultores de forma empírica realizan la poda, no se han generado reportes sobre su efecto en el deterioro de la raíz. Por tal motivo, en el presente trabajo se pretende determinar si la intensidad de poda y el tiempo de poda antes de la cosecha en la variedad INIAP P-652 “La Rendidora”, puede tener influencia en retrasar el deterioro de las raíces luego de la cosecha.

Materiales y métodos

Localización y características climáticas del área experimental

La investigación se realizó entre los meses de febrero a noviembre de 2020, en la Estación Experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, ubicada en la parroquia Lodana, Santa Ana, cuyas coordenadas geográficas son: 80°24'38,34" longitud oeste y 1°7'17,62" de latitud sur, a una altura de 60 m s.n.m. Las características climáticas durante el experimento se presenta en la Tabla 1.

Material vegetal y diseño experimental

Se establecieron 28 parcelas de yuca de la variedad INIAP P-652 "La Rendidora", las parcelas estuvieron conformadas por tres hileras de 6 m de largo, 1,2 m entre plantas y 1,0 m en hileras, a una densidad poblacional de 8333 plantas ha⁻¹. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo bi-factorial, 2 (intensidades de poda a 50 y 75 % del total de la planta) x 3 (Días de la poda previo a la cosecha 14, 21 y 28 días) + 1 testigo (sin poda), con cuatro repeticiones. Como unidad experimental se tomaron cinco plantas de la hilera central por cada parcela, para la evaluación de las variables.

Preparación del área de estudio

El área experimental fue preparada mediante la limpieza de rastrojos y arado previo a la siembra, para el control de malezas en pre-emergencia se desarrolló mediante mezcla de los herbicidas Pendimetalin 15 mL + Terbutrina 2,4 mL +

Paraquat 10 mL en un litro de agua. Las estacas seleccionadas para la siembra fueron las que presentaban cinco nudos y de longitud de 20 cm. Previo a la siembra, las estacas fueron tratadas por inmersión en una solución de Clorpirifos 2,5 mL + Carbendazim 1,5 mL en un litro de agua, durante 5 minutos. Las estacas se sembraron con una inclinación de 45° y el control de malezas se realizó de forma manual durante todo el desarrollo experimental. La fertilización de 15 g de yaramila complex por planta, se realizó a los 23 días después de la siembra. Para el control de *Phyllophaga* sp. se aplicó Clorpirifos de 2,5 mL a los 21 días de la siembra.

Aplicación de los tratamientos y variables evaluadas

El procedimiento experimental se desarrolló considerando la cosecha de la variedad de yuca INIAP P-652 "La Rendidora" a los 10 meses (300 días), a partir de esta fecha se realizó el corte de poda a ½ y ¾ desde la parte apical hacia abajo, considerando los 14, 21 y 28 días previo a la cosecha (PC). La cosecha de las raíces fue realizada de forma manual.

Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (m), número y peso fresco de las raíces (kg) por planta, peso total del follaje, tiempo de cocción de las raíces (min), contenido de almidón y número de días de deterioro fisiológico postcosecha. Para la variable tiempo de cocción se seleccionaron las raíces sanas al momento de la cosecha, estas fueron lavadas y peladas para luego ser comidas a cocción directa en 2 litros de agua a ebullición. El tiempo se contabilizó con un cronometro digital para cada uno de los tratamiento y testigo. El porcentaje del contenido de almidón se realizó después de la cocción de las raíces de yuca.

Tabla 1. Características climáticas del área experimental, Lodana, Santa Ana, Ecuador

Meses	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Heliofania (Horas)
	Mínimo	Media	Máximo			
Febrero	23,6	27,7	31,7	93,3	86,6	39,5
Marzo	22,9	27,5	32,0	124,4	84,4	110,8
Abril	22,4	27,5	32,6	73,3	87,5	139,4
Mayo	22,2	27,1	31,9	26,5	85,9	98
Junio	21,7	26,0	30,4	14,3	82,4	69,6
Julio	21,0	25,6	30,3	4,1	80,8	72,9
Agosto	19,9	25,8	31,6	0	77,5	136,6
Septiembre	20,6	26,3	31,9	2,2	77,7	108,2
Octubre	20,9	26,8	32,5	2,3	75,9	138,7
Noviembre	20,0	26,2	32,3	0	73,3	152,6
Diciembre	21,0	27,0	33,0	0	70,3	6,1

Fuente: Estación Meteorológica La Teodomira - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en la Universidad Técnica de Manabí.

Para la evaluación de los síntomas de daño o deterioro, posterior a la cosecha se seleccionaron 270 raíces de yuca, sin signos de daños mecánicos ni pudrición, 30 raíces por cada tratamiento. El deterioro fisiológico se evaluó durante un período de 10 días, de acuerdo con la metodología descrita por Wheatley *et al.* (1985), las raíces se almacenaron en un ambiente fresco, protegido de la luz solar. Diariamente se realizaron cortes transversales a tres raíces por tratamiento para cuantificar el grado de deterioro que oscila entre 0 y 100 %.

Por otra parte, se estimó el tiempo térmico mediante la metodología Arnold (1959). Para la temperatura base (T_b) se utilizó 16 °C (Burgos *et al.*, 2013). Con la temperatura máxima (T_{max}) y mínima (T_{min}) se obtuvo la temperatura media diaria (T_{med}) y con ello se calcularon los grados días desarrollo (GDD) con la siguiente fórmula: $GDD = \sum(T_{max} - T_{min})/2 - T_b$. Siendo que, cuando: $T_{med} < T_b$, los GDD fueron iguales a cero.

Análisis estadístico de los datos

Previo al análisis de varianza (ANOVA) se verificó la existencia de homocedasticidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett y normalidad de los residuos con la prueba de Shapiro-Wilk. Posteriormente, una vez cumplidos los presupuestos se realizó el ANOVA y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$). La comparación del efecto poda vs sin poda se analizó por contrastes ortogonales

($p < 0,05$). Los análisis fueron realizados con el software libre R Development Core Team (2022).

Resultados y discusión

Los grados días de desarrollo (GDD) son importantes para evaluar el requerimiento térmico del cultivo y determinar si los cultivares son precoces o tardíos. La variedad de yuca INIAP P-652, se cosechó a los 289 días con una suma térmica de 3.049,4 GDD. Mientras que, los tratamientos de poda fueron realizado entre 261 a 275 previo a la cosecha, con una acumulación sumas térmicas de 2.768 a 2.907,2 GDD, respectivamente (Tabla 2). Los grados días pueden variar dependiendo de la precocidad del material vegetal, por ejemplo, Burgos *et al.* (2013) registraron que los cultivares de yuca Cv Amarilla y Cv Palomita para llegar a la fase de madurez requieren entre 244 y 240 días con una suma térmica de 2.096,7 y 2.027,3 GDD, respectivamente.

El desarrollo fisiológico en la etapa de producción, así como el rendimiento de las plantas de yuca de la variedad INIAP P-652, no se vieron afectados por los tratamientos de intensidad de poda y días de la poda previo a la cosecha (PC), mostrando que no existe diferencia estadística entre el peso total del follaje, número de raíces, peso de la raíz por planta y altura de la planta (Tabla 3).

Tabla 2. Suma térmica en grados días (GDD) de los diferentes tratamientos de poda en la variedad de yuca INIAP P-652 “La Rendidora”. Lodana, Santa Ana, Ecuador

Días de la poda previo a la cosecha (PC)	Días calendarios	Tiempo térmico
Poda a los 28 días antes	261	2.768,0
Poda a los 21 días antes	268	2.841,7
Poda a los 14 días antes	275	2.907,2
Testigo (sin poda)	289	3.049,4

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables agronómicas y productivas evaluadas en la variedad de yuca INIAP P-652 “La Rendidora”, sometida a diferentes tratamientos de poda. Lodana, Santa Ana, Ecuador

Fuente de variación	GL	Altura de planta (m)	número de raíz por planta	Peso de raíz por planta (Kg)	peso de follaje total (Kg)	Tiempo de Cocción (min)	Porcentaje de almidón
Bloque	3	0,05	4,44	0,94	2,08	0,1	10,42
Tratamiento	6 (5)	0,03 ns	0,99 ns	0,15 ns	0,42	12,25***	1.630,95***
Intensidad de poda (I)	1	0,02 ns	1,82 ns	0,17 ns	0,51 ns	5,04 ns	759,37**
Días de la poda (D)	2	0,04 ns	0,66 ns	0,27 ns	0,17 ns	19,79***	179,17ns
I x D	2	0,01 ns	1,08 ns	0,09 ns	0,1 ns	14,29*	12,50ns
Poda vs sin poda	1	-	0,62 ns	0,04 ns	1,47 ns	0,29 ns	8.643,01***
Error	18 (15)	0,02	4,73	0,76	0,36	2,23	100,00

*** significativo a $p < 0,001$; **significativo a $p < 0,01$; *significativo a $p < 0,05$; ns = no significativo; GL = grados de libertad, los números entre paréntesis corresponde a los grados de libertad del ANOVA para la variable altura de planta.

El peso total de follaje en promedio fue de $3,41 \pm 0,7$ kg, el número de raíces promedio estuvo en $10,89 \pm 2,04$ y el peso promedio fue de $4,70 \pm 0,81$ kg por planta y la altura de planta promedio de 2,03 m (Tabla 4). Estos resultados concuerdan con Cenóz y Burgos (2012), que no encontraron diferencias significativas en los rendimientos (número y longitud de las raíces) en el clon “Rocha”, a los 240 días de cosecha, sin embargo, en el clon “Santacatarina”, se incrementó el rendimiento con la poda apical, cuando se cosechó tempranamente; también determinaron que mientras más leves fueron las podas, menos diferencias causaron en el rendimiento respecto a las plantas testigo.

El tiempo de cocción representa el efecto del contenido del almidón y como este puede afectar el estado de las raíces de yuca para el consumo humano. Los tratamientos con poda de 75 % en 14 y 21 días previo a la cosecha (PC) y con poda de 50 % en 21 días PC, registraron los mayores valores de tiempo de cocción, siendo 12:50, 13:25 y 14:00 min, respectivamente. Mientras que el tratamiento con poda de 50 % en 14 días PC registró el menor valor (8:5 min) (Figura 1), desde el punto de vista gastronómico, este tiempo menor permiten mayor eficiencia y menor consumo de recursos energéticos en el preparado de alimentos. De acuerdo con Oliveira *et al.* (2010) la poda en la variedad de yuca “Coqueiro”, mostraron que los promedios de tiempo de cocción de las raíces fueron superiores en las plantas con poda (19 min), en comparación con las plantas testigo (15 min). Mientras que, Folgueras *et*

al. (2012) al evaluar la calidad culinaria de las raíces de la yuca del clon CMC 40, determinaron que en los tratamientos de poda de 50 – 70 cm y testigo no se presentaron problemas de dureza de las raíces en la cocción; también determinaron que al realizar la poda de 10 – 20 cm en 15, 20 y 25 días PC se presentaron problemas de dureza de raíces para la cocción.

En la Figura 1 el tratamiento con poda de 50 % a los 14 días PC (I50-D14), presentó un menor peso de follaje, contenido de almidón y tiempo de cocción; mientras que el testigo presentó un porcentaje de almidón superior de casi el doble (85 %) (Tabla 3). Los tratamientos con poda tendieron a disminuir el contenido de almidón y el tiempo de cocción, siendo más pronunciado en aquellos con intensidad de poda del 75 % de la planta. Resultados similares fueron reportados por Fernandes *et al.* (2020), quienes, al evaluar la influencia de la poda sobre la productividad de almidón y el valor nutricional de la biomasa aérea en clones industriales de yuca adaptados al Cerrado del Brasil Central, determinaron que la poda total realizada a los 12 meses de edad incrementó significativamente el contenido de proteína bruta y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de los brotes, mejorando su valor nutricional; pero con una reducción en el rendimiento de almidón en las raíces, así como en la productividad total de raíces y brotes. Sin embargo, Curcelli *et al.* (2014) encontraron que la poda de los brotes en la variedad IAC-14 antes del reposo fisiológico afectó positivamente el rendimiento y el porcentaje de raíces, sin influir en el contenido de almidón en las raíces.

Tabla 4. Valores promedios (media $\pm$ desviación estándar) de las variables agronómicas y productivas evaluadas en la variedad de yuca INIAP P-652 “La Rendidora”, sometida a diferentes tratamientos de poda. Lodana, Santa Ana, Ecuador

Intensidad de poda (%)	Días de la poda previo a la cosecha	Altura de planta (m)	Número de raíces	Peso de raíces (Kg)	Peso de follaje total (Kg)	Tiempo de cocción (min)	Porcentaje de almidón
50	14	2,08 $\pm$ 0,1	10,00 $\pm$ 0,73	4,51 $\pm$ 0,22	3,19 $\pm$ 0,36	8,5 $\pm$ 1,73	43,75 $\pm$ 7,5
50	21	1,93 $\pm$ 0,1	10,85 $\pm$ 2,24	4,96 $\pm$ 0,77	3,47 $\pm$ 0,14	14 $\pm$ 0,82	33,75 $\pm$ 7,5
50	28	2 $\pm$ 0,14	10,80 $\pm$ 3,12	4,40 $\pm$ 1,45	3,40 $\pm$ 0,97	12 $\pm$ 2	43,75 $\pm$ 14,93
75	14	2,15 $\pm$ 0,19	11,20 $\pm$ 2,64	4,81 $\pm$ 0,88	3,57 $\pm$ 1,08	12,5 $\pm$ 1,29	30 $\pm$ 7,07
75	21	2,05 $\pm$ 0,21	10,60 $\pm$ 1,63	4,86 $\pm$ 0,75	3,48 $\pm$ 0,40	13,25 $\pm$ 1,5	25 $\pm$ 5,77
75	28	1,98 $\pm$ 0,17	11,50 $\pm$ 2,18	4,73 $\pm$ 1,08	3,90 $\pm$ 1,05	11,5 $\pm$ 0,58	32,5 $\pm$ 5
Testigo	-	-	11,25 $\pm$ 1,78	4,62 $\pm$ 0,53	2,84 $\pm$ 0,87	12,25 $\pm$ 1,26	85,0 $\pm$ 12,91
Promedio		2,03 $\pm$ 0,16	10,89 $\pm$ 2,04	4,70 $\pm$ 0,81	3,41 $\pm$ 0,70	12 $\pm$ 2,05	41,96 $\pm$ 20,74
CV (%)		7,00	20,00	18,50	17,50	12,50	23,83

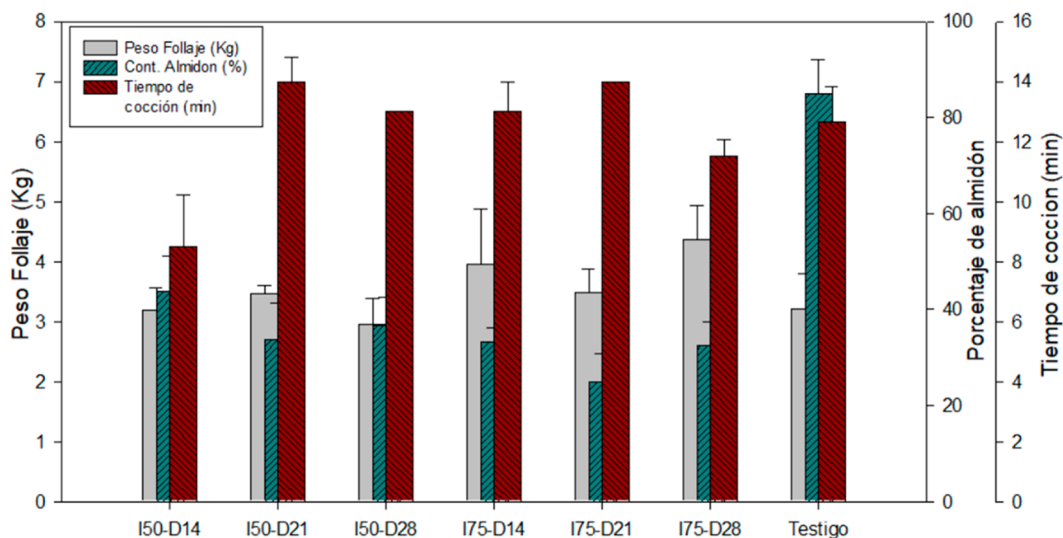


Figura 1. Interacción entre las variables peso de follaje, porcentaje de almidón y tiempo de cocción entre los diferentes tratamientos y el testigo. Las barras corresponden a las medias con la desviación estándar. I= Intensidad de poda (%) y D= Días de la poda previo a la cosecha

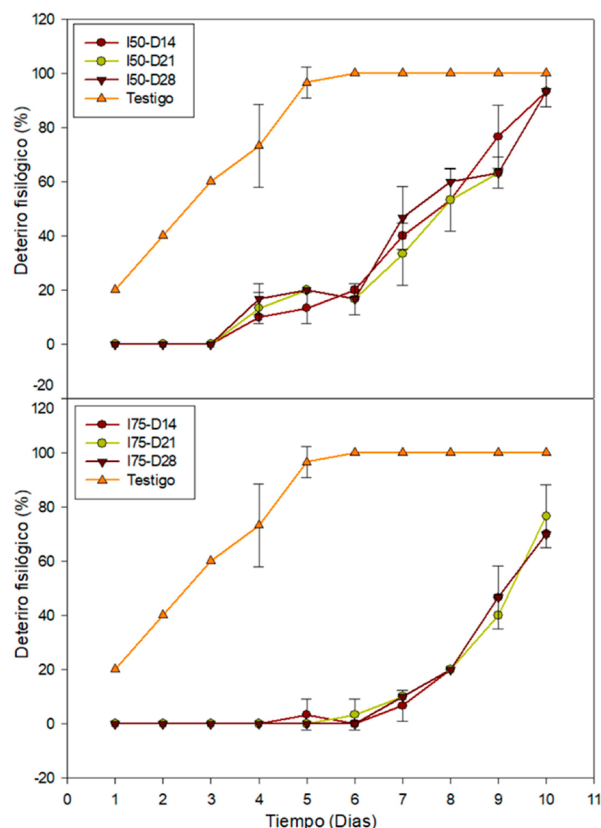


Figura 2. Deterioro fisiológico de la raíz de yuca evaluados en los tratamientos con poda y sin poda durante 10 días después de la cosecha, utilizando la metodología propuesta por Wheatley *et al.* (1985). Los valores corresponden a las medias y las barras a la desviación estándar. I= Intensidad de poda (%) y D= Días de la poda previo a la cosecha

El testigo registró deterioro de la raíz desde el primer día de la evaluación, mientras que las raíces de los tratamientos con poda al 50 % registraron deterioro fisiológico al cuarto día de la evaluación con un promedio de 13,3 % (Figura 2). Los tratamientos con poda al 75 %, mostraron síntomas de deterioro al quinto día de la evaluación (3,3 %). En el sexto día de evaluación las raíces testigo mostraron el 100 % de deterioro fisiológico. Al séptimo día las raíces de plantas con poda del 50 % registran aumento en el deterioro superior a los observados en las raíces de planta con poda del 75 %. Por último, Al décimo día los tratamientos con 75 % de poda registraron deterioro del 72,2 %, mientras que, los tratamientos con 50 % de poda al registraron deterioro del 93,3 % (Figura 2). Estos resultados concuerdan con Burgos *et al.* (2005), quienes mencionan que la cosecha a los 24 días después de la poda (eliminación del follaje a aproximadamente 30 cm del cuello de la planta) retardó el inicio del deterioro, determinando la mayor resistencia al deterioro en los clones Amarilla, Misionera y Cambi. Varios estudios han mostrado que el deterioro fisiológico en las raíces tiene una reducción con las podas en la parte aérea de la planta entre los 14 y 21 días antes de la cosecha (Aristizabal *et al.*, 2007 y Wheatley, 1983).

El tratamiento con poda de 75 % a los 28 días PC (I75-D28) presentó ausencia de deterioro fisiológico hasta el sexto día de la evaluación (Figura 2). Estos resultados muestran el efecto positivo de la poda pre-cosecha en la variedad de yuca INIAP P 652 “La Rendidora”, para reducir el deterioro fisiológico de las raíces en fresco e incrementar la vida útil en percha. Sin embargo, Folgueras *et al.* (2012), determinaron que la poda (plantas podadas entre 10-20 cm por encima de la superficie del suelo) a los 15 días antes de la cosecha en el clon CMC

40, presento deterioro en las raíces (1,60 %) mientras que el testigo presento menor porcentaje deterioro (0,67 %). Por tal motivo, se sugiere que la poda pre-cosecha puede ser útil para la disminución del tiempo de deterioro fisiológico de las raíces de yuca, pero la respuesta al deterioro, puede estar determinada al genotipo de variedad cultivada, el contenido de almidón de las variedades, los días de poda previa a la cosecha y entre otros.

Conclusión

La poda pre-cosecha no afecta los rendimientos, ni el tiempo de cocción de las raíces de yuca de la variedad P-652 “La Rendidora”. El tratamiento con poda al 75 % de la planta realizado a los 28 días previo a la cosecha es la mejor alternativa para conservar raíces de yuca hasta el sexto día después de la cosecha. Estos hallazgos abren nuevas líneas de investigación entre los cuales se recomienda, analizar el efecto de la poda pre-cosecha en distintas variedades de yuca y zonas agroecológicas. De igual forma, es interesante el profundizar en el manejo postcosecha, explorando tecnologías de almacenamiento, empaques y recubrimientos que contribuyan a prolongar la vida útil de la yuca, teniendo en consideración los análisis económicos para determinar la pertinencia comercial y social.

Agradecimientos

Agradecemos al Departamento de Transferencia de Tecnología de la Estación Experimental Portoviejo (EEP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), por apoyar en el desarrollo de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Brenes, E., Segreda Rodríguez, A., Saborío Arguello, D., Morales González, J., Chacón Lizano, M., Rodríguez Rojas, L., Acuña Chinchilla, P., Torres Portuguese, S. y Gómez Bonilla, Y. (2017). *Manual del cultivo de yuca Manihot esculenta Crantz*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Aristizabal, J., Sánchez, T. y Mejía Lorio, D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. <https://www.fao.org/4/a1028s/a1028s.pdf>
- Arnold, C. Y. (1959). The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceed. Am. Soc. Horticult. Sci., Alexandria*, 74, 430-445. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19600303187>
- Booth, R. (1976). *Almacenamiento de raíces de yuca*. Centro internacional de agricultura tropical. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/CIAT_Colombia_000159e.pdf
- Burgos, A. M., Cenóz, P. J., López, A. E. y Rodríguez, S. C. (2005). Efecto de podas y del sistema de almacenamiento sobre factores de calidad de raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Agrotecnia*, (15), 17-21. <https://doi.org/10.30972/agr.015426>
- Burgos, Á. M., Prause, J., Argüello, J. y Cenóz, P.J. (2013). Fenología de los estados vegetativos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en base al tiempo térmico. *Rev. FCA UNCUYO*, 45(1), 43-52. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837652004.pdf>
- Caballero Mendoza, C. A., Enciso Garay, C. R., Tullo Arguello, C. C. y González Villalba, J. D. (2019). *Guía técnica del cultivo de mandioca*. FCA, UNA. <https://www.agr.una.py/ebooks/index.php/edifca/catalog/view/28/27/111>
- Cenóz, P. J. y Burgos, A. M. (2012). Efecto de las podas pre-cosecha en plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas en Corrientes, Argentina. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12 (3), 550-558. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg12063>
- Cobeña Ruiz, G., Avellán Cedeño, B., Mendoza García, A., Cañarte Bermúdez, E., Cárdenas Guillen, F., Zambrano Zambrano, E., Navarrete Cedeño, J. y Limongi Andrade, R. (2020). Variedad de yuca P-652 “La Rendidora”. Plegable 450. Estación Experimental Portoviejo. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5584/1/iniapeep2020PD450LARENDIDORA.pdf>
- Curcelli, F., Bicudo, S. J., Aguiar, E. B. y Valdiviá, M. I. (2014). Pruning management of cassava for animal feeding: parameters of the root. *African Journal of Agricultural Research*, 9(16), 1238-1243. <http://hdl.handle.net/11449/137558>
- Fernandes, F. D., Guimarães Junior, R., Vieira, E. A., Fialho, J. F. y Malaquias, J. V. (2020). Pruning as a strategy to improve the nutritional value of the aerial parts of industry-purpose cassava clones. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 21, e2121082020. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402121082020>
- Fernández, L. y Cerratos, M. (2017). *Cartilla tecnológica del cultivo de yuca en el litoral atlántico de Honduras*. Editorial DICTA. <https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/ba945816-0240-4811-954a-6af033f8497c/content>
- Folgueras Montiel, M., Rodríguez Morales, S., Maza Estrada, E. y Oliva, M. (2012). Cosecha, beneficio y conservación de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). I. Efecto de la poda de las plantas y tratamiento químico de las raíces sobre su deterioro. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 542-549. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4689087>
- Hinostroza García, F., Mendoza García, M. V., Navarrete Párraga, M. y Muñoz Conforme, X. (2014). *Cultivo de yuca en Ecuador*. Boletín Divulgativo N° 436.

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5214/1/INIAPEEPbd436.pdf>
- Medina, R. D., Burgos, A. M., Michellod, M. y Cenóz, P. J. (2017). Cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en invernadero: efectos sobre el rendimiento y la calidad de raíces tuberosas. *Interciencia*, 42(8), 515-521. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/515.pdf>
- Medina Jiménez, S., García Toro, L., Vélez Pasos, C., Alonso Alcalá, L. y Fernández Quintero, A. (2013). Estudio comparativo de conservación de raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) recubiertas con cera natural y parafina. *Informador Técnico*, 77(1), 17-21. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/40
- Meneses Portilla, K., Santacruz Terán, S. y Coloma Hurel, J. (2017). Conservación de yuca (*Manihot esculenta*) con recubrimiento a base de harina de cáscara de plátano. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(2), 95-104. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702017000200006
- Oirschot, Q. E. A., O'Brien, G. M., Dufour, D., El-Sharkawy, M. A. y Mesa, E. (2000). The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics. *Journal of the science of food and agriculture*, 80(13), 1866-1873. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200010\)80:13<1866::AID-JSFA718>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200010)80:13<1866::AID-JSFA718>3.0.CO;2-H)
- Oliveira, S. P., Viana, A. E. S., Matsumoto, S. N., Cardoso Júnior, N. S., Sedyama, T. y São José, A. R. (2010). Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agrônômicas da mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy, Maringá*, 32(1), 99-108. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.922>
- R Development Core Team (2022). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>
- Salcedo, A. y Siritunga, D. (2011). Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. *Journal of Experimental Agriculture International*, 1(4), 414-431. <https://journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1080>
- Sotelo, R. y Acevedo, G. (2012). Conservación de las raíces frescas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) aplicándole el proceso de parafinado. *Nexo Revista Científica*, 21(2), 48-53. <https://doi.org/10.5377/nexo.v21i2.874>
- Uarrota, V., Nunes, E., Martins, L., Oliveira, E., Coelho, B., Moresco, R., Garcia, M., Sánchez T., Luna J., Dufour, D., Ceballos, H., Becerra, L., Hershey, C., Rocha, M. y Maraschin, M. (2016). Toward better understanding of postharvest deterioration: biochemical changes in stored cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. *Food Science & Nutrition*, 4(3), 409-422. <https://doi.org/10.1002/fsn3.303>
- Uarrota, V., Stefen, D., Souza, C., Coelho, C., Moresco, R., Maraschin, M., Sánchez-Mora, F. D., Nunes, E., Neubert, E. y Peruch, L. (2017). Advances in understanding cassava growth and development In: C. Hershey (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of cassava* (pp.23-27). Burleigh Dodds Science Publishing Limited. <https://doi.org/10.19103/AS.2016.0014.03>
- Wheatley, C. (1983). *Almacenamiento de raíces frescas de yuca: guía de estudio*. Editorial CIAT. <https://acortar.link/Za4nkV>
- Wheatley, C., Lozano, C. y Gómez, G. (1985). Post-harvest deterioration of cassava roots. In: J. H. Cock, & J. A. Reyes (Eds.), *Cassava: research, production and utilization* (pp. 655-671). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/54615>
- Zainuddin, I. M., Fathoni, A., Sudarmonowati, E., Beeching, J. R., Gruissem, W. y Vanderschuren, H. (2018). Cassava post-harvest physiological deterioration: From triggers to symptoms. *Postharvest Biology and Technology*, 142, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.09.004>

Rizobacterias y Trichodermas antagonistas al control de nematodos fitoparásitos en plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.)

Rhizobacteria and Trichodermas antagonistic to the control of phytoparasitic nematodes in Barraganete plantain (*Musa paradisiaca* L.)

Jefferson Alexander Castillo Castillo¹, Hayron Canchignia Martínez², Francisco Javier Arteaga Alcívar¹, Diana Alexandra Álava Cruz³

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

³Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Autor de correspondencia: jcastillo9011@utm.edu.ec

Recibido: 11/11/2024. Aceptado: 14/06/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

El Carmen es considerada la capital mundial de la producción de plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.). Sin embargo, la falta de investigaciones limita el desarrollo de este cultivo, este estudio evaluó el efecto de la aplicación sinérgica de *Trichoderma* spp. y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal como estrategias de biocontrol contra nematodos fitopatógenos. Con el objetivo de mejorar el rendimiento del cultivo, el control y reducción de este patógeno. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, midiendo variables de crecimiento y caracterización radicular. Los resultados mostraron una emisión foliar de 3,42 hojas/mes y una densidad poblacional de *Radopholus similis* de 1.105 individuos. Las plantas tratadas con *Trichoderma* spp. y rizobacterias mostraron un aumento significativo en el número de raíces sanas (15,96) y el porcentaje de raíces funcionales (58,49 %). Además, el tratamiento con rizobacterias incrementó el diámetro del pseudotallo a 1,75 cm y la altura de la planta a 36,31 cm. En el tratamiento químico, se obtuvo el mayor peso de raíces (147,7 g), mientras que en el testigo se observaron las raíces con mayor lesión (13,29) y el menor porcentaje de raíces funcionales (49,44 %). Estos hallazgos destacan el potencial del uso combinado de *Trichoderma* spp. y rizobacterias como una alternativa eficaz para el biocontrol de nematodos y el fortalecimiento del cultivo de plátano barraganete en El Carmen.

Palabras clave: Nematodos fitopatógenos, biocontrol, sinérgica, producción.

Abstract

El Carmen is considered the world capital of barraganete plantain (*Musa paradisiaca* L.) production. However, the lack of research limits the development of this crop. This study evaluated the effect of the synergistic application of *Trichoderma* spp. and plant growth-promoting rhizobacteria as biocontrol strategies against phytopathogenic nematodes. The aim was to improve crop yield and the control and reduction of this pathogen. The experiment was carried out under a completely randomized design (CRD) with five treatments and four replications, measuring growth and root characterization variables. The results showed a foliar emission of 3.42 leaves/month and a population density of *Radopholus similis* of 1,105 individuals. Plants treated with *Trichoderma* spp. and rhizobacteria showed a significant increase in the number of healthy roots (15.96) and the percentage of functional roots (58.49 %). Furthermore, rhizobacteria treatment increased pseudostem diameter to 1.75 cm and plant height to 36.31 cm. The chemical treatment yielded the highest root weight (147.7 g), while the control treatment showed the most damaged roots (13.29 g) and the lowest percentage of functional roots (49.44 %). These findings highlight the potential of using *Trichoderma* spp. in combination with rhizobacteria as an effective alternative for nematode biocontrol and strengthening plantain cultivation in El Carmen.

Keywords: Phytopathogenic nematodes, synergistic, production.

Introducción

A nivel mundial la producción de plátano se distribuye en África (60,60 %), América (26,50 %), Asia (12,80 %) y Oceanía (0,10 %) (Avellán-Vásquez *et al.*, 2020). Ecuador las provincias productivas están ubicadas en el denominado triángulo platanero; Manabí con 52.612 ha, Santo Domingo 14.249 has y los Ríos 13.376 ha de esta musácea (Cobena-Loor *et al.*, 2020). En Manabí el cantón El Carmen están ubicadas las mayores áreas cultivadas y su reducción en producción está relacionado a la falta de tecnificación y variaciones climáticas (Ugando Peñate *et al.*, 2023). La fruta presenta un porcentaje nutricional del 21,4 % donde contiene minerales como el magnesio, hierro, manganeso y potasio (Morel *et al.*, 2021).

En climas subtropicales la producción de plátano barraganete se ve amenazada por un sin número de entes negativos que generan diferentes lesiones en distintas partes del tejido (López y Jansson, 2001). La existencia de nematodos fitoparásitos como *Radopholus similis*, *Pratylenchus* spp y *Meloidogyne* spp, con ayuda de su estilete ingresan en la zona cortical de las raíces provocando la destrucción de la pared celular (Becker *et al.*, 1988). La destrucción del sistema radicular por nematodos ocasiona el volcamiento de las plantas de plátano (Casas *et al.*, 2015).

La reproducción de estos nematodos se da en el interior de las raíces donde empieza con la ovoposición de entre unos 8.000 huevecillos aproximadamente en un lapso de 20 a 25 días (López y Jansson, 2001). Para el control de nematodos en plantaciones se emplean nematicidas tóxicos como avamectina, organofosforados y carbofurados que reduce un 10 % sus poblaciones (Palomares-Rius *et al.*, 2014). Como consecuencia de estos productos se tienen las deficiencias nutricionales, disminuye el porcentaje de materia orgánica y afecta la microfauna del suelo creando el ingreso a otros tipos de problemas graves e infecciosos (Orlando *et al.*, 2020a).

En la actualidad, el empleo de medidas alternativas al control de nematodos, tienen un rol importante en disminuir la dependencia de nematicidas tóxicos (Lilley *et al.*, 2011). El efecto sinérgico de *Trichoderma* spp y rizobacterias son consideradas agentes de control biológico, que generan un efecto nematicida de amplio espectro (Kálmán *et al.*, 2024). Otra alternativa de biocontrol hacia los nematodos son las rizobacterias (PGPR's), de sus siglas en inglés "Plant Growth Promoting Rhizobacteria" que en combinación con *Trichoderma* spp, amplían el mecanismo de protección y mejor desdoblamiento de minerales en el suelo, dándole así protección al cultivo (Etesami y Maheshwari, 2018).

Las rizobacterias de género *Pseudomonas* spp tienen la habilidad de inhibir el crecimiento del nematodo y mejorar el sistema de resistencia de las plantas para tolerar ciertos ataques de patógenos en el suelo (Siddiqui y Shaukat, 2003), *Serratia marcescens* promueve el crecimiento en plantas mediante la inducción de resistencia contra nematodos (De Queiroz y De Melo, 2006). La producción de sustancias antagonistas y la

solubilización de fosfatos, por *Acinetobacter* spp que mejoran la asimilación de aminoácidos y dando resistencia al cultivo sobre el ataque de nematodos (Wulandari *et al.*, 2021).

Las rizobacterias generan sustancias que promueven el crecimiento, como hormonas y vitaminas, que se asocian con un efecto nematicida (Martínez *et al.*, 2013). El alto nivel de eficiencia al biocontrol y bioestimulante mantienen un efecto similar a productos químicos (Kolombia *et al.*, 2021). La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la actividad sinérgica de PGPR antagonista con *Trichoderma* spp sobre nematodos fitoparásitos en Plátano barraganete (*Musa paradisiaca* L.).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Finca Tres Hermanos ubicada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Sus coordenadas geográficas -0,262655 S y -79,427579 O, zona que se caracteriza por poseer un clima de trópico húmedo. Ubicada a 263 m s.n.m., su temperatura promedio es de 24 °C, con precipitación anual de 2.806 mm, su humedad relativa de 86 %, exposición solar de 1.026, horas luz al año y evaporación anual de 1.064 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017).

Preparación del bioformulado bacteriano de PGPR

Las cepas de PGPR se seleccionaron del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Microbiología de la UTEQ. Del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), situada en el kilómetro 7,5 de la carretera Quevedo – El Empalme, en el Cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

El bioformulado está constituido por las rizobacterias: (*Acinetobacter calcoaceticus* BM2-12, *Serratia Marcescens* PM3-8, *Pseudomonas protegens* CHA0, *Pseudomonas veronii* R4, *Enterobacter asburiae* PM3-14) (Tabla 1). Se incubaron de manera individual en 500 mL de KBL [(g/L): peptona 20,0; glicerol, 15 mL; K₂HPO₄, 1,5; MgSO₄ x 7H₂O, 1,5; agua destilada (pH 7,2)], suplementado con chloramphenicol (13 µg/mL), ampicilina (40 µg/mL) por 48 h.

Se recuperó del pre-inoculo 500 mL de las rizobacterias a (1x10⁸ UFC·mL⁻¹) e incubados en 40 L de manera individual en el medio alternativo BIO M3 [(g/L): melaza, 20,0; harina de maíz, 20,0; sal en grano, 5,0; glicerina: 7 mL (pH 6,5)]. Los fermentadores se mantuvieron en agitación con una presión de aire de 0,007 MPa durante 24 h. Además, cada fermentador contenía filtro de nitrocelulosa de 0,45 micras x 47 mm a entrada y salida del flujo de aire.

Tabla 1. Características de las rizobacterias con producción de metabolitos antagónicos

Organismo	Cepas	Metabolitos antagónicos				Sideróforos	Producción de AIA	Cultivo de procedencia
		PR	HCN	Prn	DAPG			
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	BMR2-12			+		+		Banano
<i>Serratia Marcescens</i>	PM3-8	+	+			+		Banano
<i>Pseudomonas protegens</i>	CHA0	+	+	+	+	+	+	Tabaco
<i>Pseudomonas veronii</i>	R4	+		+		+	+	Uva
<i>Enterobacter asburiae</i>	PM3-14	+	+	+		+		Banano

PR: proteasa **HCN:** cianuro de hidrogeno **Prn:** Pirrolnitrina **DAPG:** 2,4-diacetilfloroglucinol. Cepas bacterianas del banco de germoplasma de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Aplicación de rizobacterias y *Trichoderma* spp en plátano barraganete

Se empleó un total de 400 plantas meristemáticas de plátano barraganete las mismas que se establecieron en fase de vivero. A los 7 días se realizó el trasplante y se ubicaron estas plantas en sus respectivos contenedores. El sustrato empleado en vivero contenía la mezcla de suelo, incorporando cascarilla de arroz y materia orgánica (Biocompost) teniendo como resultado el sustrato final.

Las plantas se ubicaron en contenedores de 12 x 16 centímetros que contenían el sustrato. A los 30 días después del trasplante se adicionó de forma edáfica la combinación del Tratamiento 1: (50 ml de PGPR's de suspensión celular del consorcio bacteriano (OD_{600} : 1.000 a 1×10^8 UFC/mL) y 10 ml de *Trichoderma* spp 1×10^8 esporas/mL); Tratamiento 2: (50 ml de PGPR's); Tratamiento 3: 25 ml de nematicida biológico (TrichoMet), los productos biológicos se aplicaron 30 y 60 días. Tratamiento 4: químico (RUGBY 10 G), una aplicación de 10 g por planta en los 60 días. Tratamiento 5: Control (agua). La aplicación de nematodo fitoparasitario se aplicó 200 mL de solución donde contenían 2.000 nematodos fitopatógenos dicho proceso se realizó al tercer día del trasplante para cada planta de plátano.

Todas las plantas tuvieron una fertilización de 5 g de fertilizante granulado; esta labor se realizó a los 20, 30, 40 días luego de la inoculación de las rizobacterias con la finalidad que la planta tenga un mejor aprovechamiento del fertilizante. Se aplicaron dos riegos por semana debido a las altas temperaturas en el Carmen durante el tiempo de la investigación.

Ritmo de emisión foliar: Este valor se estimó evaluando el número de hojas que emiten entre los diferentes intervalos de evaluación, dados en el trabajo experimental. Para aquello en esta variable se contabilizó el número de hojas, que cada planta emitió de forma mensual obteniendo así los promedios establecidos.

Altura de planta (cm): Con ayuda de una cinta métrica cada 10 días se tomó las medidas de altura de cada planta durante el tiempo de investigación, mismos datos que nos permitieron visualizar los promedios consecutivos desde el inicio hasta el final de la investigación.

Diámetro de pseudotallo (cm): Su evaluación se realizó cada 10 días, con el uso de un calibrados o vernier digital se tomó las medidas del diámetro de pseudotallo, desde el inicio hasta el final de la investigación. Esta variable se calculó mediante los datos obtenidos en cada uno de los intervalos de evaluación en las medidas tomadas en el pseudotallo de las plantas, el inicio de esta recopilación de información se dio 7 días después de la aplicación de los tratamientos.

Número total de raíces: Se evaluó al final de la investigación donde las plantas fueron sacrificadas para el conteo de raíces, se contabilizó el número de raíces de cada una de las plantas correspondientes a la investigación teniendo así un único dato al final de la investigación.

Porcentaje de raíces funcionales: Se contabilizó raíces que no tengan lesiones, necrosis avanzada o algún tipo de daño causado por nematodos, se evaluó al final de la investigación cuando las plantas fueron sacrificadas, Para determinar el porcentaje de raíces funcionales se utilizó la siguiente Fórmula 1.

$$\frac{\text{número de raíces sanas}}{\text{número de raíces tortales}} \times 100 \quad (1)$$

Porcentaje de raíces no funcionales: Se contabilizó las raíces que tuvieron lesiones, necrosis avanzada o algún tipo de daño causado por nematodos, se la evaluó al final de la investigación cuando las plantas fueron sacrificadas. Para determinar el porcentaje de raíces no funcionales se utilizó la Fórmula 2.

$$\frac{\text{número de raíces dañadas}}{\text{número de raíces tortales}} \times 100 \quad (2)$$

Densidad poblacional de nematodos fitopatógenos: Se determinó a partir de los resultados obtenidos de las muestras enviadas al laboratorio NemaLab S.A. Cada una de estas muestras contenían 100 g de raíces de cada planta, tomadas entre 10 a 30 cm de profundidad, cada muestra contenía una ficha de información en la que constaba el número de cada planta y su lugar de procedencia, fueron transportadas en bolsas de plástico, totalmente cerradas para mantener la humedad a una temperatura entre 10 a 20 °C evitando la exposición directa al sol.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) al 5 % de significancia, para la comparación se aplicará una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), con la ayuda de un paquete estadístico InfoStat.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con cuatro repeticiones, donde cada unidad experimental estaba compuesta de veinte plantas meristemáticas en fase de vivero. Los valores a cada condición están representados con la desviación estándar promedio individual ($\pm$), los tratamientos fueron sujetos al análisis de varianza por ANOVA, y separados por procedimiento de comparación múltiple de Tukey SD, al nivel de significancia de ($p \leq 0,05$), empleando Statgraphics Centurion™ V.18.

Resultados y discusión

Efecto promotor vegetal de la actividad sinérgica de PGPRs y Trichoderma

Ritmo de emisión foliar: Se reportó diferencia estadística entre los tratamientos evaluados sobre la variable ritmo de emisión foliar bajo la aplicación de productos biológicos, en este caso el producto comercial (TrichoMet) y PGPRs + *Trichoderma* spp, presentan mayores promedios de emisión de hojas semanales con 3,42 y 3,33 respectivamente en plantas de plátano barraganete (Figura 1A). Logrando mantener la viabilidad de crecimiento de las plantas inoculadas con nematodos. Si bien el empleo de medidas alternativas de bajo impacto ecológico marca un transcurso diferente, surgen nuevos productos biológicos que se asemejan al manejo tradicional (Santoyo *et al.*, 2021). Las aplicaciones continuas de riego en plantas de barraganete son condiciones favorables a las aplicaciones de rizobacterias son aceptables que depende de la humedad del suelo y programas de fertilización. No obstante, cuando las condiciones no se vuelven favorables las complicaciones se observa una reducción de hasta 2 hojas

emitidas por semana (Ali Siddiqui y Ehteshamul-Haque, 2001).

Incremento del sistema radicular: A pesar de no encontrar diferencias estadísticas significativas en el peso de raíces entre tratamientos, estos resultados sugieren ciertas tendencias. El tratamiento con RUGBY 10G (nematicida químico) presentó el mayor peso de raíces con 147,7 g (Figura 1B). Este resultado se asemeja con la aplicación de los productos Biológicos (TrichoMet y PGPRs + *Trichoderma* spp), reduciendo el daño ocasionado por los nematodos en el sistema radicular, aunque se conoce que estas alternativas biológicas deben ser evaluadas con cautela al exponerlas en espacios abiertos o en zonas de plantación porque sus efectos pueden ser escasos (Rueda *et al.*, 2017).

Los tratamientos con nematicidas químicos reducen el impacto de los nematodos sobre el desarrollo radicular al limitar el daño directo en el tejido de las raíces (Casas *et al.*, 2015). Los resultados de peso de raíces están correlacionados con las variables de salud radicular, como el número de raíces sanas y el porcentaje de raíces funcionales. En estudios similares, se ha observado que los nematodos reducen significativamente la masa radicular al afectar las raíces funcionales, limitando la capacidad de absorción de nutrientes y agua (Orlando *et al.*, 2020b).

Por lo tanto, la ligera superioridad en el peso de las raíces observada en el tratamiento con RUGBY 10G mejora la preservación de las raíces sanas y funcionales en comparación con el testigo. Esto permite el aumento del peso promedio del sistema radicular de estas en comparación con el testigo.

Diámetro del pseudotallo: No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la variable diámetro de pseudotallo. Sin embargo, la aplicación de PGPRs + *Trichoderma* spp incrementó el diámetro de pseudotallo con 1,75 cm (Figura 2). Esto verifica un mínimo margen de diferencia con la aplicación autónoma de PGPRs con 1,74 cm de diámetro (Figura 2). Cuando las rizobacterias se encuentran presentes en el suelo empieza una constante actividad sinérgica para que la planta obtenga beneficios de la actividad funcional, en labores como la fertilización esta rizobacterias colaboran en la mejor absorción de nutrientes disminuyendo algún tipo de competencia con nematodos (Ugando Peñate *et al.*, 2023). Por otra parte, Cobeña-Loor *et al.* (2020), hacen mención a que la fertilización es básicamente una de las soluciones hacia un equilibrio en el suelo, creando una interacción con el desarrollo de la planta y complementarlo con el uso de nematicidas químicos brinda una protección más duradera sobre estos nematodos y así no interfiera en el desarrollo del cultivo.

Altura de planta: Las aplicaciones de PGPRs + *Trichoderma* spp lograron evidenciar un promedio más elevado, con una altura de 36,31 cm. Esto mostró un efecto positivo sobre las

características de las plantas de plátano barraganete (Figura 3). En ciertas ocasiones las condiciones secundarias en una investigación como son los factores ambientales (temperatura, luminosidad y humedad) llegan a generar variaciones en los trabajos experimentales (Morel *et al.*, 2021). Los productos de origen biológico en el campo de manera foliar mejoraron las características agronómicas del plátano barraganete y logrando reducir el efecto fitoparasitario de *R. similis* sobre el sistema radicular. Mientras tanto, Orlando *et al.* (2020a) argumentan que el correcto accionar de la aplicación de microorganismos antagonistas se relacionan con la cantidad de materia orgánica en el suelo, pero esto no quiere decir que el desarrollo agronómico dependa directamente de ellos. Al protegerse el área radicular de las plantas, se activan mecanismos de fijación del nitrógeno, producción de metabolitos antifúngicos y de protección a plagas (Ugando Peñate *et al.*, 2023). Las PGPRs generaron un apoyo primordial en la interacción con el suelo, principalmente con la materia orgánica allí existente (Santoyo *et al.*, 2021).

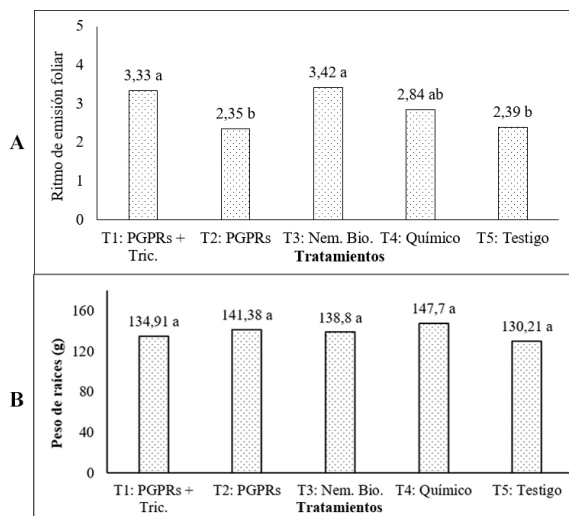


Figura 1. A) Ritmo de emisión foliar, B) Peso de raíces. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

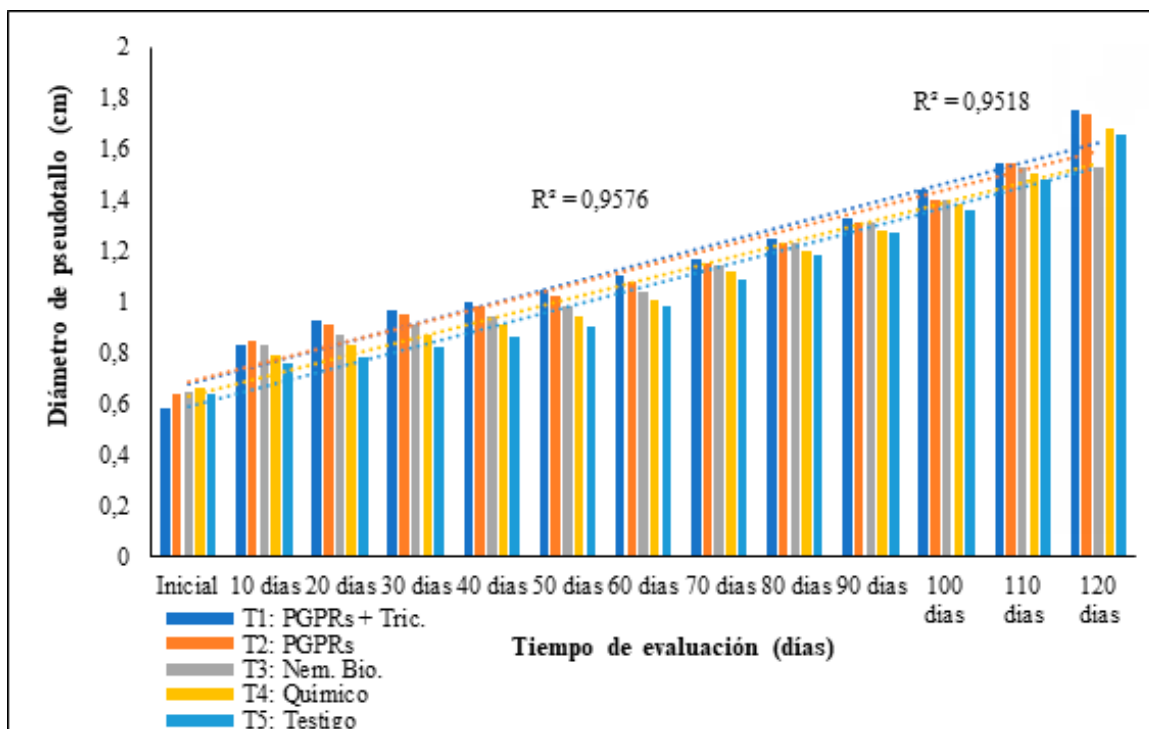


Figura 2. Promedios de diámetro de pseudotallo (cm) en los distintos tratamientos en función del tiempo de investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

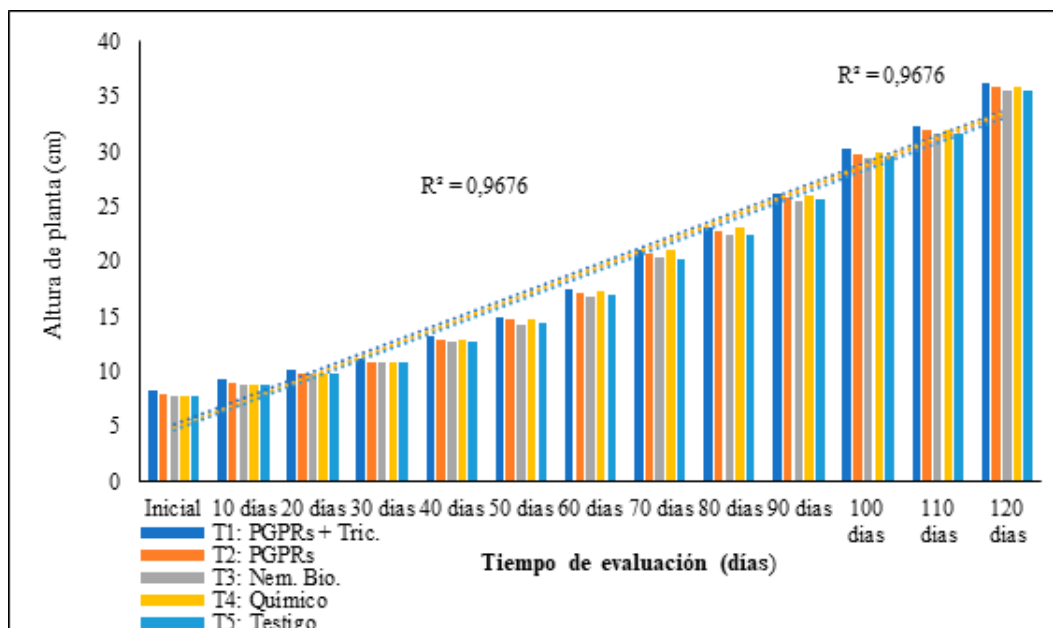


Figura 3. Promedios de altura de planta (cm) en los distintos tratamientos en función del tiempo de investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

Efecto de protección y respuesta de PGPRs en combinación con *Trichoderma* spp en la zona radicular de las plántulas

Número de raíces sanas: Al mecanismo de protección de rizobacterias y *Trichoderma* spp a raíces sanas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, al número de raíces sanas por aplicación conjunta del consorcio de PGPR + *Trichoderma* spp ejerce un mecanismo protector al sistema radicular de 15,96 raíces sanas, con similar respuesta en plantas de plátano tratadas con nematicida químico (Figura 4A). Disminuyen el sistema radicular para raíces sanas en plantas de plátano barraganete no tratadas (Figura 4A). En estudios previos se ha demostrado que las aplicaciones en conjunto de PGPRs y *Trichoderma* spp mejoran la resistencia de las raíces contra patógenos existentes en el suelo donde se incluyen a los nematodos (Maziah *et al.*, 2010). Esto surge al inducir mecanismos de defensa en las plantas y promover la actividad microbiana en los suelos (Lilley *et al.*, 2011).

Número de raíces lesionadas: Al número de raíces lesionadas, no se encontraron diferencias estadísticas entre los productos de origen biológico y químicos al control de nematodos. Donde las plantas no tratadas se incrementan las lesiones del sistema radicular con 13 raíces, a la par se encuentra el producto comercial (Trichomet) con 12,89 raíces lesionadas (Figura 4B). Finalmente, se reduce el número de raíces lesionadas por la aplicación de PGPRs + *Trichoderma* spp con 11,09 (Figura 4B). Lo que nos permite comprobar que las raíces que no reciben una completa protección con la aplicación de medidas sanitarias ya que el área radicular tendrá un elevado nivel de

afectación (Rodríguez-Romero *et al.*, 2008). Pero así mismo Kumar *et al.* (2012), manifiestan que el empleo de productos cuyo origen sea convencional o biológico generan protección contra especies de nematodos fitopatógenos, ayudando a la resistencia de las raíces, incremento de su longitud y diámetro.

Porcentaje de raíces funcionales: Consecuentemente el porcentaje de raíces funcionales se relaciona con los resultados obtenidos en las anteriores variables, no se reportaron diferencias estadísticas significativas, obteniendo un 58,49 % de raíces funcionales en las aplicaciones de PGPRs + *Trichoderma* spp, también se obtuvo una respuesta cercana al primer valor con la aplicación del nematicida químico (Figura 4C). Esto respalda la efectividad potencial de este tratamiento en la mejora de la calidad y protección del sistema radicular (Kálmán *et al.*, 2024).

Además, la aplicación de los productos de origen biológico mejoró las características del plátano barraganete sin ocasionar daños sobre el microbiota del suelo. Las rizobacterias tiene la capacidad de mantener la absorción de nutrientes y agua que es fundamental para el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales (Tyśkiewicz *et al.*, 2022).

Asimismo la capacidad de resistencia contra el ataque de estos nematodos fitopatógenos, aumentando la actividad microbiana y reduciendo los niveles de daño en las plantas (Morel *et al.*, 2021). No obstante Cobeña-Loor *et al.*, (2020), aseguran que la aplicación de productos convencionales brinda un mejor control sobre nematodos en comparación a productos orgánicos o alternativos, esto también relacionado al manejo que se emplee en el cultivo.

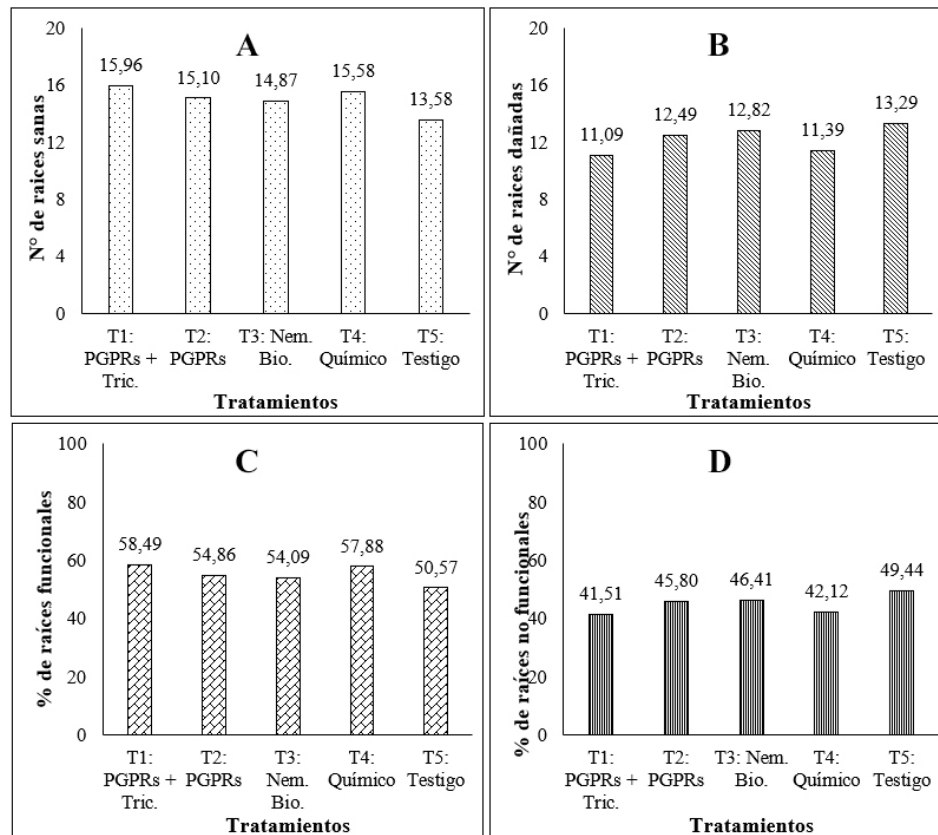


Figura 4. Resultados obtenidos en el área radicular a lo largo de la investigación. A) Número de raíces sanas, B) Número de raíces dañadas o lesionadas, C) Porcentaje de raíces funcionales, D) Porcentaje de raíces no funcionales. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$). Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

Porcentaje de raíces no funcionales: No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los productos biológicos y químicos al control de nematodos. Las plantas tratadas con PGPRs + *Trichoderma* spp y nematicida Químico reducen las poblaciones de nematodos, ejerciendo la disminución de raíces dañadas entre (41,51 % y 42,12 %). En plantas no tratadas con nematicidas se incrementa a 49,44 % de raíces no funcionales, de manera circunstancial donde se observaron raíces con un elevado margen de daño (Figura 4D). Los resultados permiten demostrar que al no aplicar medidas de protección en la zona radicular de las musáceas las afectaciones serán contundentes y en ciertos casos severas (Morel *et al.*, 2021).

Las complicaciones se presentan cuando las especies de nematodos ingresan a las raíces, una vez que estos nematodos ingresan dejan al descubierto estas heridas en las raíces mismas que también actúan para generar una afectación secundaria en el área radicular (Rueda *et al.*, 2017). La afectación secundaria ocurre cuando ciertas plagas y enfermedades aprovechan las vías de ingreso generadas por los nematodos incrementando de esta forma el porcentaje de daño (Silva-Valenzuela *et al.*, 2020). Asimismo, condiciones como temperatura y humedad en el suelo causan afectación en las raíces en el peor de los

casos estas condiciones conllevan a una pérdida total de estas raíces (Putridión) (Arévalo *et al.*, 2016).

Efecto antagonista de la actividad sinérgica de las PGPRs a *Radopholus similis*

La aplicación combinada de PGPRs + *Trichoderma* spp y únicamente de PGPRs, reducen el índice de poblaciones de nematodos en promedios de 1.105 y 2.000 nematodos por cada 100 g de raíz (Figura 5). El empleo del producto comercial biológico (Trichomet) y Nematicida químico (RUGBY 10 G) no ejercen una actividad biocontroladora a la reducción de poblaciones de nematodos, estos sobrepasan los niveles esperados por cada 100 g de raíz (López Llorca y Jansson, 2001).

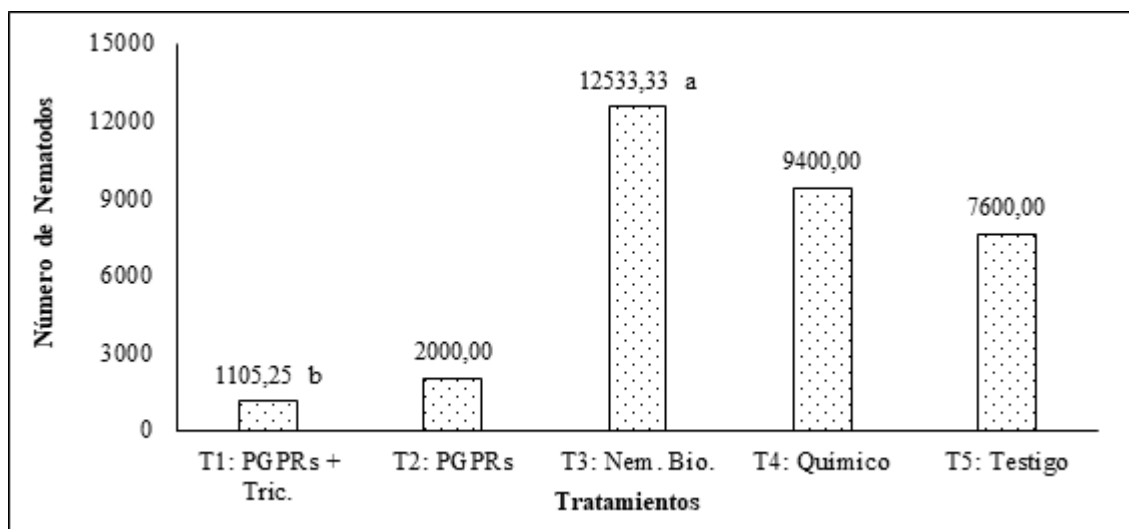


Figura 5. Promedios de número de *Radopholus similis* en los distintos tratamientos en la investigación. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0,05$). Las barras indican los valores individuales por tratamiento ($\pm$)

El producto comercial de Nematicida Biológico (Trichomet), permitió la proliferación de nematodos en el sistema radicular del plátano con la reproducción y movimiento libre en el tejido vegetal, donde se contabilizó 12.533 nematodos/100 g de raíz (Figura 5). El empleo de las PGPRs asegura una amplia protección al desarrollo radicular de plátano barraganete, colaborando en la permanencia del microbiota, gracias a que se produce compuestos bioactivos para el control de problemas de carácter fitopatógenos en este caso como *Radopholus similis* (Kálmán *et al.*, 2024).

Las aplicaciones de TrichoMet y RUGBY 10 G mostraron un margen de control muy inferior al esperado, teniendo así 9.400 nematodos cada 100 g de raíz, valor incluso mayor que el tratamiento testigo (agua) (Figura 5). Donde los productos biológicos comerciales al control de nematodos deben ser monitoreados para la protección contra nematodos. Publicaciones como la de Santoyo *et al.* (2021), definen que las aplicaciones de consorcios bacterianos de rizobacterias (PGPRs) aumentan la actividad nematicida por la secreción de metabolitos antagónicos como Proteasa, Cianuro de hidrogeno y Pirrolnitrina. Asimismo, Ugando Peñate *et al.* (2023) argumentan el empleo de medidas alternativas de uso no convencional posee propiedades antagonistas sobre especies de nematodos fitopatógenos y de manera específica sobre *Meloidogyne* spp, *M. javanica* y *R. similis*, en el caso de las primeras especies mencionadas ayuda en reducir la eclosión de sus huevos.

Conclusiones

La combinación de PGPRs + *Trichoderma* spp, y PGPRs como tratamiento individual favorecen la actividad antagonista hacia el nematodo fitopatógeno *R similis*, cuyas características como incremento celular, evidencian la capacidad de brindar

mayores efectos promotores de control, generando una equidad celular para la protección requerida. El uso de los nematicidas Trichomet y RUGBY 10G no proporcionaron diferencias en el efecto de promotor vegetal.

Sin embargo, sus aplicaciones mostraron mejores promedios en el ritmo de emisión foliar y peso de raíces evaluados a los 120 días después del inicio de la investigación teniendo así contrariedad al sinergismo presentado por las rizobacterias. La abstención de aplicaciones de protección hacia nematodos fitopatógenos presenta consecuencias irreversibles en el área radicular de las plantas, presentando raíces totalmente lesionadas y aumentan rotundamente la disminución del porcentaje de funcionamiento de la zona radicular

Referencias bibliográficas

- Ali Siddiqui, I. y Ehteshamul-Haque, S. (2001). Suppression of the root rot-root knot disease complex by *Pseudomonas aeruginosa* in tomato: The influence of inoculum density, nematode populations, moisture and other plant-associated bacteria. *Plant and Soil*, 237(1), 81-89. <https://doi.org/10.1023/A:1013313103032>
- Arévalo Gardini, E., Zúñiga, C. L., Baligar, V. C., Bailey, B. y Canto, M. (2016). *Dinámica poblacional de nemátodos asociados al sistema de cultivo tradicional de cacao en la Amazonía peruana*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.3187695.v2>
- Avellán-Vásquez, L., Cobeña-Loor, N., Estévez-Chica, S., Zamora-Macias, P., Vivas-Cedeño, J., González-Ramírez, I., y Sánchez-Urdaneta, A. B. (2020). EXPORTACIÓN Y EFICIENCIA DEL USO DE FÓSFORO EN PLÁTANO 'BARRAGANETE' (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1).

- <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.25>
- Becker, J. O., Zavaleta-Mejía, S. F., Colbert, M. N., Schroth, A. R., Weinhold, J. G., Hancock, y Van Gundy, S. D. (1988). Effects of Rhizobacteria on Root-Knot Nematodes and Gall Formation. *Phytopathology*, 78(11), 1466-1469. <https://doi.org/10.1094/phyto-78-1466>
- Casas, M., Pérez, J., Piñón, D., Bernal, A., Zardón, M. y Torres, J. (2015). Sesión: Control biológico de plagas con microorganismos. *Fitosanidad*, 19(2), 101-107. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209149784009.pdf>
- Cobeña-Loor, N. V., Espinosa-Marroquin, J. A., Avellán-Vásquez, L. E., Cedeño-Zambrano, J. R., Vaca-Sotelo, D. A., Chica-Chica, D. M., Rodríguez-Zambrano, B. M., Zambrano-Aveiga, R. H., Sánchez-Urdaneta, A. B. y López-Mejía, F. X. (2020). *Nutrición vegetal: exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano. In Nutrición vegetal: exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano.* <https://doi.org/10.17993/ingytec.2020.60>
- De Queiroz, B. P. V. y De Melo, I. S. (2006). Antagonism of *Serratia marcescens* towards *Phytophthora* parasitica and its effects in promoting the growth of citrus. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(4). <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000400008>
- Etesami, H. y Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017) *Anuario Meteorológico*: No. 53-2013. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito, Ecuador. 150 p. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>
- Kálmán, C. D., Nagy, Z., Berényi, A., Kiss, E. y Posta, K. (2024). Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. *Cereal Research Communications*, 52(1), 129-150. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00388-0>
- Kolombia, Y. A., Ogundero, O., Olajide, E., Viaene, N., Kumar, P. L., Coyne, D. L. y Bert, W. (2021). Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus* species from yam (*Dioscorea* spp.) in West Africa. *Journal of Nematology*, 52(1), 1-25. <https://doi.org/10.21307/JOFNEM-2020-126>
- Kumar, A. R., Kumar, N., Poornima, K. y Soorianathasundaram, K. (2012). Screening of in-vitro derived mutants of banana against nematodes using biochemical parameters. *African Journal of Biotechnology*, 11(88). <https://doi.org/10.5897/AJB08.587>
- Lilley, C. J., Wang, D., Atkinson, H. J. y Urwin, P. E. (2011). Effective delivery of a nematode-repellent peptide using a root-cap-specific promoter. *Plant Biotechnology Journal*, 9(2), 151-160. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2010.00542.x>
- Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Protección Vegetal*, 28(1), 1-11. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522013000100001
- Maziah, M., Zuraida, A. R., Halimi, M. S., Zulkifli, H. S. y Sreeramanan, S. (2010). Influence of boron on the growth and biochemical changes in plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated banana plantlets. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(5), 933-944. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0256-3>
- Morel, M., García, S., Castillo, Y., Moya, J. de D., Rengifo, D., Reinoso, T. y Martínez Monegro, N. (2021). Aislamiento y selección de hongos endófitos nativos con potencial antagónico a nematodos fitoparásitos en plantaciones de banano en Valverde y Montecristi. *APF*, 10(1), 11-24. <https://sodiasf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/126>
- Orlando, V., Edwards, S. G., Neilson, R., Prior, T., Roberts, D. y Back, M. (2020a). Comparing the efficiency of six common methods for DNA extraction from root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.). *Nematology*, 23(4), 415-423. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10049>
- Orlando, V., Grove, I. G., Edwards, S. G., Prior, T., Roberts, D., Neilson, R. y Back, M. (2020b). Root-lesion nematodes of potato: Current status of diagnostics, pathogenicity and management. *Plant Pathology*, 69(3), 405-417. <https://doi.org/10.1111/ppa.13144>
- Palomares-Rius, J. E., Cantalapiedra-Navarrete, C. y Castillo, P. (2014). Cryptic species in plant-parasitic nematodes. *Nematology*, 16(10), 1105-1118. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002831>
- Rodríguez-Romero, A. S., Badosa, E., Montesinos, E., y Jaizme-Vega, M. C. (2008). Growth promotion and biological control of root-knot nematodes in micropropagated banana during the nursery stage by treatment with specific bacterial strains. *Annals of Applied Biology*, 152(1), 41-48. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00189.x>
- Rueda Puente, E. O., Holguín-Peña, R. J., Preciado Rangel, P., Fortis Hernandez, M., Hernández Montiel, L. G. y Ruiz Espinoza, F. H. (2017). Identificación y dinámica poblacional de nemátodos fitoparásitos asociados a la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 707-720. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.613>
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. D. C. y Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (Pgpr). *Biology*, 10(6), 475. <https://doi.org/10.3390/biology10060475>

- Siddiqui, I. A. y Shaukat, S. S. (2003). Suppression of root-knot disease by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in tomato: Importance of bacterial secondary metabolite, 2,4-diacetylphloroglucinol. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12), 1615-1623. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.08.006>
- Silva-Valenzuela, M., Rojas-Martínez, R. I., Manzanilla-López, R. H., Macías-Rubalcava, M. L., Aranda-Ocampo, S. y Zavaleta-Mejía, E. (2020). Hongos endófitos: Una alternativa biológica para el manejo de nematodos fitoparásitos. *Nematropica*, 50(1), 101-117. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/126284>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E. y Jaroszuk-ścisiel, J. (2022). *Trichoderma*: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Ugando Peñate, M., Sabando García, Á. R., Armas Herrera, R., Higuerey Gómez, Á. A. y Villalón Peñate, A. (2023). Modelización econométrica aplicada y pronósticos de niveles exportables para el plátano barraganete en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Revista de La Universidad Del Zulia*, 14(39). <https://doi.org/10.46925/rdluz.39.08>
- Wulandari, S., Netty, S. y Suriyanti, S. (2021). Pengaruh konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan pupuk KCl terhadap pertumbuhan dan produksi pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal AGrotekMAS*, 2(3). <https://jurnal.fp.umi.ac.id/index.php/agrotekmas/article/view/216>



Absorción de nutrientes de la pimienta negra (*Piper nigrum*) al inicio de su producción

Nutrient uptake of black pepper (*Piper nigrum*) at the onset of production

Liliana Lisbeth Zúñiga Sánchez¹, Rodrigo Alberto Saquicela Rojas², Olga Benigna Pérez Chamorro²

¹Fertisa AGIF C.L., Ecuador.

²Universidad UTE, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Ecuador.

Autor de correspondencia: rodrigo.saquicela@ute.edu.ec

Recibido: 17/06/2024. Aceptado: 26/05/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

La absorción de nutrientes por el cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) es fundamental para estimar su demanda nutricional y diseñar planes de fertilización eficientes. Este estudio evaluó la absorción de nutrientes en diferentes órganos de la planta al inicio de su producción (1,5 años) en un cultivo ubicado en la parroquia Valle Hermoso, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Se empleó el diseño completamente al azar simple, utilizando la prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves para comparar medias ($\alpha = 0,05$). Los tratamientos incluyeron los órganos de la planta, los macronutrientes y los micronutrientes, con tres repeticiones por tratamiento. Los principales resultados revelaron que hojas presentaron los mayores contenidos de nitrógeno, potasio y calcio ($2,86 \pm 0,18$ a $3,14 \pm 0,26$ dag kg⁻¹), mientras que las raíces tuvieron más de boro, zinc, cobre y hierro. De igual forma, las hojas acumularon la mayor cantidad de nitrógeno, calcio y azufre ($1,00 \pm 0,32$ a $40,5 \pm 3,1$ kg ha⁻¹), así como de boro, zinc y manganeso ($32,6 \pm 3,9$ a $217,1 \pm 21,5$ g ha⁻¹). La absorción de los macronutrientes por el cultivo siguió el orden nitrógeno = potasio = calcio > magnesio > fósforo = azufre, mientras que para los micronutrientes fue hierro > manganeso > zinc > boro > cobre. Estos resultados son relevantes para diseñar planes de fertilización que optimicen la disponibilidad y absorción de nutrientes en el cultivo de pimienta negra en su etapa inicial de producción.

Palabras clave: Nutrición vegetal, cultivo, cosecha, órganos vegetales.

Abstract

Nutrient uptake by black pepper (*Piper nigrum*) is crucial for estimating its nutritional demand and designing efficient fertilization plans. This study evaluated nutrient absorption in different plant organs during the initial production stage (1,5 years) in a crop located in Valle Hermoso parish, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. A completely randomized design was used, applying the Di Rienzo, Guzman and Casanoves test for mean comparisons ($\alpha = 0,05$). Treatments included plant organs, macronutrients, and micronutrients, with three replicates per treatment. The main results revealed that leaves had the highest contents of nitrogen, potassium, and calcium ($2,86 \pm 0,18$ to $3,14 \pm 0,26$ dag kg⁻¹), while roots accumulated higher amounts of boron, zinc, copper, and iron. Similarly, leaves absorbed the largest quantities of nitrogen, calcium, and sulfur ($1,00 \pm 0,32$ to $40,5 \pm 3,1$ kg ha⁻¹), as well as boron, zinc, and manganese ($32,6 \pm 3,9$ to $217,1 \pm 21,5$ g ha⁻¹). Macronutrient uptake followed the order nitrogen = potassium = calcium > magnesium > phosphorus = sulfur, while for micronutrients, it was iron > manganese > zinc > boron > copper. These findings are essential for designing fertilization plans that optimize nutrient availability and uptake in black pepper crops during their initial production stage.

Keywords: Plant nutrition, cultivation, harvest, plant organs.

Introducción

La producción mundial de pimienta negra (*Piper nigrum*) abarca aproximadamente 609.000 ha, con una producción total de 621.000 Mg (Resmi y Divya, 2024). Vietnam lideró en 2020 como el mayor productor, con 270.000 Mg cultivadas en 132.000 ha (Tran *et al.*, 2022). En América Latina, Brasil produce 44.610 Mg anuales, mientras que Ecuador aporta alrededor de 2.234 Mg (Hernández-Leal y Sánchez, 2021).

La absorción de nutrientes es crucial para el crecimiento y desarrollo de la pimienta negra. Issukindarsyah *et al.* (2021) reportaron que, a los 8 meses, el nitrógeno (N) y el potasio (K) se concentran principalmente en las hojas (47-51,5 % de N y 67-75,12 % de K), mientras que el fósforo (P) se distribuye de manera más uniforme entre ramas y hojas. Esta distribución refleja su papel en procesos fisiológicos clave, como la fotosíntesis (N y K) y la formación de estructuras celulares (P). Durante la cosecha, Dalazen *et al.* (2022a) encontraron que 1.000 kg de grano acumulan 19,2 kg de N; 1,21 kg de P; 3,67 kg de K; 9,85 kg de calcio (Ca); 0,73 kg de magnesio (Mg); 0,87 kg de azufre (S); 12,91 mg de hierro (Fe); 12,03 mg de zinc (Zn); 6,45 mg de cobre (Cu); 33,44 mg de manganeso (Mn) y 14,08 mg de boro (B), destacando la necesidad de una fertilización balanceada en cuanto a macro y micronutrientes para mantener la productividad. Además, resaltan que la cáscara y el pedúnculo, aunque no son comercializados, contienen nutrientes que podrían reciclarse para reducir el uso de fertilizantes externos.

Yap (2012) observó que la acumulación de Ca y Mg se mantiene estable durante el cultivo, mientras que la de N, P y K aumenta durante las etapas vegetativas y reproductivas. A los 30 meses, el cultivo absorbe 293,0 kg de N ha⁻¹; 265,0 kg de K ha⁻¹; 46,4 kg de P ha⁻¹; 35,4 kg de Mg ha⁻¹ y 74,8 kg de Ca ha⁻¹. El estudio enfatiza la importancia de una fertilización balanceada y adaptada a las necesidades fenológicas del cultivo, destacando también la relevancia de considerar tanto macronutrientes como micronutrientes para asegurar la productividad y sostenibilidad a largo plazo. Resmi y Divya (2024) identificaron genotipos prometedores para mejorar la producción de grano, pero la falta de datos sobre absorción de nutrientes limita la comprensión de los factores que influyen en el rendimiento, sugiriendo la necesidad de investigaciones que analicen la nutrición vegetal y su impacto en el rendimiento y calidad del cultivo. Swarnapriya (2020) enfatizó la importancia del manejo nutricional de N, P y K aplicado por vía foliar, el pH del suelo y el espaciamiento, aunque sin profundizar en el impacto de otros nutrientes, lo que sugiere la necesidad de investigar prácticas de manejo para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del cultivo.

A pesar de los avances, persisten vacíos en el conocimiento sobre la absorción y distribución de macro y micronutrientes en los órganos de la pimienta negra durante el inicio de la producción, una etapa crítica para el rendimiento. Estudios

previos han aportado información valiosa sobre la distribución de nutrientes en hojas y ramas, así como durante la cosecha, lo que es crucial para diseñar planes de fertilización eficientes. Sin embargo, se carece de datos específicos sobre la absorción de estos nutrientes en los órganos de la planta (raíces, tallos, ramas, hojas, inflorescencias y frutos) durante el inicio de la producción del cultivo.

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la absorción y distribución de macro y micronutrientes en los diferentes órganos de la pimienta negra al inicio de su producción, con el fin de proporcionar información de referencia para la elaboración de planes de fertilización más eficientes y adaptados a las demandas del cultivo.

Materiales y métodos

Sitio del estudio

Esta investigación se llevó a cabo en un cultivo de pimienta negra de 1,5 años de edad, que se encontró establecido desde el 2016, en una finca localizada en las coordenadas 0° 5' 13,58" de latitud sur y 79° 16' 49,44" de longitud oeste, a una altitud de 307 m s.n.m. La finca se ubicaba en la parroquia Valle Hermoso, a 5,28 km por la ruta Flor del Valle, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

En relación con el orden del suelo, el cultivo estuvo en un Andisol (Quezada-Crespo *et al.* 2017). Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017), la región presentó una heliofanía de 753,2 h año⁻¹, una precipitación anual de 2.770,6 mm, una humedad relativa mensual del 86,0 % y una temperatura mensual de 24,1 °C. El clima se caracteriza por una estación seca que va de junio a noviembre y una estación lluviosa de diciembre a mayo.

Diseño experimental

Se consideraron tres experimentos bajo un diseño completamente al azar simple, cada uno con tres repeticiones. En el primer experimento, los tratamientos consistieron en los órganos de la planta: raíces, tallos, ramas, hojas, inflorescencias, racimos tiernos, racimos maduros (con frutos rojos), frutos y pedúnculos de los racimos maduros. En el segundo, los macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S; y en el tercero, los micronutrientes: Fe, Cu, B, Zn y Mn (Dalazen *et al.*, 2022a; Yap, 2012). Las repeticiones correspondieron a las plantas seleccionadas del cultivo con mayor producción de racimos, siguiendo los criterios establecidos por Cordeiro *et al.* (2025).

El cultivo se encontraba en la fase inicial de producción de racimos al momento del muestreo. Las plantas estaban dispuestas en el campo, con tutor muerto y con un espaciamiento de 2 m x 2 m, lo que equivale a una densidad de 2.500 plantas por hectárea. Alrededor de cada planta seleccionada, se tomaron 8 submuestras de suelo en un patrón zig-zag, dentro de un radio de 1 m desde el tallo y a una profundidad de 20 cm,

para formar una muestra compuesta por planta (Zu *et al.*, 2014). En cuanto al manejo del cultivo, la fertilización la realizaron en la siembra con 18,4 kg N ha⁻¹; 55,2 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 18,4 kg K₂O ha⁻¹. El control de malezas se llevó a cabo mediante chapas y herbicidas. No se realizaron podas en el cultivo.

Medición de variables

A cada muestra compuesta de suelo se le midió el pH utilizando un electrodo en una dilución suelo: agua de 1:2,5. La acidez intercambiable se extrajo con KCl 1 N y se determinó mediante volumetría. Las bases de cambio (Ca, Mg, K) y los micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn) se extrajeron con Olsen Modificado a pH 8,5 y se cuantificaron por absorción atómica. La materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black, mientras que el N extraíble como amonio (NH₄⁺), el P y el B solubles se midieron por colorimetría. El S se determinó por turbidimetría, y la clase textural se evaluó mediante el método de Boyoucos (Mailappa, 2024).

Los órganos diseccionados se pesaron en fresco utilizando una balanza de precisión. Se seleccionaron muestras de cada órgano que pesaban entre 30 y 300 g, en función de su disponibilidad. Después de la pesada, los órganos se secaron a una temperatura de 65,0 °C durante 48 h para determinar el contenido de materia seca, siguiendo el método descrito por Muñoz *et al.* (2016). Para determinar el contenido de nutrientes de cada órgano, se utilizó el método de digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico en una proporción de 2:1. La determinación de N se realizó mediante el método de Kjeldahl, mientras que el P y el B se determinaron mediante colorimetría. Los nutrientes de K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn se determinaron mediante absorción atómica, y el S se determinó mediante turbidimetría, siguiendo el método descrito por Pereira *et al.* (2016). El peso de la materia seca del cultivo se calculó utilizando la descripción de Cordeiro *et al.* (2025) (ver Ecuación 1).

$$MS = \sum (MH \times S/100 \times 2.500) \quad (1)$$

Donde *MS* es la cantidad de la materia seca (kg ha⁻¹) del cultivo de 1,5 años de plantado, *MH x S/100* es el peso de la materia seca de cada órgano (kg), *S* es el contenido de materia seca de cada órgano (dag kg⁻¹), *MH* es el peso de materia húmeda de cada órgano (kg) y 2.500 es el número de plantas por hectárea. La cantidad de nutrientes acumulados por el cultivo se calculó según el método descrito por Yap (2012) (ver Ecuación 2).

$$PE = \sum (MS \times E/r) \quad (2)$$

Donde *PE* es la acumulación de macronutrientes (kg ha⁻¹) o micronutrientes (g ha⁻¹) por el cultivo de 1,5 años de plantado, *E* es el contenido de macronutrientes (dag kg⁻¹) y micronutrientes (mg kg⁻¹) por órgano, *r* = 100 si *E* es macronutriente o *r* = 1.000 si *E* es micronutriente, *MS x E/r* es el peso de la acumulación de un nutriente por un órgano.

Análisis estadístico

Las variables se analizaron con el modelo lineal general y mixto en interfaz, con paquetes de R a través del programa InfoStat versión 2020 (Turiello *et al.*, 2018). Se llevó a cabo la prueba de hipótesis marginal y se compararon las medias de la producción de materia seca, contenido y acumulación de nutrientes de los órganos y planta entera, con la prueba de Di Rienzo *et al.* (2002) para su separación en rangos de significancia. El nivel de significancia utilizado fue $\alpha = 0,05$.

Resultados

Fertilidad del suelo

El análisis general de la fertilidad del suelo evidenció un pH altamente ácido, niveles de acidez que oscilan entre moderados y tóxicos, así como concentraciones bajas de N, P, K y B. Por otro lado, se registraron niveles medios de Ca, Mn, Zn, saturación de acidez, suma de bases y capacidad de intercambio catiónico efectiva, mientras que los niveles de S, Cu y Fe resultaron elevados (Tabla 1). No obstante, es importante destacar que estos diagnósticos se basan en la medición de nutrientes extraíbles, lo que no refleja necesariamente la capacidad del suelo para mantener un suministro constante de nutrientes a lo largo del tiempo. Una alternativa complementaria es el diagnóstico mediante el poder de amortiguamiento de nutrientes, el cual evalúa la capacidad del suelo para mantener la disponibilidad de nutrientes, independientemente de las adiciones o extracciones que se realicen (Nair, 2022).

Rendimiento de materia seca de cultivo

Los resultados de este estudio demostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el rendimiento de materia seca entre los distintos órganos de la pimienta negra (*Piper nigrum* L.). Los mayores rendimientos de materia seca se registraron en tallos y ramas, con valores medios de 1.219,1 ± 86,9 kg ha⁻¹ a 1.421,4 ± 101,3 kg ha⁻¹, respectivamente, seguidos por la producción de racimos tiernos, maduros, frutos y hojas. Por el contrario, las inflorescencias mostraron la menor producción de materia seca, lo que resalta la variabilidad en la distribución de biomasa dentro de la planta (Tabla 2). Estos resultados son similares a los de Issukindarsyah *et al.* (2021), quienes reportaron que las plantas de pimienta negra cultivadas con tutores muertos produjeron una mayor cantidad de ramas (47,44 g planta⁻¹) en comparación con las hojas (36,73 g planta⁻¹) y raíces (8,04 g planta⁻¹), un patrón también observado con tutores vivos y la aplicación de N. Estos hallazgos resaltan la variabilidad en la distribución de materia seca entre los órganos de la pimienta negra, donde tallos y ramas actúan como los principales reservorios de biomasa.

Cabe destacar que el rendimiento de materia seca en las hojas es fundamental para la producción de racimos, ya que una mayor cantidad de hojas favorece la formación de yemas, las cuales son esenciales para la reproducción y, por ende, para una mayor producción de frutos (Dombroskie *et al.*, 2016).

Tabla 1. Parámetros de la fertilidad del suelo del cultivo de la pimienta negra

Parámetro	Valor [†]	Parámetro	Valor [†]
pH	4,8 ± 0,06	Zn (mg kg ⁻¹)	2,0 ± 0,1
Materia orgánica (dag kg ⁻¹)	4,0 ± 0,1	Cu (mg kg ⁻¹)	7,4 ± 0,3
Al (cmol(+) kg ⁻¹)	0,71 ± 0,05	Fe (mg kg ⁻¹)	100,0 ± 1,2
Al + H (cmol(+) kg ⁻¹)	3,11 ± 0,08	Mn (mg kg ⁻¹)	5,2 ± 0,1
Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	6,0 ± 0,0	B (mg kg ⁻¹)	0,36 ± 0,03
Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	0,8 ± 0,03	Arena (dag kg ⁻¹)	46,0 ± 2,9
K (cmol(+) kg ⁻¹)	0,17 ± 0,01	Limo (dag kg ⁻¹)	48,0 ± 2,9
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	15,0 ± 1,0	Arcilla (dag kg ⁻¹)	6,0 ± 0,0
P (mg kg ⁻¹)	2,0 ± 0,0	Clase textural	Franco arenoso
S (mg kg ⁻¹)	27,0 ± 4,0		

[†] Media ± error estándar de 3 muestras compuestas

Tabla 2. Rendimiento de materia seca del cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) de 1,5 años, Santo Domingo, Ecuador

Órgano	Materia seca (kg ha ⁻¹) ^{†****}
Raíces	152,8 ± 10,9 d
Tallos	1.219,4 ± 86,9 a
Ramas	1.421,4 ± 101,3 a
Hojas	541,9 ± 38,6 c
Inflorescencias	5,0 ± 0,4 f
Racimos tiernos	850,0 ± 60,6 b
Racimos maduros	782,2 ± 55,7 b
Frutos	753,0 ± 53,7 b
Pedúnculos	29,2 ± 2,1 e
Total	4.972,6 ± 134,8

[†] Medias ± error estándar seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Di Rienzo *et al.* (2002) $p > 0,05$).

Contenido de nutrientes en el cultivo

Los contenidos más altos ($p \leq 0,05$) de macronutrientes se concentraron en órganos específicos de la planta. Las hojas presentaron los mayores niveles de N, K y Ca, con valores que oscilaron entre $2,86 \pm 0,18$ y $3,14 \pm 0,26$ dag kg⁻¹, mientras que las inflorescencias mostraron el mayor contenido de P. Por otro lado, el Mg se distribuyó de manera similar en raíces, tallos e inflorescencias, y el S se encontró en mayores cantidades en inflorescencias y racimos tiernos (Tabla 3). Abd-Hamid *et al.* (2023) reportaron que el contenido foliar de N en el cultivo de pimienta negra oscila entre 0,6-1,2 %, valores inferiores a los encontrados en este estudio. En cuanto al P, observaron concentraciones de 0,1-0,13 %, superiores a las registradas en la presente investigación. Por otro lado, el contenido de

K es de 1,2-2,0 %, también menor en comparación con los resultados obtenidos en este trabajo. Además, los factores como el tipo de suelo, el pH, la edad de las plantas y el manejo de la fertilización pueden influir significativamente en la absorción y distribución de nutrientes.

Boniche *et al.* (2007) reportaron que los contenidos foliares de N, P, K y S del palmito (*Bactris gasipaes*, H.B.K.) varían a lo largo del año; mientras que, los de Ca y Mg permanecen homogéneos. La pluviosidad, formación del suelo, residuos de la cosecha, ubicación de la hoja y manejo del cultivo influyen en las fluctuaciones de los contenidos nutricionales.

Tabla 3. Contenido de nutrientes del cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) de 1,5 años, Santo Domingo, Ecuador

Órganos	Contenido de nutrientes en base seca					
	Macronutrientes (dag kg ⁻¹)					
	Nitrógeno ^{†***}	Fósforo ^{†***}	Potasio ^{†**}	Calcio ^{†***}	Magnesio ^{†**}	Azufre ^{†**}
Raíces	1,0 ± 0,2 c	0,03 ± 0,004 c	2,17 ± 0,12 b	1,99 ± 0,12 b	0,25 ± 0,01 a	0,02 ± 0,01 b
Tallos	1,6 ± 0,1 c	0,02 ± 0,004 c	1,85 ± 0,12 b	1,53 ± 0,1 c	0,22 ± 0,01 a	0,02 ± 0,01 b
Ramas	1,6 ± 0,2 c	0,03 ± 0,004 c	1,96 ± 0,12 b	1,58 ± 0,1 c	0,18 ± 0,01 b	0,02 ± 0,01 b
Hojas	2,8 ± 0,2 a	0,04 ± 0,01 b	3,14 ± 0,26 a	2,86 ± 0,18 a	0,17 ± 0,01 b	0,07 ± 0,02 a
Inflorescencias	1,7 ± 0,2 c	0,17 ± 0,03 a	1,81 ± 0,12 b	1,26 ± 0,08 d	0,25 ± 0,01 a	0,06 ± 0,02 a
Racimos tiernos	2,0 ± 0,1 b	0,08 ± 0,01 b	1,78 ± 0,12 b	0,97 ± 0,06 e	0,20 ± 0,01 b	0,10 ± 0,03 a
Racimos maduros	1,6 ± 0,2 c	0,05 ± 0,01 b	1,68 ± 0,12 b	0,92 ± 0,06 e	0,19 ± 0,01 b	0,03 ± 0,01 b
Frutos	1,6 ± 0,2 c	0,05 ± 0,01 b	1,39 ± 0,26 b	0,91 ± 0,06 e	0,19 ± 0,01 b	0,03 ± 0,01 b
Pedúnculos	1,2 ± 0,2 c	0,02 ± 0,004 c	1,80 ± 0,12 b	1,15 ± 0,07 d	0,19 ± 0,01 b	0,03 ± 0,01 b
Total^{†***}	2,0 ± 0,06 A	0,04 ± 0,01 C	1,86 ± 0,06 A	1,74 ± 0,04 A	0,19 ± 0,01 B	0,05 ± 0,01 C
	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
	Boro ^{†***}	Zinc ^{†***}	Cobre ^{†***}	Hierro ^{†**}	Manganeso ^{†***}	
Raíces	28 ± 3,5 a	27,6 ± 0,4 a	26,7 ± 2,0 a	315,0 ± 57,0 a	29,7 ± 1,8 d	
Tallos	9,3 ± 1,7 c	17,7 ± 2,0 c	24,0 ± 1,8 a	191,7 ± 35,0 b	31,3 ± 1,8 d	
Ramas	17,0 ± 2,1 b	25,0 ± 0,3 b	16,0 ± 1,2 b	116,7 ± 22,0 b	152,3 ± 9,0 a	
Hojas	23 ± 2,9 a	30,3 ± 1,7 a	11,3 ± 0,8 b	159,0 ± 29,0 b	30,0 ± 1,8 d	
Inflorescencias	7,7 ± 1,0 c	31,7 ± 1,7 a	23,0 ± 1,7 a	135,7 ± 25,0 b	48,3 ± 2,8 b	
Racimos tiernos	26,0 ± 3,2 a	17,7 ± 0,3 c	14,3 ± 1,1 b	198,0 ± 36,0 b	36,7 ± 2,2 c	
Racimos maduros	15,3 ± 1,9 b	15,4 ± 0,3 d	13,7 ± 1,0 b	136,0 ± 25,0 b	27,7 ± 1,6 d	
Frutos	14,7 ± 1,8 b	15,0 ± 0,3 d	13,7 ± 1,0 b	133,7 ± 25,0 b	27,7 ± 1,6 d	
Pedúnculos	28,7 ± 3,6 a	24,7 ± 0,3 b	12,0 ± 0,9 b	192,6 ± 4,0 b	25,3 ± 1,5 d	
Total^{†***}	19,4 ± 1,5 C	23,0 ± 0,5 C	15,2 ± 0,5 D	161,1 ± 16,3 A	66,0 ± 1,5 B	

† Medias ± error estándar seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Di Rienzo *et al.*, (2002) $p > 0,05$). Las minúsculas se leen por columnas; las mayúsculas, para la fila del total.

Los resultados obtenidos evidencian una distribución diferencial del contenido de macronutrientes en los distintos órganos de la planta, lo que sugiere una especialización funcional en la acumulación y utilización de estos elementos. Según De Mello (2021), los macronutrientes se redistribuyen desde las hojas a los sumideros, como las hojas nuevas y los frutos, ya sea en forma de compuestos orgánicos o como elemento, que finalmente participan en la formación de materia seca de la planta. Las hojas tuvieron los mayores contenidos de N, K, Ca, S; las inflorescencias, los mayores contenidos de P, Mg y S. Los contenidos se ajustan a las funciones de los órganos en la planta, ya sea como fuente o sumidero.

Estos resultados resaltan la complejidad de la dinámica nutricional en las plantas y la necesidad de abordar estudios más detallados que exploren las interacciones entre los nutrientes y su impacto en el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos. Además, estos hallazgos podrían servir como base para el diseño de estrategias de manejo agronómico más eficientes, orientadas a maximizar la absorción y utilización de nutrientes en los órganos clave de la planta.

Por otro lado, la planta en su conjunto mostró los mayores contenidos de N, K y Ca, con valores que oscilaron entre $1,74 \pm 0,04$ y $2,0 \pm 0,06$ dag kg⁻¹. En cuanto a la distribución de macronutrientes, se observó el siguiente orden: N = K = Ca > Mg > P = S (Tabla 3). Según De Mello (2021), los contenidos típicos de macronutrientes en las plantas son del 2,0 % de N; 2,5 % de K y 1,3 % de Ca, que son similares a los observados, excepto para el K que tuvo menor contenido. Además, la alta concentración de N, K y Ca en la planta sugiere que estos nutrientes son esenciales para el crecimiento vegetativo y reproductivo, mientras que la menor concentración de Mg, P y S refleja su papel más específico en procesos fisiológicos. Esta diferencia podría deberse a factores específicos del cultivo de pimienta negra, como la fertilidad del suelo (Tabla 1), el manejo de la fertilización o las características genéticas de la planta. Futuras investigaciones podrían enfocarse en evaluar el impacto de diferentes prácticas de fertilización y manejo del suelo en la absorción y distribución de nutrientes, especialmente en condiciones de suelos ácidos o con limitaciones de fertilidad.

En cuanto a los micronutrientes, las raíces mostraron un mayor ($p \leq 0,05$) contenido de B, Zn, Cu y Fe, mientras que las hojas y las inflorescencias destacaron por su alto contenido de Zn ($26,7 \pm 2,0$ a $315,0 \pm 57,0$ mg kg⁻¹). Las ramas fueron el tejido con el mayor contenido de Mn (Tabla 3). Estos resultados sugieren que la distribución de micronutrientes varía significativamente entre los diferentes tejidos de la planta, lo que podría estar relacionado con sus funciones fisiológicas específicas, como ser componentes integrales de enzimas esenciales del metabolismo vegetal (De Mello, 2021). En cuanto a la distribución de micronutrientes en los órganos de la planta, las raíces mostraron el mayor contenido de la mayoría de estos elementos, lo que concuerda con los hallazgos de Magalhães *et al.* (2023) en pimienta dulce

(*Capsicum chinense* Jacquin), quienes destacaron que las raíces son el principal órgano de absorción y almacenamiento de nutrientes. Este patrón podría estar relacionado con la función de las raíces como la primera barrera de absorción de nutrientes desde el suelo, así como con su papel en la regulación del transporte de estos elementos hacia otras partes de la planta.

Dalazen *et al.* (2022b) observaron que los contenidos de Zn (25,0-35,0 mg kg⁻¹) y Cu (5,0-25,0 mg kg⁻¹) en las hojas de pimienta negra fueron similares a los observados en la presente investigación; mientras que, los del B (30,0-50,0 mg kg⁻¹), Mn (90,0-170,0 mg kg⁻¹) y Fe (10,0-120,0 mg kg⁻¹) no coincidieron. Además, en dos ciclos seguidos de cosecha el contenido de micronutrientes cambia de aproximadamente de 22,0 a 35,0 mg Zn kg⁻¹; de 42,0 a 36,0 mg B kg⁻¹ y de 85,0 a 76,0 mg Fe kg⁻¹. El Cu y Mn se mantuvieron estables en 10,0 y 160,0 mg kg⁻¹, respectivamente. Asimismo, el contenido de micronutrientes de los racimos maduros fue similar para el Zn y no coincidieron para el del Fe, Cu, Mn y B; que también varían entre ciclos. La variación del contenido de nutrientes se debería a cambios de la bioquímica vegetal, causados entre otros, por el suelo, clima y manejo del cultivo.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que la absorción de nutrientes está influenciada por una interacción dinámica entre la fisiología de la planta y las condiciones ambientales. Por lo tanto, es fundamental considerar estos factores al evaluar el contenido nutricional de los cultivos y al diseñar estrategias de manejo agronómico que optimicen la absorción y utilización de micronutrientes.

El contenido total de Fe fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) en la planta entera, con un valor de $161,1 \pm 16,3$ mg Fe kg⁻¹, lo que destaca la importancia de este micronutriente en el metabolismo vegetal. El orden del contenido de micronutrientes en la planta fue Fe > Mn > B = Zn > Cu (Tabla 3), que coincidió en su mayoría con el orden publicado por De Mello (2021) para las plantas en general, excepto que el B y el Zn fueron iguales en la presente investigación. Esta discrepancia podría atribuirse a las condiciones específicas del cultivo, como el manejo, el clima, el suelo, pueden influir en la absorción y distribución de estos elementos en la planta (Boniche *et al.*, 2007).

El micronutriente con mayor contenido en la planta fueron el Fe seguido del Mn; el de menor contenido, el Cu. Las raíces fueron el órgano con mayor contenido de la mayoría de los micronutrientes. Es importante analizar el contenido de los micronutrientes de los órganos de la planta en varias condiciones de suelo, clima y manejo para estimar con más precisión su variabilidad.

Acumulación de nutrientes por el cultivo

Las hojas presentaron la mayor ($p \leq 0,05$) acumulación de N, Ca y S, entre $1,00 \pm 0,32$ y $40,5 \pm 3,1$ kg ha⁻¹, seguido de las ramas, que mostraron los niveles más altos de K y Mg. Por otro lado, las raíces registraron los menores contenidos de N,

P, K, Ca, Mg y S (Tabla 4). Estos resultados coinciden con los hallazgos de Issukindarsyah *et al.* (2021), quienes señalaron que las hojas de pimienta negra acumulan más N ($0,916 \text{ g planta}^{-1}$) y P ($0,15 \text{ g planta}^{-1}$) que las ramas, seguido por las raíces. Sin embargo, el K ($1,414 \text{ g planta}^{-1}$) es más acumulado por las ramas.

Las hojas y las ramas fueron los órganos con mayor acumulación de macronutrientes, lo que sugiere que estos tejidos desempeñan un papel crucial en el almacenamiento y redistribución de nutrientes durante el crecimiento y desarrollo de la planta. Por el contrario, las raíces, inflorescencias y pedúnculos mostraron las menores acumulaciones, lo que podría estar relacionado con su función primaria en la absorción de nutrientes y el soporte estructural, respectivamente. Este patrón de distribución de nutrientes es consistente con lo observado por Zhang *et al.* (2019) en pimiento (*Capsicum annuum* L.), donde las hojas y los frutos acumularon las mayores cantidades de nutrientes, mientras que las raíces, aunque esenciales para la absorción de nutrientes, presentaron una menor acumulación, lo que refuerza la idea de que los órganos aéreos son clave en el almacenamiento y redistribución de nutrientes durante el desarrollo de la planta.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la distribución de macronutrientes en los diferentes órganos de la planta para optimizar las prácticas de fertilización y mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes. Esta idea está de acuerdo con lo propuesto por Cordeiro *et al.* (2025), quienes destacan que comprender la dinámica de la acumulación de nutrientes por parte del cultivo es fundamental para diseñar planes de fertilización efectivos.

En este contexto, es clave aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar adecuados, principios conocidos como las 4R de la nutrición vegetal (*Right Source, Right Rate, Right Time, Right Place*) (Flis, 2019).

Las hojas fueron el órgano que acumuló más cantidad de la mayoría de macronutrientes, seguido de las ramas. Es importante que en futuras investigaciones se evalúe por edades la cantidad acumulada de macronutrientes, para estimar su traslocación y reciclaje entre órganos de la planta, con el fin de conocer su dinámica nutricional.

El cultivo de pimienta negra acumuló una cantidad significativamente mayor ($p \leq 0,05$) de N, K y Ca, con valores que oscilaron entre $86,4 \pm 4,0$ y $97,9 \pm 0,95 \text{ kg ha}^{-1}$. El orden de acumulación de los nutrientes fue el siguiente: $N = K = Ca > Mg > P = S$ (Tabla 4). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Paduit *et al.* (2018), quienes también observaron que la pimienta negra acumula principalmente más cantidad de N que de K, seguido de Ca, Mg y P. Sin embargo, las cantidades de N y K acumuladas son mayores (160 kg ha^{-1} de N y 125 kg ha^{-1} de K) en comparación con los valores observados en esta investigación, sin embargo, se acumula más llegando a su máximo a los 26 meses de edad.

Las diferencias en las cantidades de nutrientes acumulados pueden atribuirse a varios factores, como las condiciones del suelo, el manejo del cultivo, la variedad de pimienta negra utilizada y las prácticas de fertilización. En el estudio de Paduit *et al.* (2018), es posible que las condiciones del suelo y el manejo del cultivo hayan favorecido una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que resultó en una mayor acumulación de N y K. Los resultados de este estudio subrayan la importancia de un manejo nutricional adecuado en el cultivo de pimienta negra. Dado que la acumulación de N, K y Ca es significativamente mayor, es esencial la aplicación de estos nutrientes en cantidades adecuadas y en los momentos críticos del ciclo de cultivo, especialmente durante la etapa de desarrollo del fruto. Además, la aplicación de fertilizantes debe considerar la distribución de nutrientes en la planta para asegurar que los nutrientes estén disponibles cuando más se necesitan (Cordeiro *et al.*, 2025).

En cuanto a la cosecha, los frutos y racimos maduros acumularon cantidades de macronutrientes con diferencias no significativas ($p > 0,05$) entre sí, pero significativamente mayores ($p \leq 0,05$) que los pedúnculos de los racimos maduros (Tabla 4). Este hallazgo coincide con lo reportado por Dalazen *et al.* (2022a), quienes también observaron que los frutos maduros acumulan una mayor cantidad de macronutrientes en comparación con los pedúnculos. La cosecha de $782,2 \pm 55,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca de racimos maduros acumuló principalmente N y K ($11,9 \pm 1,3$ a $14,4 \pm 1,0 \text{ kg}$), en cantidades significativamente mayores que las de P, Ca, Mg y S (Tabla 4). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Dalazen *et al.* (2022a), donde la cosecha también acumuló cantidades similares de N ($12,93 \text{ kg}$) y Ca ($7,48 \text{ kg}$). Sin embargo, no se observaron coincidencias en las acumulaciones de P ($0,86 \text{ kg}$) y S ($0,62 \text{ kg}$), que fueron mayores, ni en las de K ($5,91 \text{ kg}$) y Mg ($0,79 \text{ kg}$), que fueron menores. Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones en las condiciones del suelo, como la acidez, la cual puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales como P, K, Ca y Mg, afectando así la absorción de nutrientes por parte de la planta. Asimismo, factores como la edad del cultivo, las prácticas de preparación del suelo y los métodos de fertilización también influyen, tal como lo observaron Abd-Hamid *et al.* (2023) en el cultivo de pimienta negra en diversas regiones.

En un plan de fertilización, es fundamental considerar la reposición de los nutrientes extraídos por la cosecha, ajustando las aplicaciones según la fertilidad del suelo (Wendling *et al.*, 2008). Parte de los macronutrientes puede reponerse a través de los pedúnculos, los cuales aportarían principalmente $0,9 \pm 0,1 \text{ kg}$ de K; $0,36 \pm 0,04 \text{ kg}$ de N y $0,33 \pm 0,03 \text{ kg}$ de Ca por cada $29,2 \pm 2,1 \text{ kg}$ de materia seca proveniente de la cosecha de 1 ha (Tabla 2 y 4). Este aporte de nutrientes desde los pedúnculos puede ser una fuente adicional para mantener la fertilidad del suelo, aunque no es suficiente para cubrir la demanda total del cultivo.

Tabla 4. Nutrientes acumulados por el cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) de 1,5 años, Santo Domingo, Ecuador

Órgano	Acumulación de nutrientes en base seca					
	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)					
	Nitrógeno ^{†***}	Fósforo ^{†***}	Potasio ^{†***}	Calcio ^{†***}	Magnesio ^{†***}	Azufre ^{†***}
Raíces	1,5 ± 0,2 d	0,04 ± 0,01 c	2,1 ± 0,23 d	3,0 ± 0,2 d	0,38 ± 0,03 c	0,03 ± 0,01 c
Tallos	8,6 ± 0,9 c	0,13 ± 0,02 b	9,0 ± 0,7 c	8,2 ± 0,6 c	1,2 ± 0,1 b	0,09 ± 0,03 b
Ramas	19,2 ± 2,1 b	0,33 ± 0,06 a	26,4 ± 1,7 a	19,2 ± 1,5 b	2,2 ± 0,2 a	0,20 ± 0,06 b
Hojas	39,9 ± 4,3 a	0,62 ± 0,11 a	25,3 ± 1,6 a	40,5 ± 3,1 a	2,4 ± 0,2 a	1,00 ± 0,32 a
Inflorescencias	0,09 ± 0,01 f	0,01 ± 0,002 d	0,1 ± 0,02 f	0,06 ± 0,005 f	0,01 ± 0,001 e	0,0029 ± 0,0009 e
Racimos tiernos	16,7 ± 1,8 b	0,64 ± 0,12 a	15,3 ± 1,1 b	8,2 ± 0,6 c	1,7 ± 0,2 b	0,82 ± 0,26 a
Racimos maduros	11,9 ± 1,3 c	0,42 ± 0,08 a	14,4 ± 1,0 b	7,2 ± 0,6 c	1,5 ± 0,1 b	0,24 ± 0,08 b
Frutos	11,5 ± 1,2 c	0,41 ± 0,07 a	13,5 ± 1,0 b	6,8 ± 0,5 c	1,4 ± 0,1 b	0,23 ± 0,07 b
Pedúnculos	0,36 ± 0,04 e	0,01 ± 0,001 d	0,9 ± 0,1 e	0,33 ± 0,03 e	0,05 ± 0,005 d	0,01 ± 0,003 d
Total ^{†***}	97,9 ± 0,95 A	2,2 ± 0,95 C	92,6 ± 4,02 A	86,4 ± 4,0 A	9,4 ± 0,3 B	2,4 ± 0,95 C
	Micronutrientes (g ha ⁻¹)					
	Boro ^{†***}	Zinc ^{†***}	Cobre ^{†***}	Hierro ^{†***}	Manganeso ^{†***}	
Raíces	4,3 ± 0,5 d	4,3 ± 0,4 e	4,1 ± 0,6 d	48,7 ± 11,9 b	4,6 ± 0,5 d	
Tallos	5,1 ± 0,6 d	9,6 ± 0,8 d	12,9 ± 1,1 c	100,7 ± 24,7 a	16,3 ± 1,6 c	
Ramas	20,5 ± 2,4 b	30,4 ± 2,3 b	19,4 ± 0,7 a	143,5 ± 35,1 a	38,2 ± 3,8 b	
Hojas	32,6 ± 3,9 a	43,2 ± 3,2 a	16,1 ± 1,0 b	226,6 ± 55,5 a	217,1 ± 21,5 a	
Inflorescencias	0,04 ± 0,004 f	0,16 ± 0,02 g	0,11 ± 0,01 f	0,67 ± 0,16 d	0,24 ± 0,02 f	
Racimos tiernos	21,9 ± 2,6 b	15,0 ± 1,2 c	12,2 ± 0,5 c	175,5 ± 43,0 a	31,0 ± 3,1 b	
Racimos maduros	11,8 ± 1,4 c	12,0 ± 1,0 d	10,7 ± 1,2 c	105,4 ± 25,8 a	21,4 ± 2,1 c	
Frutos	11,0 ± 1,31 c	11,3 ± 0,9 d	10,3 ± 1,2 c	99,7 ± 24,4 a	20,6 ± 2,0 c	
Pedúnculos	0,82 ± 0,1 e	0,72 ± 0,08 f	0,35 ± 0,02 e	5,7 ± 1,4 c	0,74 ± 0,07 e	
Total ^{†***}	96,3 ± 4,5 D	114,7 ± 5,6 C	75,5 ± 3,2 E	801,0 ± 74,2 A	328,8 ± 22,8 B	

† Medias ± error estándar de los seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Di Rienzo *et al.* (2002) $p > 0,05$). Las minúsculas se leen por columnas; las mayúsculas, para la fila del total.

Además, es importante investigar la acumulación de nutrientes por la pulpa del grano cosechado. Según Dalazen *et al.* (2022a), la pulpa acumula una mayor cantidad de K en comparación con los granos descascarados. Esto sugiere que, al considerar la reposición de nutrientes, no solo se debe tener en cuenta la extracción por los frutos y racimos, sino también la contribución de otros componentes de la planta, como los pedúnculos y la pulpa. Este enfoque integral permitiría diseñar planes de fertilización más precisos y eficientes, asegurando que los nutrientes sean repuestos de manera adecuada para mantener la productividad del cultivo y la fertilidad del suelo.

Los siguientes órganos presentaron una acumulación significativamente mayor de micronutrientes ($p \leq 0,05$): las hojas mostraron las mayores cantidades de B, Zn y Mn, con valores que oscilaron entre $32,6 \text{ g ha}^{-1} \pm 3,9 \text{ g ha}^{-1}$ y $217,1 \text{ g ha}^{-1} \pm 21,5 \text{ g ha}^{-1}$; las ramas acumularon $19,4 \text{ g ha}^{-1} \pm 0,7 \text{ g ha}^{-1}$ de Cu; mientras que los tallos, ramas, hojas, frutos, racimos tiernos y maduros registraron acumulaciones de Fe entre $99,7 \text{ g ha}^{-1} \pm 24,4 \text{ g ha}^{-1}$ y $226,6 \text{ g ha}^{-1} \pm 55,5 \text{ g ha}^{-1}$ (Tabla 4). Según Tucuch-Haas *et al.* (2019), en plantas de ají (*Capsicum chinense*), las raíces son los órganos que acumulan la mayor cantidad de micronutrientes, con valores de 200,0 mg de Fe por planta y entre 0,5 y 3,0 mg por planta de Cu, Zn y Mn; mientras que las raíces, tallos y hojas acumulan las mayores cantidades de B, con valores entre 1,0 y 1,2 mg por planta. Sin embargo, este patrón no coincide con lo observado en el cultivo de pimienta negra.

El Fe es el micronutriente acumulado en mayor cantidad por los cultivos. Este elemento desempeña un papel fundamental en la formación de cloroplastos, participa en la síntesis de proteínas y es esencial para la formación de sistemas respiratorios enzimáticos (De Mello, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia del Fe en el metabolismo vegetal y su influencia en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

El cultivo de pimienta negra acumuló micronutrientes en el siguiente orden, con diferencias significativas ($p \leq 0,05$): $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$. El Fe y el Mn fueron los micronutrientes acumulados en mayor cantidad, con valores que oscilaron entre $328,8 \pm 22,8 \text{ g ha}^{-1}$ y $801,0 \pm 74,2 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente (Tabla 4). Según Bortolon *et al.* (2018), el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merr.) también acumula los micronutrientes en el mismo orden que el observado en la pimienta negra, con el Fe (1.260 g ha^{-1}) y el Mn (200 g ha^{-1}) como los más acumulados. Sin embargo, la soja presenta una mayor acumulación de estos nutrientes en comparación con los de la pimienta negra, lo que podría estar relacionado con las diferencias en la fisiología de ambos cultivos y en las condiciones de crecimiento. Li *et al.* (2015) observaron que en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), el aumento de los niveles de K en el suelo afecta la acumulación de micronutrientes, particularmente reduciendo la cantidad de Mn y Fe en las plantas. Aunque el estudio de Li *et al.* (2015) se centró en el cacao, los mecanismos de absorción y las

interacciones entre nutrientes pueden extrapolarse a otros cultivos, como la pimienta negra.

La alta acumulación de Fe y Mn por el cultivo de la pimienta negra sugiere que estos nutrientes deben ser manejados cuidadosamente en los programas de fertilización. Aunque la acumulación de Zn, B y Cu es menor, su papel en el crecimiento y desarrollo de la planta no debe subestimarse. Es importante evaluar no solo el contenido de estos micronutrientes en el cultivo, sino también otros como el Ni, Mo y Cl (De Mello, 2021). Además, sería interesante explorar cómo los niveles de K y otros macronutrientes afectan la absorción de micronutrientes en la pimienta negra, similar a lo observado en el cacao.

En cuanto a la acumulación de micronutrientes por la cosecha, los racimos maduros y los frutos acumularon significativamente ($p \leq 0,05$) más que los pedúnculos de los racimos. La cosecha de $782,2 \pm 55,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca de racimos maduros mostró una mayor acumulación de Fe y Mn, con valores que oscilaron entre $21,4 \pm 2,1 \text{ g ha}^{-1}$ y $105,4 \pm 25,8 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente. Estos valores fueron significativamente mayores en comparación con la absorción de B, Zn y Cu, que presentaron una acumulación menor (Tabla 4). La cantidad de Mn acumulado por la cosecha coincidió con lo reportado por Dalazen *et al.* (2022a), que es de $19,5 \text{ g Mn ha}^{-1}$. Sin embargo, para los otros micronutrientes (Fe, Zn, Cu y B), no se observó una coincidencia, los cuales se encuentran en un rango de 4,49 a $19,48 \text{ g ha}^{-1}$. Estas diferencias podrían explicarse por la variabilidad en la acumulación de micronutrientes durante los diferentes estados de maduración, como señalaron Dalazen *et al.* (2022b), quienes observaron que el contenido de micronutrientes en los racimos disminuye a medida que los frutos maduran, debido al efecto de dilución causado por el aumento en la acumulación de materia seca.

Se ha estimado la acumulación de micronutrientes por la cosecha, los racimos maduros y los pedúnculos, lo cual es de utilidad para planificar su reposición y reciclaje, especialmente en el caso de los pedúnculos. Estos hallazgos sugieren que los racimos maduros y los frutos son los principales órganos de acumulación de micronutrientes, especialmente de Mn, lo que resalta su relevancia en la producción de los frutos de pimienta negra. Sin embargo, dada la variabilidad observada al comparar con otros estudios, es fundamental realizar muestreos en diversas zonas de cultivo en futuras investigaciones para estimar con mayor precisión las cantidades absorbidas de micronutrientes, así como de macronutrientes y la producción de materia seca.

Conclusiones

Los nutrientes absorbidos por los principales órganos (raíces, tallos, ramas, hojas, inflorescencias y racimos) de la planta de pimienta negra (*Piper nigrum*) al inicio de su producción muestran diferencias, así como variaciones en el orden de absorción de los nutrientes. Se revela que las hojas acumulan

las mayores cantidades de macronutrientes y también tienen los mayores contenidos de los mismos. El contenido y la acumulación de macronutrientes absorbidos por el cultivo siguen este orden: nitrógeno = potasio = calcio > magnesio > fósforo = azufre. La acumulación de macronutrientes por 1 ha de cultivo es de 97,9 kg $\pm$ 1,0 kg de nitrógeno; 92,6 kg $\pm$ 4,0 kg de potasio; 86,4 kg $\pm$ 4,0 kg de calcio; 9,4 kg $\pm$ 0,3 kg de magnesio; 2,4 kg $\pm$ 1,0 kg de fósforo y 2,4 kg $\pm$ 1,0 kg de azufre. Queda en evidencia que las cantidades de nitrógeno, potasio y calcio acumuladas por el cultivo son las más demandadas entre los macronutrientes.

Los hallazgos muestran que las raíces tienen los mayores contenidos de micronutrientes, mientras que las hojas acumulan las mayores cantidades de los mismos. El orden del contenido de micronutrientes totales en la planta es el siguiente: hierro > manganeso > zinc = boro > cobre, similar al orden de su acumulación. En 1 ha de cultivo se acumulan 801,0 g $\pm$ 74,2 g de hierro; 328,8 g $\pm$ 22,8 g de manganeso; 114,7 g $\pm$ 5,6 g de zinc; 96,3 g $\pm$ 4,5 g de boro y 75,5 g $\pm$ 3,2 g de cobre. Las cantidades acumuladas de los nutrientes por el cultivo sugieren la demanda para la elaboración de planes de fertilización.

Los resultados evidencian que la cosecha de los racimos maduros acumula las siguientes cantidades de nutrientes en 1 ha de cultivo: 11,9 kg $\pm$ 1,3 kg de nitrógeno; 0,42 kg $\pm$ 0,08 kg de fósforo; 14,4 kg $\pm$ 1,0 kg de potasio; 7,2 kg $\pm$ 0,6 kg de calcio; 1,5 kg $\pm$ 0,1 kg de magnesio; 0,24 kg $\pm$ 0,08 kg de azufre; 11,8 g $\pm$ 1,4 g de boro; 12,0 g $\pm$ 1,0 g de zinc; 10,7 g $\pm$ 1,2 g de cobre; 105,4 g $\pm$ 25,8 g de hierro y 21,4 g $\pm$ 2,1 g de manganeso. La acumulación de nutrientes por los racimos maduros propone las cantidades de nutrientes a reponer en el cultivo.

Referencias bibliográficas

- Abd-Hamid, I., Wan-Yahaya, W. y Idris, W. (2023). Effect of different black pepper crop ages on the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 45(1), 1-10. <https://doi.org/10.17503/agrivitya.v45i1.2618>
- Boniche, J., Alvarado, A., Molina, E. y Smyth, T. (2007). Variación estacional de nutrimentos en hojas de pejibaye para palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 55-72. <https://doi.org/10.15517/rac.v32i1.6770>
- Bortolon, L., Oliveira, E. S., De Camargo, F. P., Seraglio, N. A., Lima, A. O., Rocha, P. H., De Souza, J. P., Sousa, W. C., Tomazzi, M., Lago, B. C., Nicolodi, M. y Gianello, C. (2018). Yield and nutrient uptake of soybean cultivars under intensive cropping systems. *Journal of Agricultural Science*, 10(12), 344-357. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n12p344>
- Cordeiro, C. F., Galdi, L. V. y Echer, F. R. (2025). Nutrient uptake and removal by runner peanut cultivars of different maturity groups. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 49, 1-18. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20240088>
- Dalazen, J., Pereira, G., Duarte, H., Cochicho, J., Lacerda, V., Romão, W. y Luiz, F. (2022a). Nutrient accumulation in fruits and grains of black pepper at different ripening stages. *Ciência Rural*, 52(9), 1-9. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210470>
- Dalazen, J., Pereira, G., Gontijo, I., Machado, J. y Partelli, F. (2022b). Micronutrient content and accumulation in leaves and bunches of black pepper during two crop cycles. *Revista Ceres*, 65(5), 594-602. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269050013>
- De Mello, R. (2021). *Mineral nutrition of tropical plants*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4>
- Di Rienzo, J. A., Guzman, A. W. y Casanoves, F. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 7, 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>
- Dombroskie, S. L., Tracey, A. J. y Aarssen, L. W. (2016). Leafing intensity and the fruit size/number trade-off in woody angiosperms. *Journal of Ecology*, 104(6), 1759-1767. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12622>
- Flis, S. (2019). Calcium: Improved plant health and nutrition through 4R management. *Crops & Soils*, 52(4), 28-30. <https://doi.org/10.2134/cs2019.52.0401>
- Hernández-Leal, O. F. y Sánchez, F. (2021). Black pepper's essential oils affect the foraging behavior of Seba's fruit-eating bat. *International Journal of Pest Management*, 69(4), 299-305. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1918355>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario meteorológico No. 53-2013*. <https://drive.google.com/file/d/1mroZYqKlyNjouAj0nlGD75AO9vDkhNYS/view>
- Issukindarsyah, I., Sulistyaningsih, E., Indradewa, D. y Putra, E.T.S. (2021). The effect of ammonium nitrate ratio and support types on the NPK uptake and growth of black pepper (*Piper nigrum* L.) in field conditions. *Poljoprivreda*, 27(2), 25-33. <https://doi.org/10.18047/poljo.27.2.3>
- Li, Y.-M., Elson, M., Zhang, D., He, Z., Sicher, R. C. y Baligar, V. (2015). Macro and micro nutrient uptake parameters and use efficiency in cacao genotypes as influenced by levels of soil applied K. *International Journal of Plant & Soil Science*, 7(2), 80-90. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2015/17368>
- Magalhães, D. D., Viégas, I. D., Barata, H. D., Costa, M. G., Silva, B. C. y Mera, W. Y. (2023). Deficiencies of nitrogen, calcium, and micronutrients are the most limiting factors for growth and yield of small pepper plants. *Revista Ceres*, 70(3), 125-135. <https://doi.org/10.1590/0034-737x202370030013>
- Mailappa, A. S. (2024). *Experimental soil biology*

- and fertility (1ra ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003430100>
- Muñoz, J., Huerta, M., Lara, A., Rangel, R. y De la Rosa, J. (2016). Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16, 3329-3341. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.400>
- Nair, K. P. (2022). Precise quantification of plant nutrient bioavailability: The relevance of the nutrient buffer power concept. *Advances in Agronomy* (174), 189-233. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.03.003>
- Paduit, N., Pampolino, P., Aye, T. M. y Oberthür, T. (2018). Nutrient uptake and distribution in black pepper. *Better Crops*, 102(4), 24-27. https://www.researchgate.net/publication/328745662_Nutrient_Uptake_and_Distribution_in_Black_Pepper
- Pereira, M. L., Aquino, L., Ferreira, R., Clemente, J., De Aquino, P. y Oliveira, T. (2016). Diagnosis of the nutritional status of garlic crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1-14. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140771>
- Quezada-Crespo, C. J., Carrillo-Zenteno, M. D., Morales-Intriago, F. L., y Carrillo-Alvarado, R. A. (2017). Nutrient critical levels and availability in soils cultivated with peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth.) in Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. *Acta Agronómica*, 66(2), 235-240. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/55026
- Resmi, P. y Divya, K. K. (2024). Variability analysis in genotypes of black pepper (*Piper nigrum* L.) for yield and yield related traits. *Plant Science Today*, 11(sp3), 25-29. https://www.researchgate.net/publication/387415704_Variability_analysis_in_genotypes_of_black_pepper_Piper_nigrum_L_for_yield_and_yield_related_traits
- Swarnapriya, R. (2020). Effect of spacing and application of foliar nutrients on growth and yield of black pepper (*Piper nigrum*). *Journal of Dry Zone Agriculture*, 6(1), 52-62. <http://repo.lib.jfn.ac.lk/xmlui/handle/123456789/3096>
- Tran, D. M., Nguyen, T. H., Huynh, T. U., Do, T. O., Nguyen, Q.-V. y Nguyen, A. D. (2022). Analysis of endophytic microbiome dataset from roots of black pepper (*Piper nigrum* L.) cultivated in the Central Highlands region, Vietnam using 16S rRNA gene metagenomic next-generation sequencing. *Data in Brief*, 42, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108108>
- Tucuch-Haas, C., Pérez-Balam, J., Dzib-Ek, M., Alcántar-González, G. y Larqué-Saavedra, A. (2019). El ácido salicílico aumenta la acumulación de macro y micronutrientes en chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 839-847. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1694>
- Turiello, P., Larriestra, A., Bargo, F., Relling, A. y Weiss, W. (2018). Sources of variation in corn silage and total mixed rations of commercial dairy farms. *The Professional Animal Scientist*, 34(2), 148-155. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01704>
- Wendling, A., Foletto, F. L., Cubilla, M. M., Carneiro, T. J. y Mielniczuk, J. (2008). Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 1929-1939. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500014>
- Yap, C. A. (2012). Determination of nutrient uptake characteristic of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 2, 1091-1099. <https://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/55d3e0bd4c6a8.pdf>
- Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C. y Gan, Y. (2019). Appropriate ammonium-nitrate ratio improves nutrient accumulation and fruit quality in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy*, 9(11), 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110683>
- Zu, C., Li, Z., Yang, J., Yu, H., Sun, Y., Tang, H., Yost, R. y Wu, H. (2014). Acid soil is associated with reduced yield, root growth and nutrient uptake in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Agricultural Sciences*, 5(5), 466-473. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.55047>



Efecto del metaldehído, extractos botánicos, y sal común sobre el gasterópodo (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) voluble var. Rojo Bolón

Effect of metaldehyde, botanical extracts, and common salt on gastropod (*Sarasinula plebeia*) of common beans (*Phaseolus vulgaris*) voluble var. "Rojo Bolón" in two growth cycles

Carlos Andrés Bolaños Carriel¹, Eliana Granja Guerra², Francisco Hernán Chancusig², Guadalupe Rosario Sigcha Yanchaliquin², Néstor Santiago Luzón Toscano²

¹Universidad Central del Ecuador, Ecuador

²Universidad Técnica del Cotopaxi, Ecuador

Autor de correspondencia: cabolanosc@uce.edu.ec

Recibido: 21/09/2024. Aceptado: 14/06/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025

Resumen

El fréjol (*Phaseolus vulgaris*) es una fuente importante de proteína a nivel mundial. Entre sus principales plagas se encuentra el gasterópodo *Sarasinula plebeia*. Este estudio evaluó la efectividad del control químico, físico y botánico de esta plaga en fréjol variedad voluble. Se aplicaron cuatro tratamientos: metaldehído (0,5 g/planta y 1 g/planta), extracto de ruda y romero, y sal común, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en dos ciclos de cultivo (2023 y 2024). Se empleó un modelo de mediciones repetidas, y el modelo de Toeplitz fue el que mejor ajustó los datos (AIC = 2.452,95; BIC = 2.491,58). Los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0,0001$), siendo el más eficaz el metaldehído. Aunque los controles botánico y físico también redujeron la población de gasterópodos, el extracto botánico fue más efectivo que la sal común en 2023. Se concluye que una estrategia de manejo integrado, que combine diferentes métodos, es más eficaz para reducir las poblaciones de *S. plebeia* y mitigar el daño en cultivos de fréjol, especialmente en sistemas de labranza reducida.

Palabras clave: Gasterópodo, fréjol, Criterio de Información de Akaike (AIC), daño, plaga, mortalidad.

Abstract

Common bean (*Phaseolus vulgaris*) is an important source of protein worldwide. The gastropod *Sarasinula plebeia* is troublesome pest that can cause serious damage. This study evaluated the effectiveness of chemical, physical, and botanical control methods against *S. plebeia* in common bean. Four treatments were applied: metaldehyde (0.5 g/plant and 1 g/plant), rue and rosemary extract, and common salt, using a randomized complete block design (RCBD) with four replications over two growing seasons (2023 and 2024). A repeated measures model was used, and the Toeplitz structure provided the best fit to the data (AIC = 2,452.95; BIC = 2,491.58). The treatments showed significant differences ($p < 0.0001$), with metaldehyde being the most effective. Although botanical and physical controls also reduced gastropod populations, the botanical extract was more effective than physical in 2023. The study concludes that an integrated management strategy combining different control methods is more effective in reducing *S. plebeia* populations and minimizing crop damage, especially under reduced tillage systems.

Keywords: Gastropod, common beans, Akaike Information Criterion (AIC), damage, pest, mortality.

Introducción

La producción agrícola y sus prácticas están estrechamente relacionadas con el desarrollo humano y tienen un propósito específico, que es proporcionar suficientes alimentos para sustentar el crecimiento demográfico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021). Además, la agricultura desempeña un papel clave en los ecosistemas y contribuye a la conservación de la biodiversidad al producir frutas y forrajes como alimento para los animales (Vinces, 2020).

Los pesticidas químicos, seguirán siendo parte de prácticas de manejo de cultivos que pueden resultar menos costosas que otras estrategias; sin embargo, han ocasionado resistencia en poblaciones de insectos, y cambios bruscos en la flora, microfauna y microorganismos del suelo y rizósfera (Silva *et al.*, 2002; Vásquez, 1999). A su vez la agricultura ecológica, utiliza implementos no convencionales minimizando los altos costos ambientales y sociales del uso de pesticidas, que requieren consideración de los efectos ambientales y de salud, puesto que a lo largo del tiempo no solo afectan al medio ambiente sino también la salud del ser humano (Espinosa da Silva *et al.*, 2022).

Los gasterópodos, comúnmente conocidas como babosas, son especies de animales en el *Phylum Mollusca* con cerca de 75.000 especies que, en algunos casos pueden vivir cerca de seis años (Oregon State University Extension Service, 2010). El estudio de gasterópodos plaga tanto en su biología como su control es muy limitado, por lo que resulta indispensable ampliar el conocimiento sobre el manejo de esta especie. Los extractos botánicos o vegetales constituyen una alternativa agroecológica de manejo poblacional de moluscos plagas y pueden influir en la protección sostenible de muchos cultivos (Hagne, 2015). Los extractos botánicos son una excelente opción para combatir y repeler gasterópodos, por ejemplo, el ají y la ruda han demostrado tener propiedades molusquicidas (Maza *et al.*, 2013). Estos autores determinaron que la efectividad del extracto de ají puro en la mortalidad de babosas, por la inhibición de la alimentación, alcanzó sobre el 90 %. La acción de disuasión alimentaria del ají en los moluscos podría estar relacionada con la presencia de capsaicinoides, sustancias pungentes y componentes activos característicos de todas las variedades de ají, que provocan una irritación severa en los invertebrados hasta causarles la muerte (Parvez, 2017).

Otro de los métodos utilizado en el control de babosas incluye el uso de métodos físicos, los cuales implican una acción directa sobre el animal eliminándolo. La sal elimina las babosas pero es un método poco usado en grandes áreas por el riesgo de salinidad. Sin embargo, en la agricultura agroecológica podría ser una alternativa viable. Este es un método directo al pasar los gasterópodos por encima del cloruro de sodio, se deshidratan y mueren de inmediato. Para este tratamiento se colocan varios montículos en el suelo a 15 a 20 cm, en lo posible al atardecer, y tratar de no regar

las plantas por un par de días esto hará que los gasterópodos salgan buscando la humedad y será cuando pasaran por la sal (Chasi-Perez, 2017).

En la zona en estudio, provincia de Cotopaxi, el control químico de gasterópodos se realiza con Metaldehído (25 a 50 kg por hectárea), un producto de uso corriente como molusquicida granulado, con gran poder atrayente, que basta con administrar una pequeña cantidad cerca de la planta y los gasterópodos se encargan de salir y comer el producto causando su muerte (García Chacón, 2014).

El fréjol (*Phaseolus vulgaris*) es una de las leguminosas más cultivadas en el Ecuador. Es un cultivo sensible al exceso de humedad y fácilmente afectado por el frío y los cambios bruscos de temperatura. Desde el punto de vista de su fertilización, el cultivo del fréjol no exige mucho al suelo, pero se ve fácilmente afectado por enfermedades de raíz y de tallo que limitan su rendimiento (Beaver y Osorno, 2009). En el Ecuador, en la época lluviosa (febrero-junio), el rendimiento del frijol es mayor, factor muy dependiente del material genético utilizado, la desventaja es una mayor incidencia de plagas y enfermedades, lo que se limita con plaguicidas aumentando los costos de producción (Garcés-Fiallos *et al.*, 2013).

Entre las plagas que afecta a este cultivo encontramos a *S. plebeia* la cual afecta principalmente plantulas y plantas jóvenes. Las pérdidas por babosas ocurren por la alimentación de la plaga de hojas tiernas y vainas. En muchas partes del mundo, diversos ecosistemas han sido reemplazados por agroecosistemas que son más susceptibles a los ataques de plagas, por lo que los cultivos necesitan protección fitosanitaria para satisfacer la demanda de alimentos. Así también, el problema de caracoles y gasterópodos en los cultivos orgánicos se incrementa debido al uso de cultivos de cobertura (Le Gall y Tooker, 2017).

Las limitaciones a gran escala se resaltan la necesidad de considerar alternativas más sostenibles, estos métodos que se utilizó como biológico y químico ofrecen opciones con menos efectos secundarios. Se puede decir que el manejo agroecológico en las prácticas agrícolas convencionales a través de la educación y un enfoque de el Manejo Integrado de Plagas (MIP) se puede llevar a un control más efectivo y sostenible de las plagas.

El MIP sugiere una combinación armoniosa de diferentes estrategias (biológicas-botánicas, químicas, culturales y físicas) el cual tiene como objetivo reducir la dependencia de pesticidas sintéticos y minimizar el daño al medio ambiente (Zhou *et al.*, 2024). El MIP es un sistema que incluye varios métodos y procesos, que combinados reducen al mínimo los daños causados por las plagas, enfermedades y malezas, evitando de esta manera el deterioro del ambiente.

El conocimiento ancestral ha permitido el desarrollo de estrategias agroecológicas basadas en el uso de extractos biológicos autóctonos, que pueden disminuir la dependencia de agroquímicos cada vez más costosos y concentrados. Sin

embargo, el uso indiscriminado de pesticidas ha provocado una mayor resistencia en los insectos y enfermedades, y ha eliminado a los enemigos naturales de las plagas (Ramón y Rodas, 2007).

Si bien los métodos químicos ofrecen resultados rápidos, su efectividad a largo plazo y su impacto ambiental son preocupantes. Por otro lado, los métodos biológicos y botánicos, aunque pueden requerir más tiempo y atención, representan una opción más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente, contribuyendo a un manejo más equilibrado y responsable de las plagas (Olin Fabela *et al.*, 2024).

Dado que los gasterópodos son una plaga de importancia para el cultivo del fréjol en el Ecuador; por tanto, los objetivos de esta investigación fueron i) determinar la efectividad del control químico, físico y botánico dentro del manejo del gasterópodo en cultivo de fréjol variedad voluble para reducir el daño de esta plaga, ii) determinar los niveles de infestación del gasterópodo (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol variedad voluble, y iii) analizar la mortalidad corregida del gasterópodo usando mediciones repetidas y estructuras de covarianza para ajustar a los datos del ensayo en ambos ciclos.

Materiales y métodos

Sitio Experimental

Este estudio se llevó a cabo durante dos periodos de cultivo (2023 y 2024), en el recinto Palo blanco-Parroquia Ramón Campaña-Cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi, cuyas coordenadas son Latitud 1° 03' 0,01" S, Longitud 79° 07'

06,2" W. El sitio del ensayo tiene una altitud promedio de 1.075 m s.n.m., y con una precipitación aproximada de 2.853 mm anuales, y una temperatura promedio de 19-24 °C.

El área experimental fue de 34,5 m², divididas 4 hileras, para la preparación del terreno se realizó mediante azada y machete 8 días antes de la siembra en sistema de labranza reducida. Se utilizó semillas de fréjol variedad voluble, las semillas fueron previamente secas, la cual se sembró el 28 de marzo del 2023 y el 20 de abril del 2024. En ambos años la siembra se realizó en labranza reducida, de forma manual utilizando machete, y colocando 2 a 3 semillas por hoyo. El distanciamiento de siembra utilizado fue de 40 cm entre plantas y 60 cm entre hileras en ambos ciclos de cultivo.

Antes de la implementación del ensayo, se realizó el conteo de gasterópodos. La determinación del estadio del gasterópodo y número de la población de gasterópodos se realizó de acuerdo con Salazar-Rojas y Granados-Muñoz (2018), considerando que los huevos tienen forma ovoide con coloraciones distintas debido al estado de desarrollo, gasterópodo juvenil: aumento del crecimiento, complejidad de las gónadas y la aparición de células formadoras de esperma, y adulto: donde se da la reproducción de los gasterópodos, el cual son hermafroditas, no obstante, el esperma y el ovulo maduran en distinto periodo, el cual se da una fase como macho y una fase como hembra. Las unidades experimentales se ajustaron de modo que el número inicial de babosas fue uniforme en cada unidad experimental.

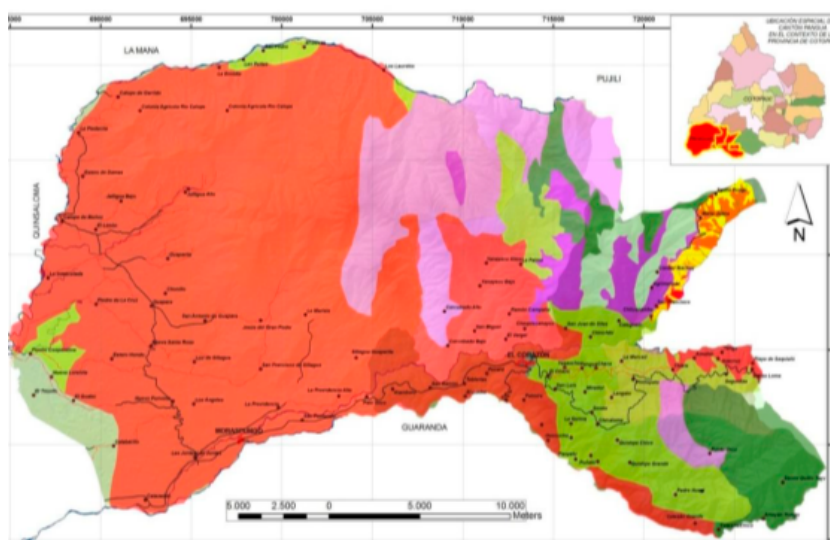


Figura 1. Mapa del cantón Pangua, provincia del Cotopaxi donde se realizó el estudio Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pangua, 2018)

Diseño experimental

El experimento de campo en ambos ciclos de cultivo consistió en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, los tratamientos del estudio fueron Metaldehído (0,5 g /planta) + Score 0,15 ml/ l, Metaldehído (1 g /planta), extracto de ruda + romero 30 ml / l en drench (2 litros por planta total 60 ml por planta), y sal común (1 g / planta). Todos los tratamientos fueron aplicados dos veces durante el ciclo del cultivo en estado vegetativo. Los productos fueron aplicados en forma de círculo al contorno de las unidades experimentales del estudio (plantas) en espolvoreo para los productos sólidos, y en drench para el producto líquido.

Número de gasterópodos muertos y ajuste de mortalidad

Durante las informaciones recolectadas en el ciclo del cultivo, para los gasterópodos muertos se realizó toma de datos cada 3 días, tomando en cuenta su ciclo de vida en este caso: huevo, gasterópodo juvenil y gasterópodo adulta dentro del cultivo de fréjol variedad voluble. A fin de asegurar que los valores de mortalidad obtenidos sean por el efecto letal de los plaguicidas evaluados, se realizó la corrección de la mortalidad través de la fórmula de Abbott (1925):

$$Mc = \frac{(X-Y)}{X}$$

Donde:

Mc = Mortalidad corregida

X = larvas vivas en el control

Y = larvas vivas en el tratamiento

Análisis estadístico

Para esta investigación se utilizaron modelos mixtos para mediciones repetidas para analizar datos longitudinales o con mediciones repetidas en el tiempo. Se hicieron 16 evaluaciones cada tres días (1,3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42 y 45) (ver Tabla 1). El ADEVA, consistió en

el efecto fijo tratamiento y los efectos aleatorios (repetición = 5 y tiempo = 16). En cuanto a la estructura de covarianza en mediciones repetidas con los modelos de simetría compuesta, autoregresivo, Toeplitz, y ante dependencia fueron usados para la modelación de la estructura de covarianza entre observaciones tomadas en periodos de tiempo igualmente espaciados, y mediante la inclusión de efectos aleatorios en el modelo. El método de diferencia mínima significativa (LSD-Fisher) fue usado para separar las medias de los tratamientos. Todos los análisis fueron realizados con el software SAS versión 9.4 (Cary, North Carolina).

Resultados

Debido a que cada unidad experimental fue medida varias veces en el tiempo se utilizó patrones de covarianza para mediciones repetidas (Littell, 2006). Se identificó la estructura de covarianza más apropiada para el set de datos usando las medidas de estadística de ajuste. El ajuste relativo de diferentes patrones de covarianza que se contrastan se realizó analizando los criterios de información “Akaike’s information criterion (AIC)” y “Bayesian Information Criterion (BIC)”. Los modelos de simetría compuesta, autoregresivo, Toeplitz, y ante dependencia convergieron exitosamente. La estructura de covarianza no estructurada, a pesar de ser la estructura más simple, no generó salida para los efectos, porque la matriz de orden dentro de sujetos lleva a la falta de procesos de optimización requeridos para completar el análisis. Por tanto, la rutina de optimización no mejoró los valores de función.

En el análisis realizado mediante el procedimiento GLIMMIX, se utilizó un modelo de Toeplitz completo, con una distribución de respuesta gaussiana y la técnica de estimación REML. Para el ajuste de los grados de libertad, se empleó el método de Kenward-Roger. Se leyeron un total de 800 observaciones. El proceso de estimación implicó 62 iteraciones, con una función objetivo que osciló entre 2.436 y 2.352. Finalmente, se alcanzó la convergencia según el criterio establecido (GCONV=1E-8).

Tabla 1. Resumen de estadísticas de ajuste del modelo Toeplitz para el estudio de Manejo integrado del gasterópodo (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Voluble

Criterio	Ajuste	Dimensiones	
-2 Res Log Likelihood	2.352,95	R-side Cov.	50
AIC (menor es mejor)	2.452,95	Columnas X	18
AICC (menor es mejor)	2.459,85	Columnas en Z por Sujeto	0
BIC (menor es mejor)	2.491,58	Sujetos (Bloques en V)	16
CAIC (menor es mejor)	2.541,58	Max. Obs. Por Sujeto	50
HQIC (menor es mejor)	2.454,92	Optimizacion Nro. Par.	49
Chi-cuadrado general	1.935,05	Tecnica	Dual Quasi-Newton
Gener. Chi-Square / DF	2,45		

Las estadísticas de ajuste muestran que el modelo se ajusta razonablemente bien: el -2 Log de Verosimilitud Residual es 2.352,95, lo que indica un buen ajuste. Se proporcionan valores de AIC (Criterio de Información de Akaike), AICC (AIC Corregido), BIC (Criterio de Información Bayesiano), CAIC (AIC Consistente) y HQIC (Criterio de Información de Hannan-Quinn) para evaluar el mejor ajuste. El Chi-Cuadrado Generalizado (1.935,05) y chi-cuadrado/ grados de libertad (2,45) proporciona medidas adicionales de ajuste del modelo.

Eficacia de los tratamientos

El modelo de Topelitz se utilizó para determinar qué tipo de tratamiento es el mejor. Se tomó datos de los tratamientos en estudio. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, colocado en 16 tiempos diferentes en dos ciclos de cultivo, para verificar el efecto y eficiencia que genera cada uno con la plaga del gasterópodo (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de

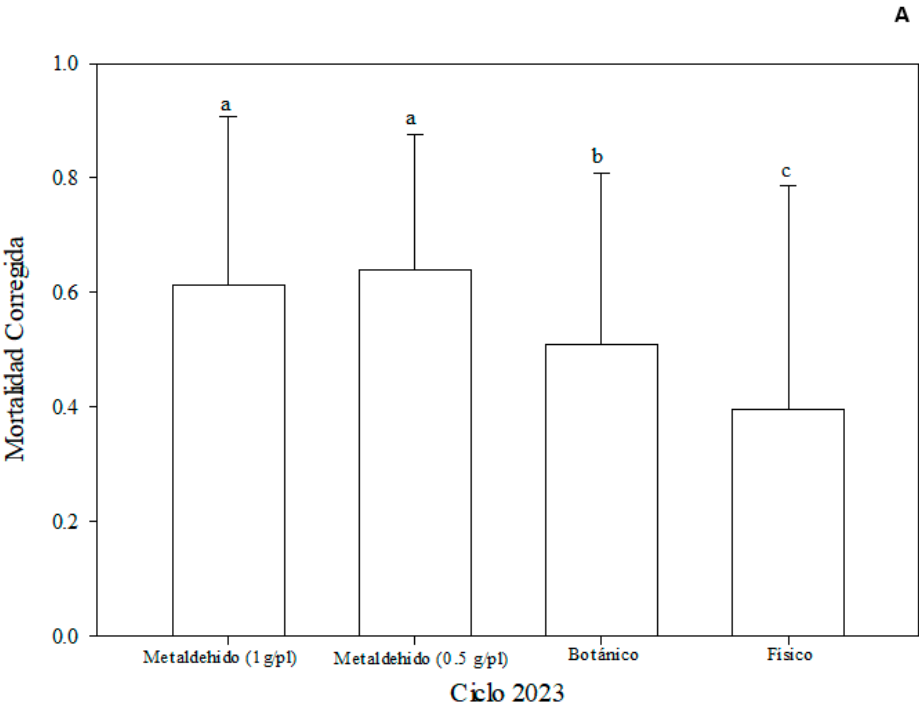
fréjol variedad voluble. El modelo generó 50 estimativos de parámetros de covarianza llegando a ajustar por mediciones repetidas a 0,8722 S.E. 0,4745 y residual de 2,4494 S.E. 0,4311.

La prueba de Tipo I de efectos fijos, determina que bajo este modelo el efecto de los tratamientos fue altamente significativo ($p < 0,0001$) sobre la variable de respuesta Mortalidad corregida (Tabla 2).

El efecto de los métodos de control químico (metaldehído), botánico (extracto de ruda + aji), y físico (sal común) en el control de *Sarasinula plebeia* en cultivo de fréjol variedad voluble, durante dos ciclos de cultivo 2023 y 2024 se resumen en la Figura 2. Los tratamientos químicos fueron los más eficaces para controlar *Sarasinula plebeia* en los dos ciclos de cultivo.

Tabla 2. Análisis de varianza para Mortalidad Corregida para el estudio de Manejo integrado del gasterópodo (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Voluble

Fuente	gl (numerador)	Gl (denominador)	Mortalidad corregida $pr > F$
Tratamiento	4	70,03	< 0,0001
Ciclo	1	31,91	0,0148
Tratamiento x Ciclo	4	50,44	< 0,0001



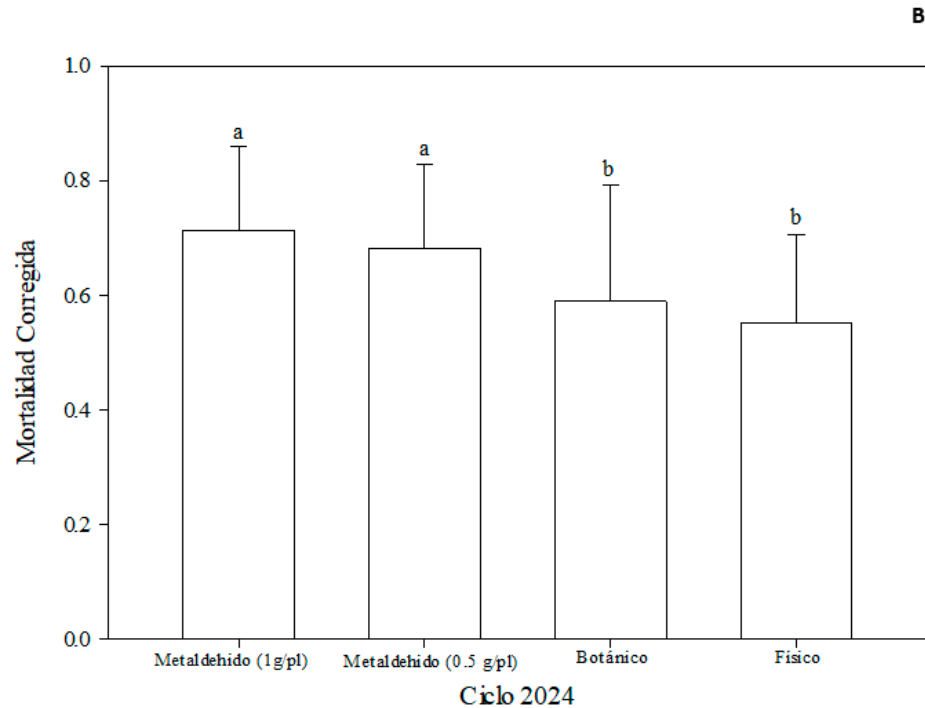


Figura 2. Medias ajustadas por Cuadrados Mínimos (LS-Means) con la desviación estándar para Mortalidad Corregida por Abbott, en el modelo de Toeplitz que presenta el mejor ajuste para el estudio de manejo integrado de la babosa (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol var. Voluble. A) ciclo 2023, B) ciclo 2024. Letras denotan diferencias estadísticas significativas (fisher- DMS $\alpha = 0,05$)

Discusión

El uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura ha generado una serie de efectos adversos sobre el medio ambiente, tales como la contaminación del suelo, del agua y del aire, así como un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (FAO, 2021). Estos impactos también se traducen en la alteración del equilibrio ecológico, provocando la reducción de poblaciones de microorganismos benéficos, el aumento de la resistencia de plagas y enfermedades, y la pérdida de biodiversidad (Altieri *et al.*, 2012). Ante esta problemática, se vuelve fundamental la implementación del MIP en las áreas agrícolas, ya que esta estrategia no solo promueve prácticas sostenibles que reducen el uso de insumos químicos, sino que también favorece la salud de los cultivos, el bienestar de los productores y la seguridad alimentaria de los consumidores (Burgo *et al.*, 2019).

El manejo integrado de plagas es crucial para los agricultores, ya que compiten en los cultivos por recursos como agua, luz y nutrientes, lo que puede afectar significativamente el rendimiento del fréjol (Pitty y Andrews, 1990). En el caso específico, de estudio, los gasterópodos se han convertido en una de las plagas más dañinas para el fréjol, ya que causan cortes en tallos, defoliación y heridas en vainas y granos, además de afectar la germinación de semillas (De Oro Aguado *et al.*, 2021).

El control efectivo de estas plagas es fundamental para garantizar una producción óptima de fréjol y asegurar la seguridad alimentaria.

En este estudio, se encontró que los tratamientos químicos fueron los más efectivos en eliminar la plaga de (*Sarasinula plebeia*) en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Var. Voluble en los ciclos 2023 y 2024. Se evidencia que en los tratamientos botánico y físico actúan diferente, pero siendo medidas efectivas para disminuir la población de gasterópodos. Sin embargo, pudimos detectar que el control botánico fue significativamente mejor que el físico en el primer ciclo (2023), del cual se puede deducir que influyó un poco más en disminuir la presencia de la babosa (*Sarasinula plebeia*). La actividad de las babosas es básicamente nocturna, ya que la luz influye fuertemente en su hábito de sobrevivencia, lo cual este comportamiento limita a un manejo eficiente indiferente de la técnica de manejo que se aplique (Pérez-Marulanda y Giraldo-Sánchez, 2020).

En un estudio de evaluación del efecto de extractos vegetales sobre la alimentación de la babosa gris (*Deroceras reticulatum*) se encontró que los extractos acuosos de ruda, neem y ají rocoto mostraron potencial disuasivo de la alimentación con esteroides y saponinas como los metabolitos secundarios más cuantiosos en las especies de plantas y posiblemente asociados a este efecto disuasivo (López *et al.*, 2018).

Los modelos matemáticos apoyan los estudios ecológicos y el diseño de estrategias de control y la toma de decisiones, puesto que permiten aclarar y predecir los efectos de factores como los parasitoides, sobre las poblaciones plaga (Miranda, 2014).

Se estimaron parámetros de verosimilitud mediante los criterios de información AIC (Criterio de Información de Akaike), AICC (AIC Corregido), BIC (Criterio de Información Bayesiano), CAIC (AIC Consistente) y HQIC (Criterio de Información de Hannan-Quinn) permitiendo conocer el mejor modelo que se ajuste en verificar el mejor tratamiento para el MIP.

De acuerdo a los resultados estadísticos de ajuste muestran que el modelo de Toeplitz se ajusta razonablemente bien. Sin embargo, de los diferentes criterios de información estadísticos aplicados en el trabajo de estudio, el más apto y el que estima la calidad relativa la probabilidad efectiva es el AIC (Criterio de Información de Akaike) siendo propicio indicante de la Verosimilitud Residual. De acuerdo con Korner *et al.* (2015) mencionan que cuanto más pequeño sea el AIC mejor será el rendimiento predictivo del modelo. Filosóficamente, AIC es una estimación de la distancia relativa esperada entre el modelo ajustado y el verdadero mecanismo desconocido que realmente generó los datos observados.

Existen varias opciones de covarianza para establecer patrones de modelamiento de datos de mediciones repetidas. Escoger un modelo que tome en cuenta el patrón más apropiado es imprescindible para obtener conclusiones precisas. Si el análisis es demasiado simplista, corremos el riesgo de incrementar el error Tipo I y subestimar los errores estándar. Si el modelo de covarianza es muy complejo sacrificamos poder y eficiencia.

Durante el período de este estudio, las condiciones climáticas variables pueden haber influido en la actividad de las plagas, incluidas las gasterópodos. Las condiciones ambientales y los hábitos de las plagas, como la actividad nocturna de las babosas, pueden influir en la eficacia de los métodos aplicados. En la cual en el manejo de gasterópodo no solo aumenta a la sostenibilidad del sistema agrícola. Y que al considerar las condiciones ambientales y el comportamiento biológico de la babosa, se pueden desarrollar enfoques más integrados y responsables que minimicen el impacto ambiental y que se promuevan un control eficaz.

El MIP en el cultivo de fréjol implica considerar una variedad de enfoques, como el control químico, biológico, mecánico y cultural (Brenes y Flores, 2007). Esto requiere la aplicación de prácticas que van desde el uso de pesticidas hasta la implementación de métodos de control no químicos, como la eliminación de malezas y la promoción de enemigos naturales de las plagas.

Además, conocer la velocidad de crecimiento poblacional de la plaga *Sarasinula plebeia* serviría como modelo para evaluar el mejor tipo de manejo del mismo, el cual permitiría al agricultor reducir la pérdida de sus productos.

Conclusiones

Los tratamientos evaluados mostraron un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$), lo que confirma su eficacia en la reducción del daño causado por la plaga *Sarasinula plebeia*. Los tratamientos químicos fueron los más efectivos para eliminar dicha plaga en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* var. Voluble) durante los ciclos agrícolas 2023 y 2024. Asimismo, se evidenció que los tratamientos botánico y físico actuaron de manera diferente, aunque ambos resultaron efectivos para disminuir la población de gasterópodos. Sin embargo, se observó que el control botánico fue significativamente más eficaz que el físico en el primer ciclo (2023), lo que sugiere una mayor influencia en la reducción de la presencia de *S. plebeia*. Estos hallazgos respaldan el uso del manejo integrado de gasterópodos como una estrategia sostenible y beneficiosa para los productores.

El análisis de los datos, basado en el modelo de Toeplitz y complementado con el Criterio de Información de Akaike (AIC), permitió identificar la sensibilidad del modelo estadístico utilizado, subrayando la importancia de seleccionar adecuadamente la estructura de covarianza en análisis de mediciones repetidas, para garantizar una interpretación precisa y representativa de los datos experimentales.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Laboratorio de Microbiología Vegetal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, al programa de Posgrado en Sanidad Vegetal, y al agricultor Segundo Sigcha del cantón Pangua de la Provincia de Cotopaxi.

Referencias bibliográficas

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Altieri, M. A., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R. y Sikor, T. O. (2012). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. <https://shorturl.at/7w5BM>
- Beaver, J. S. y Osorno, J. M. (2009). Achievements and limitations of contemporary common bean breeding using conventional and molecular approaches. *Euphytica*, 168, 145–175. <https://shorturl.at/M3trS>
- Brenes, H. y Flores, N. (2007). *Control de la babosa, espundia o lipe en época de primavera*. Plantwise. <https://tinyurl.com/ycfj8p8h>
- Burgo, A., Pérez, R. y Londoño, J. (2019). El manejo integrado de plagas como estrategia para una agricultura sostenible. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(1), 45–54. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8629>

- Chasi Pérez, F. J. (2017). Determinación de la eficiencia de diferentes atrayentes naturales para el control del caracol gigante africano (*Achatina fulica*). [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://tinyurl.com/4545p35j>
- Espinosa da Silva, C. E., Gahagan, S., Suarez-Torres, J., Lopez-Paredes, D., Checkoway, H. y Suarez-Lopez, J. R. (2022). Time after a peak-pesticide use period and neurobehavior among ecuadorian children and adolescents: The ESPINA study. *Environmental research*, 204, 112325. <https://acortar.link/A4hOEw> <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112325>
- De Oro Aguado, R. F., Sánchez Doria, T., Rubiano Rodríguez, J. A. y Sierra Baquero, P. V. (2021). *Principales plagas del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en el Cesar, Colombia*. SIDALC Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA <https://tinyurl.com/4vyhc636>
- Garcés Fiallos, F., Aguirre, R., Díaz, E., Sánchez-Mora, F. y Prieto, O. (2013). Enfermedades y componentes de rendimiento en dieciséis genotipos de fréjol en Quevedo, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*. 6- 2 (31-39). <https://shorturl.at/GbsrK>
- García Chacón, G. L. (2014). *Población y control de caracol en el cultivo papaya, en san antonio, Santa Rosa*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. <https://tinyurl.com/p8u2n34z>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pangua. (2018). *Plan de Ordenamiento Territorial Pangua (PDOT)*. <https://tinyurl.com/bdbwvewr>
- Korner, F., Roth, T., von Felten, S. y Guélat, J. (2015). Criterio de información de Akaike. *Science Direct*, 175 - 196. Obtenido de <https://tinyurl.com/4k34vwdv>
- Le Gall, M. y Tooker, J. F. (2017). Developing ecologically based pest management programs for terrestrial molluscs in field and forage crops. *Journal of Pest Science*, 90(3), 825-838.
- Littell, R. C., Stroup, W. y Feund, R. (2006). *SAS for mixed models*. Fourth Edition. Cary, Nc: SAS Institute Inc. 466p.
- López, L., Lima, H., Perichi, G. y I. Matute. (2018). Efecto fagodisuasivo de extractos vegetales sobre la alimentación de la babosa gris y tamizaje fitoquímico. *Agronomía Tropical*, 68 (3-4): 113-123. <https://tinyurl.com/3hvy45py>
- Maza, J. M. (2013). Efecto de los extractos botánicos para el control del caracol (*Achatina fulica*) en el cultivo de arroz (*Oriza sativa*). [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12057>
- Miranda, I. (2014). Modelación matemática de la dinámica de poblaciones: desarrollo histórico y uso práctico en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 29(3), 157-167. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000300001
- Olin Fabela, L. A., Carreño Meléndez, F. y Torres Oregón, F. T.(2024). Agroecología y sustentabilidad: una convergencia para el desarrollo. Ediciones Comunicación Científica. <http://doi.org/10.52501/cc.182>
- Oregon State University Extension Service. (2010). *Managing slugs and snails in your garden*. Oregon State University. <https://tinyurl.com/yc7em5vb>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021: Lograr que los sistemas agroalimentarios sean más resilientes frente a las perturbaciones y tensiones*. Editorial FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476es>
- Parvez, G. M. (2017). Current advances in pharmacological activity and toxic effects of various Capsicum species. *Int. J. Pharm. Sci. Res*, 8(5), 1900-1912. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8\(5\).1900-12](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8(5).1900-12)
- Pérez-Marulanda, J. A. y Giraldo-Sánchez, C. E. (2020). Parámetros poblacionales de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) y pérdidas asociadas en tomate de invernadero. *Revista de Biología Tropical*, 68(4). <https://tinyurl.com/mrxnxhzn>
- Pitty, A. y Andrews, L. (1990). Efecto del Manejo de malezas y la labranza sobre la babosa del frijol. *Turrialba*, 40(2), 272-277. <https://tinyurl.com/yckhtpxn>
- Ramón, V. y Rodas, F. (2007). *El control orgánico de plagas y enfermedades de los cultivos y la fertilización natural del suelo*. <https://tinyurl.com/vyyvwu8c>
- Salazar-Rojas, K. A. y Granados-Muñoz, J. A. (2018). Evaluación de diferentes tácticas para el control de gasterópodos (babosas terrestres) en el cultivo de lechuga (lactuca sativa l. Var. Fallgreen) en la zona de el guarco de Cartago. [Tesis de grado, Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10652>
- Silva, G., Lagunes, T. A., Rodríguez M, J. C. y Rodríguez L, D. (2002). Insecticidas vegetales: una vieja y nueva alternativa para el manejo de plagas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (66), 4-12. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6414>
- Vinces, R. (2020). Comportamiento morfo-agropoductivo de diferentes cultivares de fréjol común (*Phaseolus vulgaris*) en las condiciones edafoclimáticas de la granja Santa Inés. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. <https://tinyurl.com/3thefect>

Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L. y Akbulut, M. E. (2024). Integrated pest management: an update on the sustainability approach to crop protection. ACS omega, 9(40), 41130-41147. <https://shorturl.at/D3E73>



Soil aggregate formation and carbon storage by endogeic earthworms in an Ultisol

Formación de agregados del suelo y almacenamiento de carbono por lombrices de tierra endogéicas en un Ultisol

Mauricio Renato Morejón Centeno¹, Rocio Natividad Morejón Lucio², José Nolberto Macías Veliz³

¹University of Puerto Rico-Mayagüez; Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

²Universidad Técnica de Manabí; Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Autor de correspondencia: rocionluc.morejon@uteq.edu.ec

Recibido: 13/03/2024. Aceptado: 13/03/2025.

Publicado el 2 de julio de 2025.

Abstract

The role of soil micro and macro-organism in the incorporation of carbon to soil aggregates of tropical soils has been understudied. To test soil aggregate formation and carbon incorporation by earthworm activity, we conducted a field experiment within a secondary forest and a microcosm experiment at the University of Puerto Rico in Mayagüez. We used $\delta^{13}\text{C}$ natural abundance in vegetation and the difference in $\delta^{13}\text{C}$ between C3 and C4 plants to track carbon sources in the soil. Maize leaves were utilized to trace the incorporation of C4 carbon within soil aggregates, allowing for a clear distinction between this carbon source and the C3 carbon derived from forest vegetation. Earthworms and soil samples (Typic Haplohumults) were collected at 0-10 cm soil depth. Aggregates size classes were separated by the wet sieving method. In the study site, two earthworm species were found belonging to epigeic and endogeic ecological categories. In a period of 6 months, our field data suggests that endogeic *P. corethrurus* can reorganize small macroaggregates to form large macroaggregates. Our results suggest that *P. corethrurus* shows a preference for consuming soil-derived carbon and can translocate it from microaggregates to macroaggregates by restructuring soil aggregates.

Keywords: Bioturbation, soil organic carbon, organic matter, isotope, tropical soils.

Resumen

El rol de los micro y macroorganismos del suelo en la incorporación de carbono a los agregados del suelo ha sido poco estudiado en los suelos tropicales. Para evaluar la formación de agregados del suelo y la incorporación de carbono mediante la actividad de las lombrices de tierra, realizamos un experimento de campo en un bosque secundario en la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Utilizamos la abundancia natural de $\delta^{13}\text{C}$ en la vegetación y la diferencia del isótopo de $\delta^{13}\text{C}$ entre plantas C3 y C4 para rastrear las fuentes de carbono dentro de los agregados del suelo. Se utilizaron hojas de maíz para rastrear la incorporación de carbono C4 en los agregados del suelo, permitiendo una clara distinción entre esta fuente de carbono y el carbono C3 derivado de la vegetación del bosque. Se colectaron muestras de lombrices de tierra y suelo (Typic Haplohumults) a una profundidad de 0-10 cm. Las clases de tamaño de los agregados se separaron por el método de tamizado húmedo. En el sitio de estudio se encontraron dos especies de lombrices de tierra pertenecientes a las categorías ecológicas epigéicas y endogéicas. En un período de 6 meses, nuestros resultados sugieren que la especie endogéica *P. corethrurus* puede reorganizar pequeños macroagregados para formar grandes macroagregados. Nuestros resultados sugieren que *P. corethrurus* muestra una preferencia por consumir carbono derivado del suelo y puede translocarlo desde los microagregados a los macroagregados mediante la reestructuración de los agregados del suelo.

Palabras clave: Bioturbación, carbono orgánico del suelo, materia orgánica, isótopo, suelos tropicales.

Introduction

Earthworms are among the most abundant and important “soil engineers” that impact the physical, chemical, and biological characteristics of the humid tropical ecosystems (Blanchart *et al.*, 2004; González *et al.*, 2007; Lavelle *et al.*, 1992). Earthworms are known to affect the fluxes of organic matter (OM) decomposition, soil organic carbon (SOC), and direct incorporation of SOC into soil, thereby altering soil structure and fertility (Aira *et al.*, 2008; Blanchart *et al.*, 1997; Fonte *et al.*, 2009; Le Couteulx *et al.*, 2015; Pulleman *et al.*, 2005; Sánchez-de León *et al.*, 2018; Whalen and Janzen, 2002).

Through their feeding and casting activities, earthworms help to remove part of the plant litter from the soil surface and influence the SOM incorporation into soil aggregates (Bossuyt *et al.*, 2005) by ingest particulate organic matter (POM) and mineral soil. This mixing of organic material with mineral particles results in the formation of casts (Bossuyt *et al.*, 2004, 2005; Sánchez-de León *et al.*, 2014). Earthworm-formed aggregates provide physical protection to organic carbon (OC) against rapid mineralization by microorganisms, thus contributing to long-term carbon storage in soils (Bossuyt *et al.*, 2005; Pulleman *et al.*, 2005; Sánchez-de León *et al.*, 2014; Six *et al.*, 2002).

Although several studies show that earthworms species can create new soil macroaggregates (Blanchart *et al.*, 1997; Bossuyt *et al.*, 2004, 2005; Sánchez-de León *et al.*, 2014), it has also been shown that certain earthworm species can fragment existing soil aggregates like small Eudrilidae (Blanchart *et al.*, 1997, 2004; Kamau *et al.*, 2020). Thus, the effect of earthworms in soil aggregation seems to be species dependent.

Soil aggregates formed by earthworm feeding and casting activities can result in the physical storage of soil carbon (Fonte *et al.*, 2007; Sánchez-de León *et al.*, 2014). Bossuyt *et al.* (2004) found that soil aggregates formed by earthworm's activity contained 3,6 times larger macroaggregates (larger than 2 000 µm) and more total carbon (4,26 g C kg⁻¹ soil) than treatment without earthworms. Similar results were reported by Sánchez-de León *et al.* (2014) in an experiment where the macroaggregate mass in treatments with earthworms was two to three times greater than treatments without earthworms. In addition, Bossuyt *et al.* (2004, 2006) found that earthworm activity can increase the formation of water-stable microaggregates inside large macroaggregates four-fold compared to treatments without earthworms.

Despite these findings, the role of earthworm aggregate formation and their influence on carbon storage in tropical soils of Puerto Rico (i.e., Ultisols and Oxisols) has been little studied. Ultisols and Oxisols are highly meteorized soils characterized by low activity clays (1:1 clay minerals), and low fertility (e.g., Soil Survey Staff, 2014). Many studies related to earthworms in Puerto Rico have been focused on feeding behavior, density, distribution, diversity, and their

influence on soil physical properties (Amador *et al.*, 2013; Dechaine *et al.*, 2005; González *et al.*, 2007; González and Zou, 1999; Hubers *et al.*, 2003; Liu and Zou, 2002; Sánchez-de León *et al.*, 2003). However, studies using stable isotopes to understand the aggregate formation, and incorporation of carbon into aggregates by earthworms are few (Amador *et al.*, 2013; Hendrix *et al.*, 1999; Lachnicht *et al.*, 2002).

The aim of the experiment was to study the impact of earthworms on an Ultisol found from the secondary forest at Finca Alzamora in Mayaguez, Puerto Rico, focusing on soil aggregates formation and its relationship with carbon incorporation. Our objective was to measure the earthworm abundance and aggregate distribution under natural field conditions in an Ultisol within a secondary forest vegetation (C3-vegetation). In addition, we took advantage of the natural ¹³C isotopic differences between C3 and C4 plants (O'Leary 1981) to measure the incorporation of maize leaf-derived carbon within aggregates under natural field conditions. Although, we did not expect that aggregate distribution would be affected by C4 leaf litter addition, we hypothesized that carbon added through the C4 leaf litter (maize) would be readily incorporated into soil aggregates, and the ¹³C isotopic difference will allow the tracking of this newly incorporated carbon.

Materials and methods

The field study was conducted within the secondary forest at the Alzamora Farm, located in the University of Puerto Rico in Mayagüez (near 18° 13' 12,5" N, 67° 08' 49,0" W). The soil was Consumo (clay fine, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplohumults) (Soil Survey Staff, 2014). The area has a tropical climate with a mean annual precipitation of 1.020 to 1.780 mm and mean temperature of 26 °C (Beinroth *et al.*, 2002; Harmsen *et al.*, 2002; Ravalo *et al.*, 1986). The forest vegetation in the area in the past 45 years has been dominated by C3 plant species such: *Albizia procera*, *Swietenia mahagoni*, *Castilla elastica*, *Tilipariti elatum*, *Mangifera indica*, *Guarea guidonia*, *Ceiba petandra*, *Inga fagifolia*, *Delonix regia*, *Peltophorum inerme*, and *Leucaena leucocephala* (Túa-Ayala, 2023). The field experiment was conducted from June 2017 through December 2017.

In September 2017, the island of Puerto Rico experienced the effects of hurricanes Irma and Maria. The experimental plots were checked on September 11, 2018, after the Irma hurricane and on September 29, 2018 after the Maria hurricane. In both cases, the experimental plots did not show addition or loss of soil by erosion. Leaf litter and other vegetation debris (e.g., mostly tree trunks) on top of plots were removed to continue the field experiment.

Table 1. Latitude, longitude, aspect and gradient of experimental plots of Consumo soil series at Finca Alzamora secondary forest

Plot	Latitude	Longitude	Aspect (°)	Slope (%)	Bulk density (g cm ⁻³)
1	18° 13' 4,89" N	67° 08' 38,46" W	227	1	1,02
2	18° 13' 14,89" N	67° 08' 37,55" W	295	1	1,09
3	18° 13' 14,31" N	67° 08' 38,42" W	320	2	1,21
4	18° 13' 15,40" N	67° 08' 36,34" W	298	18	1,13

Plant material and field application

Leaves from maize plants were collected from an organic orchard located at the Alzamora Farm. leaves from the forest floor (C3-leaves) at the study site were collected as other treatment. All leaves were cut and dried in paper bags for 72 hours at 65 °C in an oven, followed by grinding to < 2 mm. For selecting the experimental plots, we used an aerial photography of the study site, 16 sections of 20 × 20 m were digitally delineated with ArcMap v.10.5 (Environmental System Research Institute, Redlands, CA, USA) and of these, four sections were randomly selected. In each of these selected areas of the forest, one experimental plot of 1 × 1 m size was delimited using barrier landscape fabric without altering the trees. Each plot was a replicate of the experiment. Geographical information of the plots is included in Table 1. The experimental plots were split in half (sub-plot of 0,5 × 1 m), with each half corresponding to one randomly assigned treatment. The two treatments were: control forest floor leaves (C3-leaves) and maize leaves (C4-leaves) with four repetitions (n=4). On 5 June 2017, we applied 400 g m⁻² of maize leaves (2,04 g C kg⁻¹ of soil) on each of the C4-leaves treatment replicates and 400 g m⁻² of forest leaves (2,71 g C kg⁻¹ of soil) on each of the C3-leaves treatment replicates.

Earthworm sampling

During November 2 017; six months after treatment addition; earthworms and cocoons were collected from a soil area of 25 × 25 cm to a depth of 10 cm by hand sorting and gently breaking the soil. Earthworm samples were placed in plastic bags with a moistened paper towel and transported in a cooler to the Soil Chemistry Laboratory at the University of Puerto Rico, Mayagüez, during the same day of collection.

Earthworms from each sub-plot were measured by their abundance (individuals m⁻²), and fresh weight (grams of fresh weight m⁻²). Earthworms were placed in petri dishes with fiber glass filter paper for 72 hours to let earthworms empty their gut content (Schmidt, 1999; Whalen and Janzen,

2002). A sub-sample of adult earthworms was selected to be preserved in 1:10 dilution of formaldehyde 37% for taxonomic identification. Taxonomic identification was performed by earthworm taxonomist Dr. Sonia Borges using (Borges, 1996) taxonomic key.

Water stable aggregates

A soil core sampler (AMS Inc., USA) with 4,5 cm diameter was used to collect the soil sample at a depth of 10 cm from soil surface from each sub-plot. Soil samples were collected between November 27 to December 15, 2017. Each soil core was broken along its natural breaking points (Fonte *et al.*, 2009; Jastrow *et al.*, 2005). The soil was gently passed through an 8-mm sieve and roots were removed (Jastrow *et al.*, 1996, 2005; Six *et al.*, 1998). Afterwards, soil samples were air dried at room temperature. The soil samples were fractionated in three 50 g soil sub-samples to be separated into four aggregate size fractions by wet sieving method (Bossuyt *et al.*, 2005; Elliott, 1986; Sánchez-de León *et al.*, 2014). For this experiment, 12 sub-samples were analyzed per treatment, for a total of 24 sifted sub-samples.

Three sieves were used to obtain four size fractions: 1) large than 2.000 µm (large macroaggregates); 2) 250-2.000 µm (small macroaggregates); 3) 53-250 µm (microaggregates); and 4) less than 53 µm (silt+clay fraction). Aggregates were manually sieved by vertical oscillation, moving the sieve up and down 50 times by 3 cm, during a two-minute period. Particles belonging to less than 53 µm (silt+clay fractions) were released in the rinse water and collected via centrifugation by 10 minutes at 4.500 rpm and 20 °C.

All fractions were placed into an oven to dry at 65 °C, by 24 hours, and then weighed. Soil aggregate fraction was corrected and expressed as sand-free aggregate fraction as shown in Equation 1 (Elliott, 1986; Sánchez-de León *et al.*, 2014; Six *et al.*, 2000). To express carbon concentration in aggregates as a sand free basis, we used Equation 2 (Six *et al.*, 1998).

$$\text{Sand - free aggregate}_{fraction} = (\text{aggregate} + \text{sand})_{fraction} \times [1 - (\text{sand proportion})_{fraction}] \quad (1)$$

$$\text{Sandfree (C)}_{fraction} = \frac{(C)_{fraction}}{1 - (\text{sand proportion})_{fraction}} \quad (2)$$

Where C represents the carbon concentration within each aggregate fraction. Sand content of macroaggregates and microaggregates sizes were determined using the modified method of particle size analysis described by Jackson (2005).

Isotope analysis

Samples of soil aggregates, maize leaves and leaf litter were analyzed for $\delta^{13}\text{C}$, with an isotope ratio mass spectrometer (Finnegan Delta Plus XL, Bremen, Germany) coupled with an elemental analyzer (Costech Elemental Analyzer, California, USA). The isotope analysis was performed at the University of Illinois at Chicago, at the Geochemistry Stable Isotope Laboratory. The result was expressed in delta notation using part per thousand ($\delta\text{‰}$) as follows in Equation 3.

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\left(\frac{{}^{13}\text{R}_{\text{sample}} - {}^{13}\text{R}_{\text{standard}}}{{}^{13}\text{R}_{\text{standard}}} \right) \right] \times 1000 \quad (3)$$

Where ${}^{13}\text{R}_{\text{sample}}$ represents the ratio ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ in the sample and ${}^{13}\text{R}_{\text{standard}}$ is the ratio of the two isotopes in the standard PDB (belemnite from Pee Dee Formation) (Bossuyt *et al.*, 2004; O'Leary, 1981). Equipment also provided data for percent of soil carbon ($\% \text{C} = \text{g}_{\text{C}} / 100 \text{ g}_{\text{soil}}$ and $\% \text{N} = \text{g}_{\text{N}} / 100 \text{ g}_{\text{soil}}$). To determine the amount of the soil carbon and labeled maize carbon that was incorporated into each soil aggregate size class, we used the mixing model ISOERROR 1.04 spreadsheet (Phillips and Gregg, 2001).

Data analysis

The experimental plots were established in the field using a 2×4 factorial design, incorporating two types of leaf inputs (C4-leaves and C3-leaves) and four aggregate size classes (large macroaggregates, small macroaggregates, microaggregates and silt+clay). We implemented a posteriori contrast analysis to evaluate the effects of soil-derived carbon and leaf-derived carbon on the aggregate size classes. The design includes five specific contrasts, each designed to evaluate particular hypothesis or comparison among the treatments group. The results were subjected to statistical analysis using a two-way ANOVA. The relationship between earthworm abundance and across different aggregate size classes was analyzed using a linear regression model PROC REC analysis. Normality and homogeneity of variances were tested using Shapiro-Wilks and Levene's tests. Transformation attempts of non-normal data were unsuccessful for the mass of size fraction and carbon concentration. Therefore, we used the PROC GLIMMIX of SAS University Edition version 9.4 (SAS Institute Inc., 2015) for analysis of variance. Separation of means were tested using Tukey's honestly significant difference at a level of $p < 0.05$.

Results and discussion

In the study site, we found two exotic earthworm species: *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1856) from South America

with endogeic behavior and *Amyntas hawayanus* (Rosa, 1981) from Asia with epigeic behavior. The most common species was *Pontoscolex* sp. with 15 immature earthworms compared to *A. hawayanus* with 2 adult earthworms of the total earthworms taxonomically classified. Overall, the earthworm abundance ranged from 64 individuals m^{-2} to 336 individuals m^{-2} and the biomass was from 9,46 to 53,1 grams of fresh weight m^{-2} . The mean earthworm abundance in treatments with C3-leaves was 200 ($\pm 62,82$) individuals m^{-2} and in treatment with C4-leaves was 192 ($\pm 50,6$) individuals m^{-2} . The mean biomass in plots with C3 leaves was 23,59 ($\pm 5,96$) grams of fresh weight m^{-2} and in plots with C4-leaves was 32,63 ($\pm 8,53$) grams of fresh weight m^{-2} .

As expected, there was no significant difference for the factor leaves additions (Table 2). For the aggregate size class factor, the proportion of aggregate mass was significantly higher for small macroaggregates (250-2.000 μm) than large macroaggregates ($> 2.000 \mu\text{m}$), microaggregates (53-250 μm) and silt+clay ($< 53 \mu\text{m}$) (Figura. 1, Table 2). Additionally, the soil aggregates showed significantly higher values of $\delta^{13}\text{C}$ for C4-leaves [$-26,95 (\pm 0,16) \text{‰}$] than C3-leaves [$-27,58 (\pm 0,16) \text{‰}$] (Table 2).

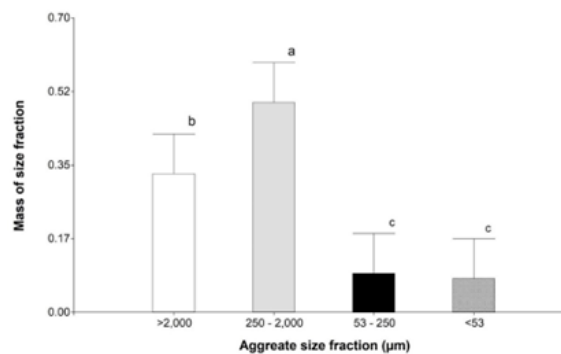


Figure 1. Aggregate size distribution in the field experiment in the Consumo soil. Letters with different lowercase are significantly different among aggregate size classes within each treatment. Means ($n=4$) are significantly different as determined with Tukey's Least Significance Difference test (two-way ANOVA; $p < 0.05$). Bars represent standard error

The distinct isotopic signal of the leaf litter enabled the detection of carbon derived from the leaf litter that was incorporated in the soil aggregate fractions (Table 2). Soil-derived carbon concentrations were not significantly different for the aggregate size classes, and their interaction as shown in Table 2. In our study, we observed differences in leaf-derived carbon concentrations, particularly within the soil's large macroaggregate and microaggregate fractions (Tables 3 and 4). In terms of the amount of carbon in the aggregates, the contribution of carbon from C3-leaves was higher [$4,24 (\pm 0,70) \text{ g C kg}^{-1} \text{ sand-free aggregates}$] than C4-leaves [$0,32 (\pm 0,70) \text{ g C kg}^{-1} \text{ sand free aggregates}$] (Table 4). From the aggregate sizes compared, only the large macroaggregates+C3 were significantly higher than large macroaggregates+C4, and the microaggregates+C3

were significantly higher than microaggregates+C4 (Table 4).

Table 2. Summary of ANOVA to evaluate the aggregate proportion, carbon concentration, and $\delta^{13}\text{C}$ signal in the field study sites. Variables tested were treatments (C4- vs. C3 leaf litter), aggregate size classes (large macroaggregates, small aggregates, microaggregates and silt+clay), and the interaction Treatments $\times$ Aggregate size classes

	Leaves (C4 vs. C3)				Aggregate size classes				Leaves (C4 vs. C3) $\times$ Aggregate size classes			
	numDF [†]	denDF [‡]	F-value	P-value	numDF	denDF	F-value	P-value	numDF	denDF	F-value	P-value
Aggregate mass proportion	1	24	0,00	0,97	3	24	16,37	<0,0001	3	24	0,30	0,82
Carbon Concentration	1	18	2,18	0,16	2	18	0,73	0,50	2	18	1,01	0,38
$\delta^{13}\text{C}$ signal	1	18	7,72	0,01*	2	18	2,33	0,13	2	18	0,10	0,90

* Significant at the 0,05 probability level. [†]Degrees of freedom for numerator (numDF). [‡]Degrees of freedom for denominator (denDF).

Table 3. Statistics of two-way ANOVA for soil derived-carbon and leaf derived-carbon sources in samples of Consumo soil under field conditions. Variables tested were leaves (C4 vs. C3), aggregate size classes [large macroaggregates (LM), small aggregates (SM), and microaggregates(M)], and the interaction Treatments $\times$ Aggregate size classes

	numDF [†]	denDF [‡]	Soil derived-carbon		Leaf derived-carbon	
			F-value	P-value	F-value	P-value
Aggregate size classes	2	18	0,63	0,55	0,57	0,57
Leaves (C4 vs. C3) $\times$ Aggregate size classes	2	18	0,55	0,58	0,26	0,77
LM+C4 vs. LM+C3	1	18	N/A [#]	N/A	7,80	0,01*
SM+C4 vs. SM+C3	1	18	N/A	N/A	3,14	0,09
M+C4 vs. M+C3	1	18	N/A	N/A	5,39	0,03*
(LM vs. SM vs. M)+C4	2	18	N/A	N/A	0,17	0,84
(LM vs. SM vs. M)+C3	2	18	N/A	N/A	0,67	0,53

* Significant at the 0.05 probability level. [†]Degrees of freedom for numerator (numDF). [‡]Degrees of freedom for denominator (denDF). [#]Not applicable.

Table 4. Carbon concentrations (g C kg⁻¹ sand-free aggregates) incorporated from C4-and C3-leaves sources in samples of Consumo soil under field conditions. Letters with different lowercase among aggregate size class within each carbon sources, are significantly different as determined with Tukey's Least Significance Difference test (two-way ANOVA; $p < 0,05$). Values are means (n=4) with standard error in parentheses

	C4-leaves source	C3-leaves source
--- g C kg ⁻¹ sand-free aggregates ----		
Aggregate size class		
Large macroaggregates	0,00 a* (1,21)	4,76 a (1,21)
Small macroaggregates	0,08 a (1,21)	3,10 a (1,21)
Microaggregates	0,89 a (1,21)	4,85 a (1,21)

*Indicate a significant different between carbon sources (C4- and C3-leaves) within each aggregate size class.

Our study uncovered a relationship between earthworm abundance and macroaggregates, showing distinct patterns based on the size of these aggregates (Figura 2). The aggregate mass proportion demonstrated a positive quadratic relationship between earthworm abundance with large macroaggregates+C4-leaves ($R^2=0,95$; $P=0,001$), as detailed in Table 5 and illustrated in Figura 2A. The proportion of large macroaggregates proportion peaked at an earthworm abundance of 262 individuals m⁻² (Figura 2A), beyond which

a slight decline was observed. While the relationship between small macroaggregates+C4 leaves, and earthworm abundance was negative ($R^2=0,80$; $P=0,001$) as shown in Table 5 and Figure 2B. For small macroaggregates+C4-leaves the lowest proportion was observed at an earthworm abundance of 217 individuals m⁻² (Figura 2B), after which there was a slight increase.

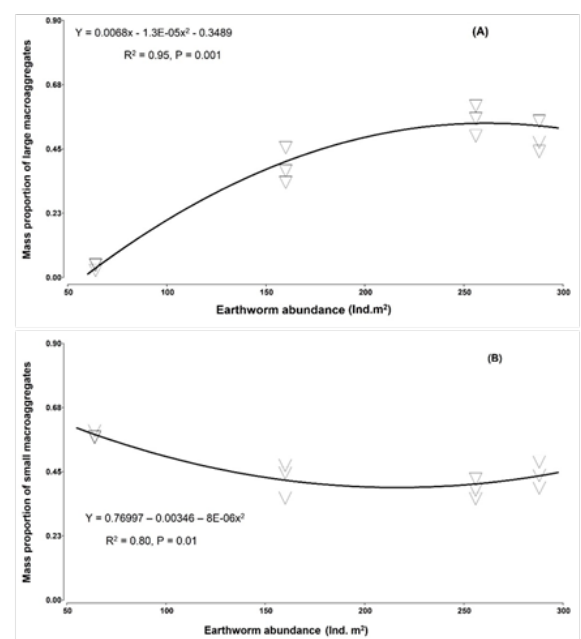


Figure 2. Relationship between earthworm abundance with mass proportion of site fraction. (A) large macroaggregates+C4 and (B) small macroaggregates+C4 of Consumo soil. Each x-axis value corresponds to one replicate for earthworm abundance and values in y-axis correspond to three soil sub-samples per micro-plot

Table 5. Relationship between aggregate size classes with abundance and biomass of earthworms of Consumo soil series in field conditions

Aggregates	Earthworms abundance (individuals m ⁻²)			Earthworms biomass (grams of fresh weight m ⁻²)		
	R ²	F	P-value	R ²	F	P-value
Large macroaggregates+C4	0,95	21,31	0,001[§]	0,68	7,29	0,02
Large macroaggregates+C3	0,91	5,61	0,04	0,34	0,1	0,76
Small macroaggregates+C4	0,80	11,64	0,01[§]	0,68	11,45	0,01
Small macroaggregates+C3	0,95	53,8	<0,0001[§]	0,67	0,13	0,72
Microaggregates+C4	0,98	35,57	0,0002	0,66	5,27	0,047
Microaggregates+C3	0,51	5,22	0,048	0,4	5,19	0,049

Our results partially support the hypothesis that differences in isotopic composition between C4- and C3-leaves allow the tracking and measure the carbon incorporation into aggregate size classes under field conditions. Six months after applying the maize leaves, the change in $\delta^{13}\text{C}$ signal was found only for mean values between C4- and C3-leaves treatments. Only a small carbon fraction from maize leaves-derived carbon (C4 leaves) was incorporated and stabilized into soil aggregates. Most C4 leaves-derived carbon may have been incorporated into silt + clay fraction or respired as CO_2 .

The lignin and aromatic compounds from plant debris can be easily associated with silt and clay fractions or lost from soil as respired CO_2 (Bossuyt *et al.*, 2006; Oades and Waters, 1991; Paul *et al.*, 1999). While the C3 leaf litter-derived carbon has been accumulated over a long time and in higher amounts, showing a higher carbon concentration than C4 leaf litter treatment. According to (Paul *et al.*, 1999), 6% from total carbon can be lost in the form of CO_2 from aboveground residues in conventional tillage treatments, 11% in no-tillage treatments, 11% in low-chemical inputs, and 20% in zero-chemical inputs. In a study of mean residence time conducted by Paul *et al.* (2008), in soils derived from volcanic ash, the researchers could not detect the pasture-derived carbon cultivated a few decades before that site changed to a secondary forest. In another study conducted by (Sánchez-de León *et al.*, 2018) using free-air CO_2 enrichment in a sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) plantation, the researchers did not find a change in the soil (Ultisol order) carbon isotopic composition two years after CO_2 fumigation ended.

We found that carbon incorporation follows the hierarchy of soil aggregate formation (Oades and Waters, 1991; Six and Paustian, 2014). This is because carbon from C4-leaf litter source was incorporated first into the microaggregates and small macroaggregates, but not into large macroaggregates (Table 4). The first state of hierarchy of aggregate formation is clay flocculation with fresh plant material and microbial products to form stable microaggregates (Jarvis *et al.*, 2012; Oades, 1993; Oades and Waters, 1991). We observed a significantly higher C4 leaf litter-derived carbon concentration for microaggregates+C4 and small macroaggregates+C4 than large macroaggregates. Our results can be showing the first stages of aggregate formation and pathway of carbon incorporation across aggregate size classes, where microaggregates are formed by C4 leaf litter-derived carbon encrusted in clay particles to form macroaggregates. Perhaps a longer incubation would have permitted re-allocation of C4 leaf litter into macroaggregates. While large macroaggregates+C3 showed a higher C3 leaf litter-derived carbon concentration than small macroaggregates+C3 and microaggregates+C3 indicate the last level of the hierarchy of carbon incorporation in the soil aggregates as shown in Table 4 (Oades and Waters, 1991; Six *et al.*, 2000; Tisdall and Oades, 1982). Our results

suggest that carbon from maize leaves residue requires a longer period for carbon stabilization and development of soil aggregates structures in each aggregate size classes (Elliott, 1986; Oades and Waters, 1991; Six *et al.*, 2002).

This study found that earthworm abundance with endogeic dominance had a relationship with large macroaggregates+C4 leaves, and small macroaggregates+C4 leaves. These trends also suggest that the large macroaggregates were formed at the expense and reorganization of small macroaggregates during burrowing and casting activities. Our results are consistent with previous studies. For example, Barois *et al.* (1993) observed with a transmission electron microscopy that *P. corethrurus* destroyed microaggregates during the gut transit and new microaggregates were formed. Sánchez-de León *et al.* (2014) observed that microaggregates and silt+clay fractions were reduced in quantity in the presence of *Diplocardia* spp. under microcosm conditions. Barois *et al.* (1993) found that aggregates were restructured during the transit by the gut of *P. corethrurus*.

Our results show that earthworm abundance could affect the proportion of large macroaggregates and small macroaggregates as well as earthworm abundance influences the restructuration of small macroaggregates to form large macroaggregates. In addition, it is possible to find other interactions between earthworms with aggregate fractions according their feeding behavior and size. Blanchart *et al.* (1997) reported that earthworm *Milsonia anomala* may ingest microaggregates and create new macroaggregates larger than 5 mm. Differences in earthworm abundance and earthworm biological stages observed across the study site could also influence the dynamics of aggregate formation and could create the observed variations.

Conclusion

The field experiment showed that leaf-derived carbon follows the aggregate hierarchy process. Carbon from C4-leaf source was incorporated first into the microaggregates and small macroaggregates, but not in the large macroaggregates. The relationship between earthworm abundance and aggregate proportion indicates that earthworms (with dominance of *P. corethrurus*) consumed small macroaggregates and created large macroaggregates. In conclusion, our results suggest that *P. corethrurus* shows a preference for consuming soil-derived carbon and may translocate it from microaggregates to macroaggregates by restructuring soil aggregates. The endogeic *P. corethrurus* plays a crucial role in soil bioturbation by restructuring soil aggregates, nutrient cycling, and organic soil carbon. Its widespread presence and adaptability make it vital for soil ecology research, providing insights into soil health and future studies on ecosystem resilience.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge the support of the University of Puerto Rico at Mayagüez and the U.S. Department of Agriculture's National Institute of Food and Agriculture (NIFA) Program H-461 project. Special thanks to Dr. Yaniria Sánchez de León, Dr. David Sotomayor, and Dr. Mario Flores. To Dr. Sonia Borges for her collaboration in earthworm taxonomic identification and to Dr. Raúl Macchiavelli for his assistance with statistical analysis.

Bibliographic references

- Aira, M., Sampedro, L., Monroy, F. y Domínguez, J. (2008). Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10), 2511–2516. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.06.010>
- Amador, J. A., Winiarski, K. y Sotomayor-Ramírez, D. (2013). Earthworm communities along a forest-coffee agroecosystem gradient: Preliminary evidence supporting the habitat-dependent feeding hypothesis. *Tropical Ecology*, 54(3), 365–374.
- Barois, I., Villemin, G., Lavelle, P. y Toutain, F. (1993). Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. *Geoderma*, 56(1–4), 57–66. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90100-Y](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90100-Y)
- Beinroth, F. H., Engel, R., Lugo, J., Santiago, C., Ríos, S. y Brannon, G. (2002). *Updated taxonomic classification of soils of Puerto Rico* (Bull. 303). Agricultural Experiment Station.
- Blanchart, E., Albrecht, A., Brown, G., Decaens, T., Duboisset, A., Lavelle, P., Mariani, L. y Roose, E. (2004). Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 104(2), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.031>
- Blanchart, E., Lavelle, P., Braudeau, E., le Bissonnais, Y. y Valentin, C. (1997). Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Cote d'Ivoire. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3–4), 431–439. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00042-9)
- Borges, S. (1996). The Terrestrial Oligochaetes of Puerto Rico. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 776, 239–248. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1996.tb17423.x>
- Bossuyt, H., Six, J. y Hendrix, P. F. (2004). Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. *European Journal of Soil Science*, 55(2), 393–399. <https://doi.org/10.1111/j.1351-0754.2004.00603.x>
- Bossuyt, H., Six, J. y Hendrix, P. F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology y Biochemistry*, 37(2), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.035>
- Bossuyt, H., Six, J. y Hendrix, P. F. (2006). Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. *Geoderma*, 130(1–2), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.005>
- Dechaine, J., Ruan, H., Sánchez-de León, Y. y Zou, X. (2005). Correlation between earthworms and plant litter decomposition in a tropical wet forest of Puerto Rico. *Pedobiologia*, 49(6), 601–607. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.07.006>
- Elliott, E. T. (1986). Aggregate Structure and Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Native and Cultivated Soils. *Soil Sci .Soc.Am.J.*, 50(3), 627–633. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1986.036159950050000300017x>
- Fonte, S. J., Kong, A. Y. Y., van Kessel, C., Hendrix, P. F. y Six, J. (2007). Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(5), 1014–1022. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.11.011>
- Fonte, S. J., Winsome, T. y Six, J. (2009). Earthworm populations in relation to soil organic matter dynamics and management in California tomato cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 41(2), 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.10.010>
- González, G., García, E., Cruz, V., Borges, S., Zalamea, M. y Rivera, M. M. (2007). Earthworm communities along an elevation gradient in Northeastern Puerto Rico. *European Journal of Soil Biology*, 43(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.044>
- González, G. y Zou, X. (1999). Plant and Litter Influences on Earthworm Abundance and Community Structure in a Tropical Wet Forest. *Biotropica*, 31(3), 486–493. <https://www.jstor.org/stable/2663944>
- Harmen, E. W., Goyal, M. R. y Torres-Justiniano, S. (2002). Estimating evapotranspiration in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 86(1–2), 35–54. <https://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/3182>
- Hendrix, P. F., Lachnicht, S. L., Callahan, M. A. y Zou, X. (1999). Stable isotopic studies of earthworm feeding ecology in tropical ecosystems of Puerto Rico. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 13(13), 1295–1299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0231\(19990715\)13:13<1295::AID-RCM605>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0231(19990715)13:13<1295::AID-RCM605>3.0.CO;2-9)

- Hubers, H., Borges, S. y Alfaro, M. (2003). The oligochaetofauna of the Nipe soils in the Maricao State Forest, Puerto Rico : The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · 2002. *Pedobiologia*, 47(5–6), 475–478. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00216>
- Jackson, M. L. (2005). Soil Chemical Analysis – Advance Course. <https://books.google.com.ec/books?id=VcEOK9QckVE&hl=es-419>
- Jarvis, S., Tisdall, J., Oades, J. M., Six, J., Gregorich, E. y Kögel-Knabner, I. (2012). Landmark papers. *European Journal of Soil Science*, 63(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01408.x>
- Jastrow, J. D., Boutton, T. y Miller, R. M. (1996). Carbon dynamics of aggregate – associated organic matter estimated by carbon – 13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60(3), 801–807. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000030017x>
- Jastrow, J. D., Miller, R. M., Matamala, R., Norby, R. J., Boutton, T. W., Rice, C. W. y Owensby, C. E. (2005). Elevated atmospheric carbon dioxide increases soil carbon. *Global Change Biology*, 11(12), 2057–2064. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01077.x>
- Kamau, S., Barrios, E., Karanja, N. K., Ayuke, F. O. y Lehmann, J. (2020). Dominant tree species and earthworms affect soil aggregation and carbon content along a soil degradation gradient in an agricultural landscape. *Geoderma*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113983>
- Lachniet, S. L., Hendrix, P. F. y Zou, X. (2002). Interactive effects of native and exotic earthworms on resource use and nutrient mineralization in a tropical wet forest soil of Puerto Rico. *Biology and Fertility of Soils*, 36(1), 43–52. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0501-5>
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A. V. y Martin, S. (1992). Impact of Soil Fauna on the properties of Soils in the Humid Tropics. In *Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication*. (Vol. 29, pp. 29). <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub29.c9>
- Le Couteulx, A., Wolf, C., Hallaire, V. y Pérès, G. (2015). Burrowing and casting activities of three endogeic earthworm species affected by organic matter location. *Pedobiologia*, 58(2–3), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2015.04.004>
- Liu, Z. y Zou, X. (2002). Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a wet forest. *Ecological Applications*, 12(5), 1406–1417. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[1406:EEAPLD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[1406:EEAPLD]2.0.CO;2)
- Oades, J. M. (1993). The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56(1–4), 377–400. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90123-3)
- Oades, J. M. y Waters, A. G. (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 815–825. <https://doi.org/10.1071/SR9910815>
- O’Leary, M. H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, 20(4), 553–567. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85134-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85134-5)
- Paul, E. A., Harris, D., Collins, H. P., Schulthess, U. y Robertson, G. P. (1999). Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 11(1), 53–65. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00130-9)
- Paul, S., Flessa, H., Veldkamp, E. y López-Ulloa, M. (2008). Stabilization of recent soil carbon in the humid tropics following land use changes: Evidence from aggregate fractionation and stable isotope analyses. *Biogeochemistry*, 87(3), 247–263. <https://doi.org/10.1007/s10533-008-9182-y>
- Phillips, D. L. y Gregg, J. W. (2001). Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia*, 127(2), 171–179. <https://doi.org/10.1007/s004420000578>
- Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y. y Jongmans, A. G. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003>
- Ravalo, E. J., Goyal, M. R. y Almodóvar, C. R. (1986). Average Monthly and Annual Rainfall Distribution in Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 70(4), 267–275. <https://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/7103>
- Sánchez-de León, Y., Lugo-Pérez, J., Wise, D. H., Jastrow, J. D. y González-Meler, M. A. (2014). Aggregate formation and carbon sequestration by earthworms in soil from a temperate forest exposed to elevated atmospheric CO₂: A microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.023>
- Sánchez-de León, Y., Wise, D. H., Lugo-Pérez, J., Norby, R. J., James, S. W. y Gonzalez-Meler, M. A. (2018). Endogeic earthworm densities increase in response to higher fine-root production in a forest exposed to elevated CO₂. *Soil Biology and Biochemistry*, 122, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.027>
- Sánchez-de León, Y., Zou, X. y Borges, S. (2003). *Recovery of Native Earthworms in Abandoned Tropical Pastures*. 17(4), 999–1006.
- SAS Institute Inc. (2015). Introduction to Mixed Modeling Procedures. *SAS/STAT 9.2 User’s Guide, Chapter 6*, 116–125.
- Schmidt, O. (1999). Intrapopulation variation in carbon and nitrogen stable isotope ratios in the earthworm *Aporrectodea longa*. *Ecological Research*, 14(4), 317–328. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.1999.00310.x>

- Six, J., Conant, R. T. y Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
- Six, J., Elliott, E. T. y Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(14), 2099–2103. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00179-6)
- Six, J., Elliott, E. T., Paustian, K. y Doran, J. W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62(5), 1367–1377. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x>
- Six, J. y Paustian, K. (2014). Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, A4–A9. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. *Soil Conservation Service*, 12, 410.
- Tisdall, J. M. y Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- Túa-Ayala, G. Z. (2013). Transformación de bosques noveles a sistemas agroforestales en la región húmeda de Puerto Rico: Pasos iniciales. [Master's Thesis, University of Puerto Rico-Mayagüez]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.11801/3558>
- Whalen, J. K. y Janzen, H. H. (2002). Labeling earthworms uniformly with C-13 and N-15: implications for monitoring nutrient fluxes. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(12), 1913–1918. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00207-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00207-9)



Caracterización florística, estructura y diversidad del arbolado urbano del cantón Puerto López, Manabí, Ecuador

Floristic characterization, structure and diversity of urban trees of the Puerto López canton, Manabí, Ecuador

Valeria Lissette Calí Ligua¹, Randy Javier Ross Chong², Blanca Soledad Indacochea Ganchozo¹, Tayron Omar Manrique Toala¹, César Alberto Cabrera Verdesoto¹

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

²Profesional independiente, Ecuador.

Autor de correspondencia: cesar.cabrera@unesum.edu.ec

Recibido: 20/08/2024. Aceptado: 08/05/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la composición florística, estructura y diversidad del arbolado urbano del cantón Puerto López, Manabí, Ecuador. Para ello, se realizó un censo forestal en 10 espacios públicos, incluyendo 7 parques y tres espacios verdes. En total, se registraron 16 especies arbóreas distribuidas en 11 familias botánicas, con 279 individuos. La familia Fabaceae destacó como la más representativa en el área de estudio. En cuanto a la estructura horizontal de las especies, se observó una distribución normal en relación con el diámetro de los árboles, destacándose una mayor abundancia en el rango de diámetros de 10 a 30 cm. La estructura vertical del arbolado mostró que el 61 % de los árboles presentaban alturas de 3 a 9 m. Además, se determinó la superficie en m² de los espacios verdes para calcular el índice verde urbano, obteniendo un valor de 5,70 m²/hab, lo cual se encuentra por debajo de la recomendación de la OMS, siendo de 9 m²/hab. Así mismo, se aplicaron diversos índices de valor ecológico para evaluar la biodiversidad del arbolado. El índice de Foráneo reveló que el 75 % de las áreas verdes presentan especies no nativas. Otros índices como el de Shannon-Wiener (2,07), Pielou (0,52), Simpson (0,62), Berger-Parker (0,59), Margalef (2,66) y Jaccard (19 %), permitieron una evaluación integral de la diversidad, equitatividad y similitud entre especies en el arbolado urbano de la zona estudiada. Estos resultados contribuyen para futuras estrategias de manejo y conservación del verde urbano.

Palabras clave: Especies arbóreas, espacios verdes, inventarios, índices de diversidad.

Abstract

The present study aims to characterize the floristic composition, structure, and diversity of the urban tree population in the canton of Puerto López, Manabí, Ecuador. To achieve this, a forest census was conducted in 10 public spaces, including 7 parks and 3 green areas. A total of 16 tree species were recorded, distributed across 11 botanical families, with 279 individuals. The Fabaceae family was the most representative in the study area. Regarding the horizontal structure of the species, a normal distribution was observed in relation to the diameter of the trees, with greater abundance in the diameter range of 10 to 30 cm. The vertical structure of the trees showed that 61 % of the trees had heights ranging from 3 to 9 m. Additionally, the area in square meters of the green spaces was determined to calculate the urban green index, obtaining a value of 5,70 m²/capita, which is below the WHO recommendation of 9 m²/capita. Various ecological value indices were also applied to assess the biodiversity of the tree population. The non-native index revealed that 75 % of the green areas contain non-native species. Other indices, such as Shannon-Wiener (2,07), Pielou (0,52), Simpson (0,62), Berger-Parker (0,59), Margalef (2,66), and Jaccard (19 %), allowed for a comprehensive evaluation of diversity, equitability, and similarity among species in the urban tree population of the studied area. These results contribute to the development of future management and conservation strategies for urban greenery.

Keywords: Tree species, green spaces, inventories, diversity indices.

Introducción

Las áreas verdes (AV) constituyen uno de los componentes más representativos del medio ambiente urbano, está integrado mayoritariamente por parques y jardines públicos, cuya gestión y mantenimiento dependen de las distintas administraciones. Por otro lado, las áreas verdes urbanas (AVU) han sido un elemento constante en las urbes; en un inicio respondieron al interés de ofrecer servicios recreativos al aire libre para los pobladores, siendo espacios con diversos tipos de vegetación (Morales-Gallegos *et al.*, 2021).

Así, la agenda 2030 para el desarrollo sostenible aprobada en 2015 con la participación de 193 países, ha programado en su objetivo 11: “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes, y sostenibles” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017).

La relación entre el arbolado urbano y la calidad de vida, es un factor clave para el bienestar de los habitantes de una ciudad, desempeñando un papel fundamental en la estrategia del desarrollo sustentable en los entornos urbanos (GonzálezKuk *et al.* 2019). Los espacios públicos, que albergan una parte significativa del arbolado urbano, ofrecen beneficios ambientales y sociales, que impactan directamente la salud y bienestar de la población (Blancarte, 2016).

El estudio tuvo como objetivo caracterizar la composición florística, estructura y diversidad de las áreas verdes urbanas,

así como determinar la superficie en m² de los espacios verdes y la cobertura arbórea para calcular el índice verde urbano. Adicionalmente, se calcularon diversos índices de valor ecológico, incluyendo el índice de Foráneo, Shannon-Wiener, Equidad de Pielou, Simpson, Berger-Parker, Margalef y Similitud de Jaccard. Estos índices proporcionaron una evaluación integral de la biodiversidad, la equidad, la riqueza y la similitud de las especies presentes en los espacios verdes estudiados.

Materiales y métodos

Localización de la investigación

El estudio se realizó en el cantón Puerto López, entre las coordenadas UTM, 17S X: 521073 Y: 9827695, ubicada al suroeste de la provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1). El cantón posee una extensión territorial de 427,43 km² y presenta una precipitación media anual 254 mm. La temperatura media anual oscila entre 20 °C a 35 °C, Limita al Norte con el cantón Jipijapa, al Este con el cantón Jipijapa y la provincia de Santa Elena, al Sur con la provincia de Santa Elena y al Oeste con el Océano Pacífico [Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT Puerto López, 2020)].



Figura 1. Ubicación espacial de las áreas verdes del cantón Puerto López

La caracterización florística, estructura y diversidad del arbolado urbano del cantón Puerto López se fundamentó en los siguientes pasos:

Inventario florístico

Se llevó a cabo un censo de todas las especies forestales presentes en las áreas verdes de la zona urbana del cantón Puerto López. Esto incluyó lugares como parques y zonas verdes. Se determinaron variables dendrométricas, tales como el diámetro a 1,30 m de la base del suelo utilizando una cinta diamétrica, la altura total (h), el volumen de copa y las coordenadas de cada parque.

Estructura horizontal y vertical

Se jerarquizó la importancia de cada especie de manera horizontal, considerando variables como la abundancia, frecuencia y dominancia, a partir, de intervalos de clases diamétricas de 10 cm. Así mismo, se evaluó la estructura vertical mediante la altura de los árboles, utilizando intervalos de clases de tres en tres metros, siguiendo la metodología de Jiménez *et al.* (2021).

Población y muestra

La investigación consideró el 100 % de los parques y zonas verdes urbanas, siguiendo el enfoque metodológico de Cabrera *et al.* (2022).

La determinación de las áreas verdes y el área de cobertura neta del arbolado, se realizó mediante la medición de los perímetros de los espacios públicos verdes y copas de las especies forestales, utilizando el modelo propuesto por Cabrera *et al.* (2022).

Determinación del índice verde urbano

El índice verde urbano (IVU) se calculó a partir de la proyección de la población del área urbana del último censo realizado en el año 2010 por el (Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador [INEC], 2012). Asimismo, se consideró el total de la superficie urbana de Puerto López que incluyen áreas verdes, cuya extensión fue calculada en m², utilizando la ecuación 1 en referencia a Cusme y Farfán, (2022).

El valor obtenido del IVU, fue comparado con el dato establecido por la Organización Mundial de la Salud, siendo de 9 m²/hab.

Análisis de la información

Para evaluar cada especie de las áreas verdes urbanas, se calculó el Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE), el cual considera la abundancia relativa (AR), la frecuencia relativa (FR) y la dominancia relativa (DmR), utilizando las ecuaciones 2, 3, 4, 5 y 6 según Cabrera *et al.* (2022).

Para evaluar las especies no nativas con relación a las nativas, es decir, el porcentaje de aquellas especies que no son originarias al cantón se determinó utilizando el índice de Foráneo (*Sa*). Además, se emplearon los índices de diversidad de Shannon-Wiener (*H'*), índice de equidad de Pielou (*E*), índice de Simpson (*λ*), índice de Berger-Parker (*d*), índice de riqueza de Margalef (*D_{mg}*) y el índice de similitud de Jaccard (*J*), para evaluar diversos aspectos de la estructura y diversidad del arbolado, utilizando las ecuaciones 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 propuestas por Moreno (2001).

$$IVU = \frac{\text{Total superficie de áreas verdes (m}^2\text{)}}{\text{Número de habitantes de la zona urbana del cantón Puerto López}} \quad (1)$$

$$\text{Abundancia absoluta (A)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de individuos por especie}}{\text{Total de área muestreada}} \quad (2)$$

$$\text{Abundancia relativa (AR)\%} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de individuos por especie}}{\text{N}^\circ \text{ total de individuos}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Frecuencia relativa (FR)\%} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de sitios en que está la especie}}{\text{N}^\circ \text{ total de sitios de muestreo}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Dominancia relativa (DmR)\%} = \frac{\text{Área basal de la especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE)\%} = \frac{AR + FR + DR}{3} \quad (6)$$

$$Sa = \left(\frac{S_{nn}}{(S_{nn} + S_n)} \right) * 100 \quad (7)$$

$$H' = \text{Abundancia relativa} * \text{Logaritmo natural} \quad (8)$$

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{\text{Nº de individuos de la especie}}{\text{Nº total de individuos de la muestra}} \quad (10)$$

$$d = \frac{\text{Frecuencia de especies dominantes } N_{\max}}{\text{Número total de individuos } N} \quad (11)$$

$$D_{Mg} = \frac{\text{Nº especies presentes}}{\text{Nº total de individuos}} \quad (12)$$

$$J = \frac{c}{a+b-c} * 100 \quad (13)$$

Resultado y Discusión

Identificación de la composición florística y estructura que existen en las áreas verdes del cantón Puerto López.

El censo forestal de las áreas verdes realizado en la zona urbana del cantón Puerto López, registró 16 especies arbóreas pertenecientes a 11 familias botánicas, con un total de 279 individuos, siendo Fabaceae la familia mayormente distribuida en la zona de estudio, (Tabla 1).

Estos resultados difieren al estudio de Ortiz y Luna (2019) en Chaco, Argentina, quienes registraron 137 especies arbóreas, 48 familias botánicas y con un total de 6.352 individuos. Así mismo, difieren con el estudio de Cabrera *et al.* (2022) en el cantón Portoviejo, Ecuador, donde se identificaron 30 especies arbóreas, 14 familias botánicas, con un total de 4.139 individuos. Por su parte, Afanador (2018) en la ciudad de Saravena, Colombia con 117 especies, 46 familias botánicas con un total de 26.116 individuos. Por su parte, existe coincidencia de resultados con los estudios de Ortiz y Luna (2019); Cabrera *et al.* (2022); Leal *et al.* (2018); Canizales *et al.* (2020) y Alanís *et al.* (2022), quienes mencionan a la familia Fabaceae como la más representativa en las áreas verdes urbanas.

Tabla 1. Composición florística que existen en las áreas verdes de Puerto López

Nº	Nombre científico	Nombre común	Familia	Total de árboles
1	<i>Albizia guachapele</i> , (Kunth) Dugand	Guachapelí	Fabaceae	1
2	<i>Cocos nucifera</i> L.	Palma de coco	Arecaceae	164
3	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Neem	Meliaceae	43
4	<i>Bunchosia armeniaca</i> (Cav.) CC. (1824)	Ovo Fraile Jardinero	Malpighiaceae	1
5	<i>Citrus reticulata</i> Blanco, 1837	Mandarina	Rutaceae	1
6	<i>Coccoloba uvifera</i> L.	Uva de playa	Polygonaceae	6
7	<i>Cordia lutea</i> Lam.	Muyuyo	Boraginaceae	1
8	<i>Delonix regia</i> , (Bojer ex Hook.) Raf.	Acacia roja	Fabaceae	2
9	<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.	Almendra	Fabaceae	15
10	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guaba de machete	Fabaceae	1
11	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don, 1822	Jacarandá	Bignoniaceae	1
12	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Meliaceae	2
13	<i>Muntingia calabura</i> L.	Frutillo	Muntingiaceae	1
14	<i>Olea europaea</i> L., 1753	Olivo negro	Oleaceae	28
15	<i>Phyllanthus acidus</i> (L.) Skeels.	Grosella	Euphorbiaceae	2
16	<i>Prosopis pallida</i> , (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth	Algarrobo	Fabaceae	10
Total			11	279

Estructura horizontal y vertical del arbolado urbano

La estructura horizontal del arbolado mostró una distribución normal en relación con la distribución diamétrica de las especies plantadas, presentando una ligera asimetría positiva (Figura 2). Se observó que la mayoría de las especies se encuentran en el rango de diámetros de 10 a 30 cm, abarcando el 63 % del total de las especies registradas. En contraste, la categoría de 0 a 10 cm concentró el 17 % de las especies. Este patrón sugiere que la mayor parte del arbolado urbano del cantón está conformado por ejemplares jóvenes, con una representación limitada de individuos maduros. Estos resultados difieren con lo reportado por Canizales *et al.* (2020) en las áreas verdes de la ciudad Montemorelos, Nuevo León, México, donde se encontró una distribución normal con un alto número de árboles maduros, concentrándose la mayoría de los individuos se agrupan en la categoría de 30 a 40 cm.

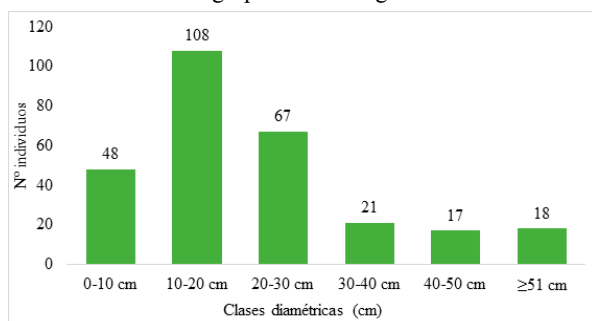


Figura 2. Clases diamétricas de los árboles de las áreas verdes de Puerto López

La estructura vertical del arbolado urbano muestra que el 61 % de los árboles presentan una altura comprendida entre 3 y 9 m. El 19 % de los árboles se encuentra en el rango de 0 a 3 m de altura, mientras que el 20 % restante tiene una altura igual o superior a 10 m, como se muestra en la Figura 3. Estos resultados divergen con el estudio de Jiménez *et al.* (2021),

quienes reportaron una distribución de altura entre 3 y 12 m con el 60 % de las especies, mientras el 7 % de especies entre 0 y 3 m de altura y el 23 % de árboles con alturas entre 12 y 18 m. Esta discrepancia sugiere diferencias en la estructura vertical del arbolado urbano según el contexto específico de cada estudio.

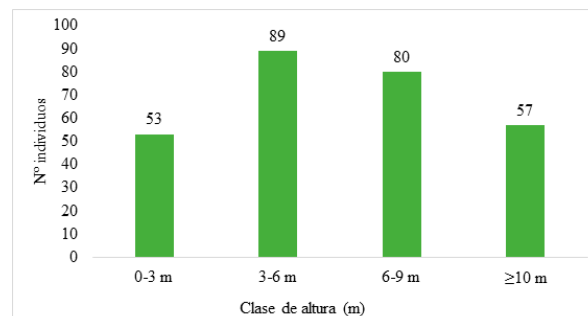


Figura 3. Clases de altura de los árboles de las áreas verdes de Puerto López

Determinación la superficie de áreas verdes y arbolado que existe en la zona de estudio

En la zona urbana del cantón Puerto López, el área verde total es de 56.428 m², con una cobertura neta de arbolado de 4.058 m² (Tabla 2). Estos datos indican una cobertura arbórea más baja en comparación con los datos de Cabrera *et al.* (2022) en Portoviejo, quienes obtienen 412.879 m² de área verde total y 34.917 m² de cobertura de arbolado urbano. Sin embargo, los resultados de Puerto López superan a los obtenidos por Cabrera *et al.* (2020) en Jipijapa, quienes obtienen 16.473 m² de área verde total y 4.760 m² de área neta de cobertura arbórea. Estas comparaciones reflejan las variaciones en la cobertura de arbolado urbano según el contexto geográfico y las características de cada ciudad.

Tabla 2. Determinación de los espacios verdes y arbolado existente de la zona urbana de Puerto López

Nº	Área verde pública	EFM	EFNM	Total área verde (m ²)	Total de área neta cobertura arbolado (m ²)	Total de individuos
1	Zona verde Ciudadela Isla de la Plata		6	638	47	6
2	Parque de la Madre	2	3	499	74	5
3	Parque Ciudadela Miramar		2	520	16	2
4	Parque Ciudadela Luis Gencon	6		2.361	261	6
5	Parque Miraflores		3	480	12	3
6	Parque Central		18	1.437	144	18
7	Zona verde avenida del Malecón Puerto López	46	193	48.663	3.504	239
8	Parque San Alejo	0	0	1.022	0	0
9	Parque Los Alamos	0	0	192	0	0
10	Zona verde Maximiliano Obrien	0	0	616	0	0
Total				56.428	4.058	279

Nota. Especie forestal maderable (EFM); Especie forestal no maderable (EFNM).

El cantón Puerto López tiene un índice verde urbano de 5,70 m²/hab, lo que discrepa con el estudio de Cabrera *et al.* (2020), quienes reportaron 2,7 m²/hab en Jipijapa, Ecuador. Por su parte, los resultados son semejantes a los registrados por Cabrera *et al.* (2022) quienes reportan un índice de 4,92 m²/hab en Portoviejo, Ecuador.

Descripción de los índices de valor de importancia ecológica, Foráneo, Berger-Parker, Shannon-Wiener, Equidad de Pielou, Simpson, Margalef y Similitud de Jaccard del arbolado en las áreas verdes del cantón Puerto López

El índice de valor de importancia ecológica (Tabla 3), con mayor porcentaje es *Cocos nucifera* L., con 36,53% y las

especies de menor importancia *Jacaranda mimosifolia* D. Don, 1822, *Cordia lutea* Lam., con 1,57 %, como se presenta en la Tabla 3. Lo que diverge con el estudio de Leal *et al.* (2018), quienes reportan mayor IVIE para *Fraxinus americana* L., con 30,91 % y *Citrus sinensis* (L) Osbeck de menor importancia con 0,20 %. Además, discrepa con el estudio de Cabrera *et al.* (2022), quienes presentan resultados con mayor porcentaje de IVIE para *Albizia guachapele* (Kunth) Dugand con 17,87 %, y las especies *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman 1968, *Cecropia peltata* L., registran menor importancia con 0,38 %.

Tabla 3. Determinación del índice de valor importancia ecológica

Nº	Nombre científico	Abundancia		Frecuencia		Dominancia		IVIE (100 %)
		Aa	Ar (%)	Fa	Fr (%)	Da	Dr (%)	
1	<i>Albizia guachapele</i> , (Kunth) Dugand	1	0,36	1	4	0,16	0,95	1,82
2	<i>Cocos nucifera</i> L.	164	58,78	4	17	5,63	34,14	36,53
3	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	43	15,41	4	17	8,67	52,63	28,24
4	<i>Bunchosia armeniaca</i> (Cav.) CC. (1824)	1	0,36	1	4	0,04	0,27	1,60
5	<i>Citrus reticulata</i> Blanco, 1837	1	0,36	1	4	0,05	0,31	1,61
6	<i>Coccoloba uvifera</i> L.	6	2,15	1	4	0,09	0,53	2,28
7	<i>Cordia lutea</i> Lam.	1	0,36	1	4	0,03	0,20	1,57
8	<i>Delonix regia</i> , (Bojer ex Hook.) Raf.	2	0,72	1	4	0,43	2,58	2,49
9	<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.	15	5,38	1	4	0,40	2,40	3,98
10	<i>Inga edulis</i> Mart.	1	0,36	1	4	0,04	0,22	1,58
11	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don, 1822	1	0,36	1	4	0,03	0,19	1,57
12	<i>Mangifera indica</i> L.	2	0,72	1	4	0,01	0,09	1,66
13	<i>Muntingia calabura</i> L.	1	0,36	1	4	0,05	0,29	1,61
14	<i>Olea europaea</i> L., 1753	28	10,04	3	13	0,38	2,28	8,27
15	<i>Phyllanthus acidus</i> (L.) Skeels.	2	0,72	1	4	0,03	0,20	1,69
16	<i>Prosopis pallida</i> , (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth	10	3,58	1	4	0,45	2,71	3,49
Total		279	100	24	100	16,48	100	100

Tabla 4. Índices de diversidad de las áreas verdes del cantón Puerto López

Puerto López	Total de individuos	Sa (%)	E	λ	d	D_{Mg}	J (%)	
	279	75	2,07	0,52	0,62	0,59	2,66	19

Nota. Índice de Foráneo (Sa); índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'); índice de equidad de Pielou (E); índice de Simpson (λ), índice de Berger-Parker (d), índice de riqueza de Margalef (D_{Mg}) y índice de similaridad de Jaccard (J).

Diversidad

En la Tabla 4, el índice de Foráneo (Sa) mostró que un 75 % de las especies presentes en las áreas verdes corresponden a especies no nativas. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Morales-Gallegos *et al.* (2023) quienes también manifestaron un alto porcentaje de especies no nativas en las áreas verdes estudiadas. Este patrón sugiere una tendencia común en los espacios verdes urbanos, con una prevalencia de especies foráneas en relación con las nativas.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') para las áreas muestreadas presentó un valor de 2,07, indicando una diversidad media en el arbolado urbano de Puerto López. Este resultado es comparable con el estudio de Martínez *et al.* (2022), que reportó una diversidad de 2,84 en su investigación.

El valor obtenido para el índice de Pielou (E) es de 0,52 lo que indica una equitatividad media en la distribución del componente arbóreo. Resultado que concuerda con Cué *et al.* (2020), quienes obtuvieron un índice de equitatividad media de 0,48.

El índice de Simpson (λ) fue de 0,62, lo que sugiere una diversidad media influenciada por las especies más dominantes. Este resultado se alinea parcialmente con Martínez *et al.* (2022), quienes reportaron una diversidad media de 0,90 en su estudio.

El índice de dominancia de Berger-Parker (d) para las áreas verdes estudiadas fue de 0,59, lo que indica una dominancia media y sugiere que la distribución de individuos entre las especies es relativamente equitativa. Resultado que difiere con Saavedra-Romero *et al.* (2019), quienes obtienen un valor de 0,66 en el Bosque San Juan de Aragón, reflejando una baja riqueza y alta dominancia de especies.

El índice de riqueza de Margalef (D_{Mg}) fue de 2,66, indicando una diversidad media de especies. Este valor difiere con Canizales *et al.* (2020), quienes reportan una diversidad baja de 1,9. Por otro lado, el índice de similaridad de Jaccard (J) fue de 19 %, lo que indica que la proporción de especies compartidas es insuficiente para considerar que se trata de sitios con una diversidad similar. Este resultado contrasta con el estudio de Cué *et al.* (2020), quienes reportaron una similitud de 34 % entre la composición florística de las áreas verdes, indicando una mayor semejanza entre las áreas estudiadas en su investigación.

Conclusiones

La composición florística permitió identificar los caracteres taxonómicos de las especies forestales maderables y no maderables que conforman las áreas verdes del cantón Puerto López. Además, se observó una distribución equilibrada del arbolado urbano tanto en la dimensión horizontal como vertical, destacando una mayor concentración de árboles en rangos de diámetros medianos y alturas moderadas.

La baja superficie de espacios verde por habitante, en comparación con las recomendaciones de la OMS, resalta la necesidad de ampliar y mejorar las zonas verdes urbanas para promover la salud ambiental y mejorar la calidad del aire en las ciudades, contribuyendo así a un entorno urbano más saludable y sostenible que promueva el bienestar de la población.

Los índices de valor ecológico revelan una alta presencia de especies no nativas en las áreas verdes estudiadas, lo que sugiere la necesidad de implementar estrategias de gestión efectivas para conservar y fortalecer la biodiversidad en el entorno urbano. Estas estrategias deberían enfocarse en la promoción de especies nativas, la restauración ecológica y la gestión sostenible del arbolado urbano para mejorar la funcionalidad de los ecosistemas urbanos y sus servicios ambientales.

Referencias bibliográficas

- Afanador, G. F. (2018). Diseño de estrategias de manejo silvicultural para la población arbórea urbana del municipio de Saravena departamento de Arauca. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18072>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Gárate-Escamilla, H. y Sigala Rodríguez, J. Á. (2022). Caracterización del arbolado urbano del centro de Hualahuises, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(73), 29-49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1271>

- Blancarte Siqueiros, R. H. (2016). La relación entre las áreas verdes y la calidad de vida en ambientes urbanos. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/23348>
- Cabrera Verdesoto, C. A., Ponce Macías, C. J., Cantos Cevallos, C., Morán Morán, J. J. y Cabrera Verdesoto, R. P. (2020). Áreas Verdes Y Arbolado En La Zona Urbana Del Cantón Jipijapa. *Ciencia y Tecnología*, 13(2), 47–53. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.392>
- Cabrera-Verdesoto, Macías Cedeño, L. E., Mielles Segura, K. A., Jiménez-González, A. y Manrique Tóala, T. O. (2022). Áreas verdes y arbolado en la zona urbana del cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. *Siembra*, 9(1), e3380. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3380>
- Canizales Velázquez, P. A., Alanís Rodríguez, E., Holguín Estrada, V. A., García García, S. y Chávez Costa, A. C. (2020). Caracterización del arbolado urbano de la ciudad de Morelos, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(62), 111-135. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- Cué García, J. L., Chagna, E. J., Palacios, W. A. y Carrión, A. M. (2020). Biodiversidad forestal en dos campus de la Universidad Técnica del Norte, Ecuador. *Revista de las Agrociencias ISSN 2477-8982*, (24), 9–28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8232822>
- Cusme Sacón, M. D. y Farfán Valdéz, E. V. (2022). *Evaluación del índice verde urbano de la parroquia Calceta para la elaboración de un plan de manejo de áreas verdes* [Tesis de Grado, Escuela Superior politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1795>
- González-Kuk, G., Muñoz-Márquez Trujillo, R. A., García-Albarado, J. C. y Gómez-Merino, F. C. (2019). Áreas verdes urbanas en Córdoba, Veracruz. Cantidad, ubicación y acceso: un análisis ortogonal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1565-1578. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1907>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2012). *Índice Verde Urbano 2012*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-verde-urbano/>
- Jiménez, E., Serna González, L., Escudero, A. y Martínez Cataño, A. (2021). *Diversidad, estructura y riesgo de los árboles del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria*. Grupo de Investigación INTEGRA, Facultad de Ingeniería, Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1536>
- Leal Elizondo, C. E., Leal Elizondo, N., Alanís Rodríguez, E., Pequeño Ledezma, M. Á., Mora-Olivo, A. y Buendía Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(48), 252-270. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Martínez Juárez, G., Rodríguez Trejo, D. A., Granados Sánchez, D., Mohedano Caballero, L. y Villanueva Morales, A. (2022). Descripción del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla por grado de marginación y vialidad. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(70), 85-111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.830>
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T. y Mohedano-Caballero, L. (2021). El espacio ocioso urbano como alternativa para la creación de áreas verdes en Texcoco, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3), 423-439. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300423&lng=es&tlng=es
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Hernández-De la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D. y Saavedra-Romero, L. D. L. (2023). Diversidad, estructura y salud del arbolado en áreas verdes de la ciudad de Texcoco, México. *Bosque (Valdivia)*, 44(2), 401-414. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000200401>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir biodiversidad*. M y T-Manuales y Tesis SEA. (Vol. 1) Zaragoza, España. 84 pp. https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad
- Organización de las Naciones Unidas. [ONU]. (2017). *ODS 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles en América Latina y el Caribe*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Ortiz, N. L. y Luna, C. V. (2019). Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la Ciudad de Resistencia, Chaco-Argentina. *Agronomía & Ambiente Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, 39(2): 54-68. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/97>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT Puerto López]. (2020). *Plan de desarrollo turístico del cantón Puerto López 2020-2025*.
- Saavedra-Romero, L. D. L., Hernández-de la Rosa, P., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T. y Villa-Castillo, J. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica*, 47(24), 25-37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>



Pronóstico de la contaminación por material particulado PM10 con series de tiempo

Forecast of pollution by pm10 particulate material with time series

Gabriela Johyma Guerrero Muñoz¹, Livino Manuel Armijos Toro²

¹Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador.

²Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.

Autor de correspondencia: gabriela.guerrero@upec.edu.ec

Recibido: 30/07/2024. Aceptado: 16/05/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

Este estudio pretende explicar la variación temporal de las partículas PM10 en la calidad del aire de Quito, estimar los riesgos futuros de contaminación y minimizar los efectos nocivos para la salud mediante la aplicación de medidas preventivas. La investigación adopta un enfoque cuantitativo, centrándose en los datos de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) para predecir la contaminación por PM10. Los resultados indican que las concentraciones promedio de material particulado en cada estación para un año es aceptable con base en los modelos de homocedasticidad, estacionariedad y normalidad. La estación más adecuada es Guamaní, donde las concentraciones de material particulado alcanzan hasta 38,8 %. Según las previsiones, la calidad del aire es buena cuando se sitúa en el intervalo 0-50, en el que los efectos sobre la salud son aceptables. Guamaní presenta sistemáticamente valores aceptables en este rango. El modelo seleccionado es ARIMA (2, 1, 5) con un ajuste aceptable y apropiado, proporcionando una alternativa robusta para el manejo de la calidad del aire a través de partículas PM10 mediante el análisis de series de tiempo. Este estudio proporciona información valiosa sobre la calidad del aire en Quito y el potencial para abordar la contaminación atmosférica.

Palabras clave: Polución aérea, calidad de aire, Guamaní.

Abstract

This study aims to explain the temporal variation of PM10 particles in Quito's air quality, estimate future pollution risks, and minimize adverse health effects through the implementation of preventive measures. The research adopts a quantitative approach, focusing on data from the Quito Metropolitan Atmospheric Monitoring Network (REMMAQ) to predict PM10 pollution. The results indicate that the average particulate matter concentrations at each station for a year are acceptable based on homoscedasticity, stationarity, and normality models. The most suitable station is Guamaní, where particulate matter concentrations reach up to 38.8%. According to forecasts, air quality is considered good when it falls within the 0-50 range, where the health effects are acceptable. Guamaní consistently presents acceptable values in this range. The selected ARIMA (2, 1, 5) model, with an acceptable and appropriate fit, provides a robust alternative for managing air quality through PM10 particles using time series analysis. This study provides valuable information on air quality in Quito and the potential to address air pollution.

Keywords: Air pollution, air quality, Guamaní.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que la contaminación del aire representa un riesgo significativo para la salud ambiental. Por lo tanto, se indica en los comunicados e informes que los contaminantes atmosféricos en el aire que se respira no cumplen con los límites sanitarios. Dos informes de la OMS, aprobados en 2016, revelaron que el 92 % de la población mundial vive en lugares que no cumplen con las pautas de calidad del aire (Alcaldía de Cuenca, 2020).

La OMS (2024), “estima que en 2019 aproximadamente el 37 % de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18 y 23 % de las muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, respectivamente, y el 11 % de las muertes se debieron a cáncer de las vías respiratorias”.

Esto significa que las evaluaciones locales de contaminación del aire troposférico en ciudades y pueblos causan 3 millones de muertes prematuras al año. Debido a la importancia del problema, es crucial investigar los factores que contribuyen a las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire, así como establecer políticas y aumentar la conciencia pública. El transporte en las ciudades, el uso ineficiente de la energía en los hogares, la generación de energía a partir de combustibles contaminantes y la falta de manejo de recursos, desechos industriales, domésticos y agrícolas son las principales causas o fuentes de contaminantes atmosféricos (Querol, 2018).

En el Ecuador, según el Plan Nacional de la Calidad del Aire, existen pocas investigaciones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas, estos temas no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano y no se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire. En los últimos años, la Fundación Natura a través de su proyecto “Calidad del Aire” ha efectuado algunos estudios muy puntuales sobre los efectos provocados en la salud por la contaminación atmosférica (Rodríguez, 2018).

En Ecuador, “la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad establece un marco jurídico para fomentar un funcionamiento sinérgico y coordinado de las acciones llevadas a cabo desde las instancias públicas y privadas, con el fin de consolidar los mecanismos que permitan promover la calidad y demostrar el cumplimiento de los estándares establecidos tanto a nivel nacional como internacional, con el fin último de asegurar la calidad a nivel nacional e internacional” (Mariño *et al.*, 2022).

La CORPAIRE “Corporación para el Mejoramiento del Aire en Quito” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2004); mediante su técnica de control planifica y mejora la calidad del aire utilizando datos de alta calidad y tecnología para prevenir y controlar la contaminación, principalmente causada por automóviles. La mayoría de los contaminantes atmosféricos típicos parecen estar por debajo de los límites establecidos por

los estándares de calidad del aire. Un problema particular es el PM10, partículas pequeñas de 10 micras de diámetro que ingresan a los pulmones a través del sistema respiratorio, causando irritación y causando una variedad de enfermedades (Rubio, 2019).

Las partículas PM10 son partículas sólidas o líquidas de diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros (μm) y se encuentran dispersas en la atmósfera. Pueden ser polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen. Este tipo de partículas PM10 puede producirse en la atmósfera por factores naturales y humanos según Cruz Yépez *et al.* (2025) y “pueden ser producidos de manera natural o artificial tanto por fuentes móviles como estacionarias. Algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la re-suspensión de partículas en el ambiente, y se asocian generalmente con la combustión no controlada” (Canales *et al.*, 2014).

El material particulado (PM) es un contaminante atmosférico importante que presenta riesgos para la salud humana. El polvo mineral, el azufre, los sulfatos, los óxidos de nitrógeno, el cloruro de sodio, el azufre, el polvo mineral y otras sustancias sólidas y líquidas suspendidas en el aire se conocen como PM. Las partículas PM_{2,5} son más peligrosas porque pueden abrir la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo, mientras que las partículas PM10 pueden penetrar y profundizar en los pulmones (Dávila *et al.*, 2022).

Para el monitoreo de los contaminantes que están presentes en el “Distrito Metropolitano de Quito se crea la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), cuya finalidad es producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito que sirvan como insumo para la planificación, formulación, ejecución y evaluación de políticas y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del aire y difundir esta información en condiciones comprensibles para el público en general” (Quito informa, 2018).

Este estudio pretende explicar la variación temporal del material particulado (PM10) en la calidad del aire de Quito, estimar los riesgos futuros de contaminación y minimizar los efectos nocivos para la salud mediante la aplicación de medidas preventivas. También predice la contaminación por PM10 en la red de vigilancia de la calidad del aire de la capital ecuatoriana, ya que la degradación de la calidad del aire está afectando a la salud de la población, sobre todo en el sistema respiratorio. El estudio pretende mejorar el nivel de vida y reducir la contaminación.

Rojas y Medina (2022), un estudio realizado en Ate, Lima, utilizó redes neuronales artificiales para predecir concentraciones de PM10. La red pudo predecir las concentraciones de PM10 con buena precisión antes de las 6 horas. Sin embargo, los datos de 9 a 24 horas mostraron resultados inconsistentes. Por lo que el estudio utilizó varias arquitecturas RNA, registros de contaminación del aire, variables meteorológicas y datos de simulación WRF-CHEM.

En la misma línea Zafra *et al.* (2019), dice que el estudio

utiliza un análisis de series temporales para analizar las concentraciones de PM10 en las telarañas urbanas. Donde los resultados muestran que la estabilidad de las PM10 es mayor cuando aumenta la cobertura vegetal, con una vida útil de dos días en zonas urbanas densamente arboladas. Las zonas urbanas con vegetación tienen concentraciones diarias de PM10 más bajas (-42,7 %) en comparación con las zonas impermeables. El estudio también muestra que las concentraciones de PM10 se ven afectadas principalmente por los ciclos de emisión de fuentes fijas y móviles en la zona.

Corrobora Sepúlveda *et al.* (2020) over last years different models based on artificial intelligence has been proposed to forecast particulate matter concentration with the purpose of generate early warning systems that avoid people exposition. This paper analyzed a characterization scheme in time-frequency domain using the Wavelet to predict time series of PM10 and PM2.5 using the Support Vector Regression optimized with Particle Swarm Optimization (SVR-PSO, este estudio analizó las características tiempo-frecuencia de series de material particulado utilizando vectores de soporte y optimización del enjambre de partículas. A pesar de la alta complejidad computacional, el método proporcionó una velocidad de procesamiento legible, lo que facilitó su implementación en sistemas en tiempo real. La combinación de características ondículas y temporales mejoró significativamente la capacidad de predicción, a pesar de la falta de buenos resultados con estas características.

Finalmente Mejía (2020) especialmente producto del PM10 se ha vuelto una creciente preocupación para las autoridades locales debido a los efectos adversos que tiene en materia de salud. De esta manera, un modelo de pronóstico es beneficioso para la ciudad pues permite, a la población, tomar medidas preventivas y minimizar los efectos en salud de la contaminación. Adicionalmente, un análisis en cuanto a la implementación de un sistema de alertas puede probar ser útil para las autoridades y la población como una herramienta adicional para mitigar los efectos del material particulado. En este artículo se propone una metodología estructurada para el desarrollo de modelos de pronóstico basados en series de tiempo, para cada una de las horas pico de los días de la semana (de 6:00 am a 6:00 pm, en su investigación referente a la contaminación por PM10 en Bogotá (RMCAB) propone la implantación de un método propuesto en 2017 y 2018, considerándose todas las mediciones atmosféricas tomadas en el aeropuerto de El Dorado. Donde se analizaron diferentes pronósticos cruciales para recomendar la opción más adecuado para cada estación de la red. Lo cual ayudó a tomar las decisiones en encontrar puntos claves para enfrentar cambios en las condiciones ambientales de la ciudad.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el Distrito Metropolitano de Quito, capital de Ecuador, ubicada a 2.850 metros sobre el

nivel del mar, con una población estimada de 2,01 millones de habitantes. Durante el periodo analizado, esta área presentó niveles críticos de contaminación del aire. Según un análisis exploratorio de series temporales, se previó un aumento en los niveles de contaminación por material particulado PM10, registrado por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, dado que se trabajó con datos históricos provenientes de las estaciones de monitoreo de REMMAQ, lo cual permitió realizar pronósticos sobre la concentración de PM10 en función de los objetivos y problemas planteados.

El periodo de análisis corresponde al periodo comprendido entre los años 2007 y 2017, e incluyó registros de contaminantes del aire en el Distrito Metropolitano de Quito. La muestra del estudio estuvo compuesta por los datos de PM10 recolectados en diferentes estaciones de monitoreo distribuidas en diversos sectores de la ciudad. El número de datos recopilados por estación fue el siguiente: Belisario (608), Tumbaco (2.346), Carapungo (2.737), Guamaní (2.385), Cotocollao (763), Los Chillos (650), El Camal (223), Tababela (434) y Jipijapa (646). Estas estaciones cubrieron una representación geográfica amplia del área urbana y suburbana, como se indicó en la Figura 1



Figura 1. Localización de estaciones de Monitoreo REMMAQ (Jiménez, 2018)

A través del análisis exploratorio se detectó la presencia de datos perdidos, pues las estaciones de monitoreo tuvieron, en ocasiones, problemas, arreglos o regularizaciones mediante procesos de calibración, y eso originó la falta de datos en las bases de datos, lo que influyó en el comportamiento del sistema de predicción. Además, de que había características no uniformes de frecuencia del registro, en algunos meses faltaban días completos y en otros existían días que repetían múltiples mediciones, por la cual cosa se decidió trabajar a partir de los promedios mensuales de los datos existentes y así se generó una base de datos mensual por cada estación de monitoreo. Más adelante, se construyeron los datos empleados en la forma de series temporales. Sin embargo, las bases continuaban presentando datos perdidos, se llevó

a cabo la técnica SeaDec (Seasonal Decomposition of Time Series) para imputar datos; esto consistía en descomponer la serie en tendencia, estacionalidad, o ruido y así se producía una imputación coherente con el comportamiento temporal de la variable. A partir de esta técnica, se detectó cuál era el modelo ARIMA que mejor se ajustaba, considerando sus componentes autorregresivos (AR), de diferenciación (I) y de media de móviles (MA).

La función de autocorrelación (ACF) se utilizó en la detección de los posibles valores para los parámetros autorregresivos (p) y de media móvil (q). Las diferencias necesarias para la estacionalización de la serie se aplicaron, y posteriormente se recurrió al AIC para secuenciar diferentes modelos donde se determinaría como modelo mejor ajustado aquel que presentara el menor score. Por último, se revisó el comportamiento del modelo con un análisis de residuos para verificar el cumplimiento de los supuestos fundamentales como la homocedasticidad, normalidad, estacionalización e independencia. Validado el cumplimiento y asumidos los supuestos se procedió a realizar la predicción de la serie temporales en un horizonte de 5 meses. La calidad de la predicción se evaluó mediante el cálculo del error porcentual y

el error relativo mediante la diferencia de los errores absolutos entre valores observados y estimados. El análisis estadístico se ejecutó en el entorno de desarrollo integrado (IDE) para el lenguaje de programación R, específicamente en computación estadística y generación de gráficos. Respecto al análisis descriptivo sobre las series temporales, se identificó el modelo ARIMA por medio de la función `auto.arima()` que sugirió como modelo óptimo el ARIMA (1, 1, 1) obteniendo un valor medio de AIC = 96,17, resultado que fue coincidente con el obtenido mediante la validación paso a paso del modelo.

Resultados

Los promedios de concentración de material particulado en cada estación dada por año se muestran en la Tabla 1.

Donde se obtienen los siguientes valores: el mínimo es 22,3, el máximo es 57,3 y el promedio es 34,5.

Los mejores modelos en función de los criterios AIC en las diferentes estaciones se indican en la Tabla 2.

Tabla 1. Promedio de concentración de material particulado PM10 por año y estación

Estaciones	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	35,5	37,3	43,9	31,0	31,6	NA	26,7	29,1	29,0	29,5	24,0
Cotocollao	29,7	28,9	22,3	34,6	28,0	31,8	30,3	NA	NA	NA	NA
Guamaní	36,8	32,9	40,4	35,7	42,0	41,8	39,0	40,2	40,4	NA	NA
Los Chillos	30,4	23,6	24,1	23,8	25,1	27,7	32,6	31,4	33,5	27,9	25,2
Jipijapa	30,5	28,6	24,9	23,0	24,7	41,8	NA	31,3	31,6	29,4	28,8
El Camal	NA	NA	39,9	45,6	43,0	33,8	44,9	NA	NA	NA	NA
Tababela	NA	40,0	52,9	34,5	22,9	28,3	26,4	34,6	35,3	28,4	23,7
Carapungo	NA	NA	NA	44,9	47,0	57,3	53,7	48,4	54,9	48,0	48,8
Tumbaco	NA	NA	NA	30,4	32,5	38,8	36,9	36,6	34,7	26,9	NA
Rango Deseable	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Nota. NA quiere decir que no se tiene datos en esos años

Tabla 2. Mejores modelos seleccionados en función de los Criterios AIC

Estación	Modelo seleccionado	Criterio AIC Akaike
Belisario	ARIMA (1,1,1)	961,6996
Tumbaco	ARIMA (4,0,5)	527,2494
Carapungo	ARIMA (3,0,3)	678,4592
Cotocollao	ARIMA (1,0,0)	619,6167
Los chillos	ARIMA (1,0,0)	1005,977
Guamaní	ARIMA (2,1,5)	-9,544219
Tababela	ARIMA (2,0,1)	95,14997
Jipijapa	ARIMA (0,1,3)	916,0606
El camal	ARIMA (0,0,1)	-130,5113

La Tabla 2, presenta los modelos ARIMA dados de varias estaciones en función de sus modelos seleccionados bajo criterios AIC Akaike, de la siguiente manera:

a) La conversión de los datos en una serie temporal dada a través de un determinado modelo, obteniéndose una serie de tiempos en un gráfico de autocorrelación, como se observa en la Figura 2.

Donde se detalla que:

1. La Figura 2A da una serie temporal que detalla la muestra de evolución de los datos a lo largo de tiempo.
2. En la Figura 2B se obtiene una serie temporal a diferentes retardos (lags) mientras que las líneas punteadas representan los límites de significancia.
3. La Figura 2C muestra la autocorrelación parcial de la serie temporal a diferentes retardos.

b) Se continua con la descomposición de la serie, como se muestra en la Figura 3.

En los diferentes tramos se obtiene:

1. Data (Serie Temporal Original), indica las fluctuaciones como se dan a lo largo del tiempo.
2. Remainder (Residuo), se trata de la parte aleatoria o ruido de datos.
3. Seasonal (Estacionalidad), detallan los patrones recurrentes que se dan a lo largo de intervalos de tiempos regulares.
4. Trend (Tendencia), capta las variaciones que se dan durante un determinado periodo sea este prolongado o no.

c) A continuación, se procede a determinar las series estacionaria y estacionalidad según codificaciones ndiffs como se indica en la Tabla 3.

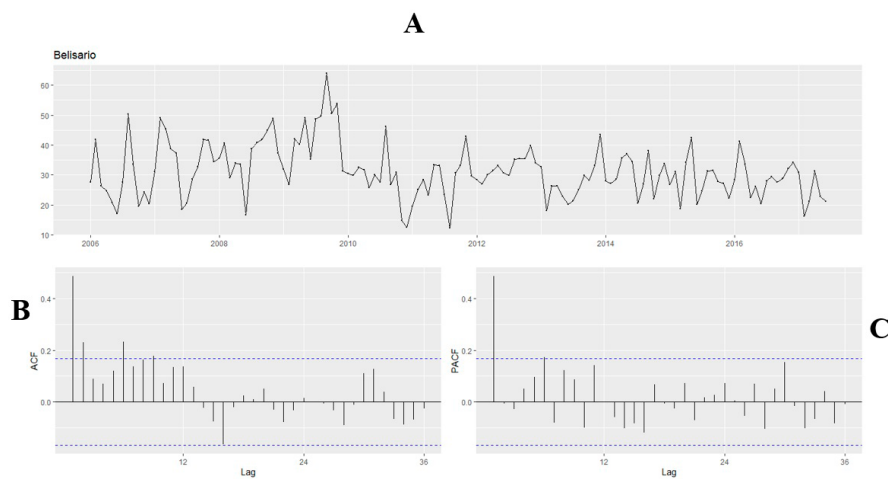


Figura 2. Análisis de series temporales

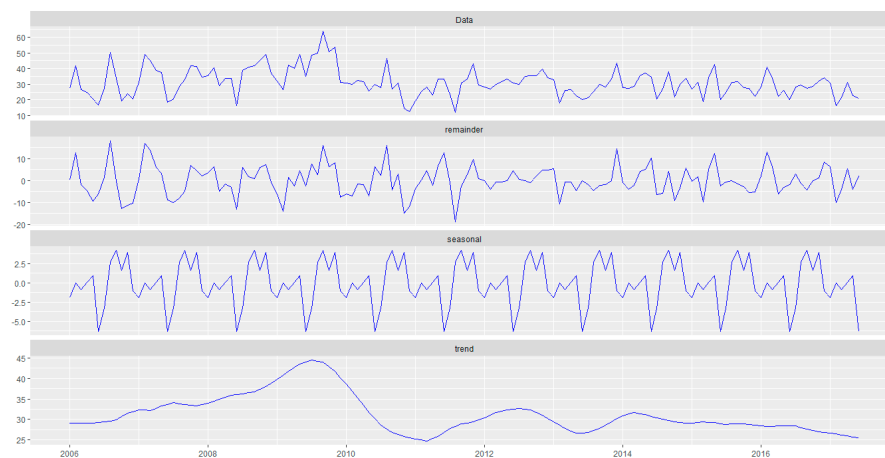


Figura 3. Descomposición de series temporales

Tabla 3. Codificación de series

Tipo de serie	Tipo de diferenciación	
Serie no estacionaria	Diferenciación	1
Serie no tiene estacionalidad	Diferenciación	0

d) El siguiente paso es definir los valores de q, p y d, el cual sale de los gráficos ACF el valor q, del PCF da el valor p y de las funciones ndffs indica las diferenciaciones como se detalla a continuación:

#PLANTEAR VARIOS MODELOS TENTATIVOS

q= 0,1,2,3,4,5,6 p=0,1 d=1 ARIMA

#ARIMA (p,d,q)

e) Otro paso por efectuar es realizar las posibles combinaciones de cada estación, como se detalla en la Tabla 4.

f) Con el criterio AICE AIKAKE, se selecciona el modelo que el test arroja con un menor valor y por lo tanto con una

mayor consideración, el cual se analiza de varios modelos escogiéndose el de menor valor como se describe en la Tabla 5.

Tabla 4. Combinaciones de modelos

Combinaciones		
Modelo 1	ARIMA	(0,1,0))
Modelo 2	ARIMA	(0,1,1))
Modelo 3	ARIMA	(0,1,2))
Modelo 4	ARIMA	(0,1,3))
Modelo 5	ARIMA	(0,1,4))
Modelo 6	ARIMA	(0,1,5))
Modelo 7	ARIMA	(0,1,6))
Modelo 8	ARIMA	(1,1,0))
Modelo 9	ARIMA	(1,1,1))
Modelo 10	ARIMA	(1,1,2))
Modelo 11	ARIMA	(1,1,3))
Modelo 12	ARIMA	(1,1,4))
Modelo 13	ARIMA	(1,1,5))
Modelo 14	ARIMA	(1,1,6))

Tabla 5. Selección del criterio

Modelos	df	AIC
arma1	1	995,1324
arma2	2	976,7762
arma3	3	963,9372
arma4	4	963,0964
arma5	5	964,9298
arma6	6	966,5620
arma7	7	965,6942
arma8	2	988,3071
arma9	3	961,6996
arma10	4	963,5507
arma11	5	964,9288
arma12	6	966,7837
arma13	7	967,5405
arma14	8	965,3288

g) Una vez estimados los modelos, se procede a elegir el mejor, siguiendo un modelo ARIMA (1,1,1), y se lleva a cabo su validación. Para ello, se grafican los correlogramas de los residuos, como se detalla en la Figura 4.

h) A continuación, se observa en los correlogramas ningún rezago significativo, que va de 0 del ACF, que es 1 por definición, por lo que no se denota ningún tipo de estructura, es así que se puede decir que los residuos son ruido blanco, como se indica la Figura 5.

i) De la Figura 5 se obtiene, inicialmente residuos estandarizados a lo largo del tiempo, mientras que en la figura

media se da función de autocorrelación (ACF) de los residuos, dan picos significativos y en la figura inferior se tiene los valores p para el Estadística de Ljung-Box, la cual verifica si algún grupo es diferente de cero, la cual se indica que estas están por encima de la significancia típica de 0,05; sugiriendo adecuadamente los patrones de datos dados en la figura.

j) Una vez que se cumpla los supuestos se procede a la predicción de la serie de datos con el mejor modelo que se seleccionó, como se indica en la Figura 6.

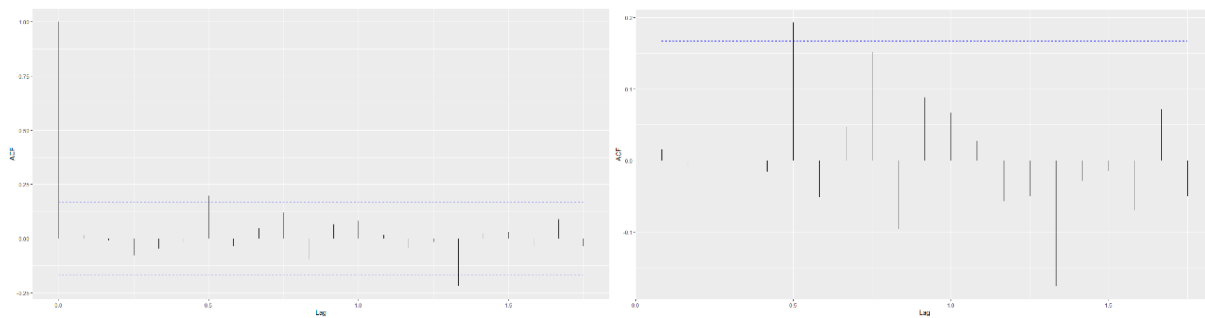


Figura 4. Correlogramas de residuo

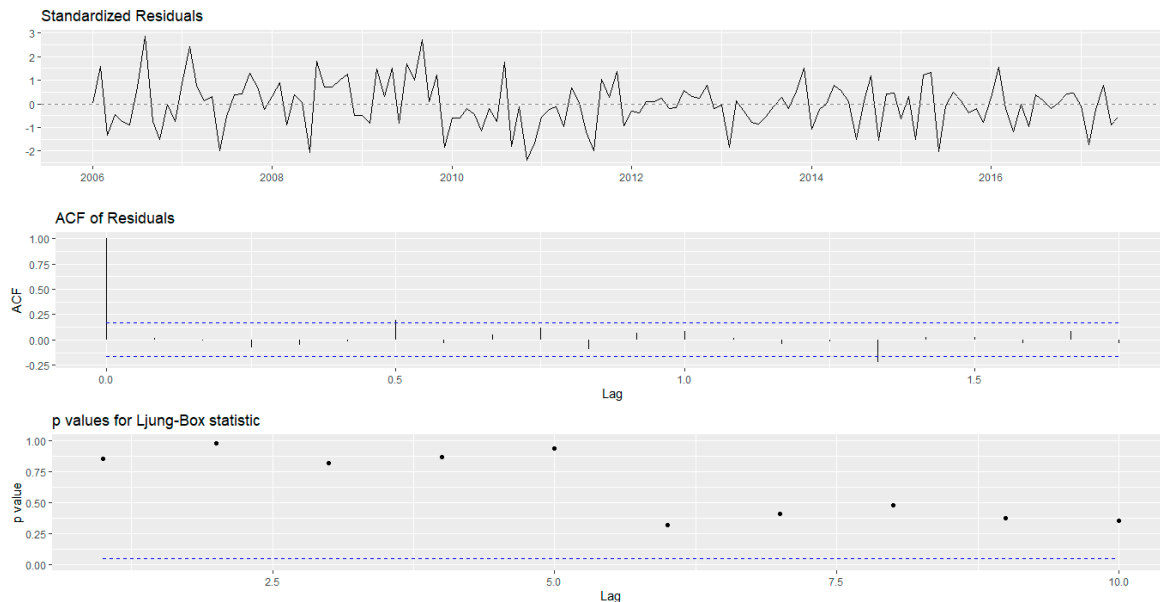


Figura 5. Análisis estandarizado de residuos

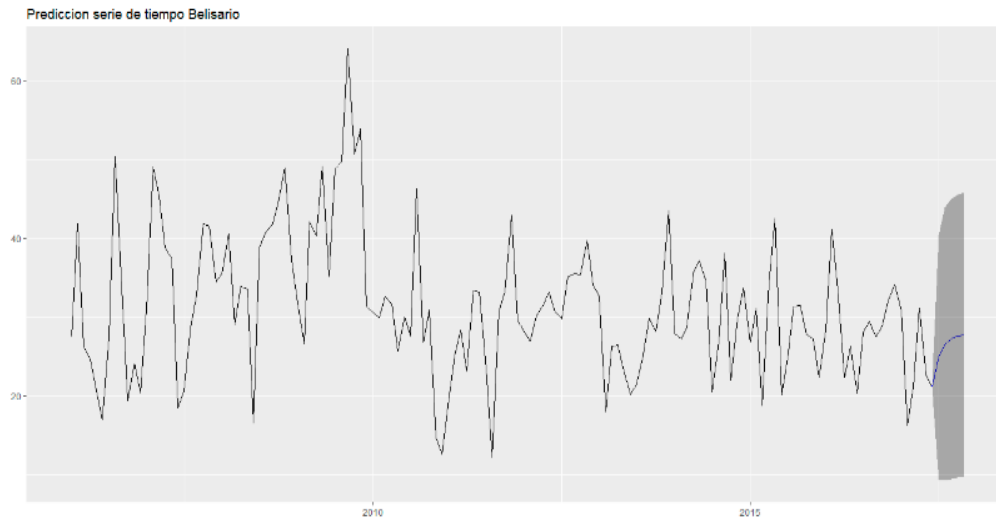


Figura 6. Predicción de la Serie de Tiempo

k) Por lo que se obtiene:

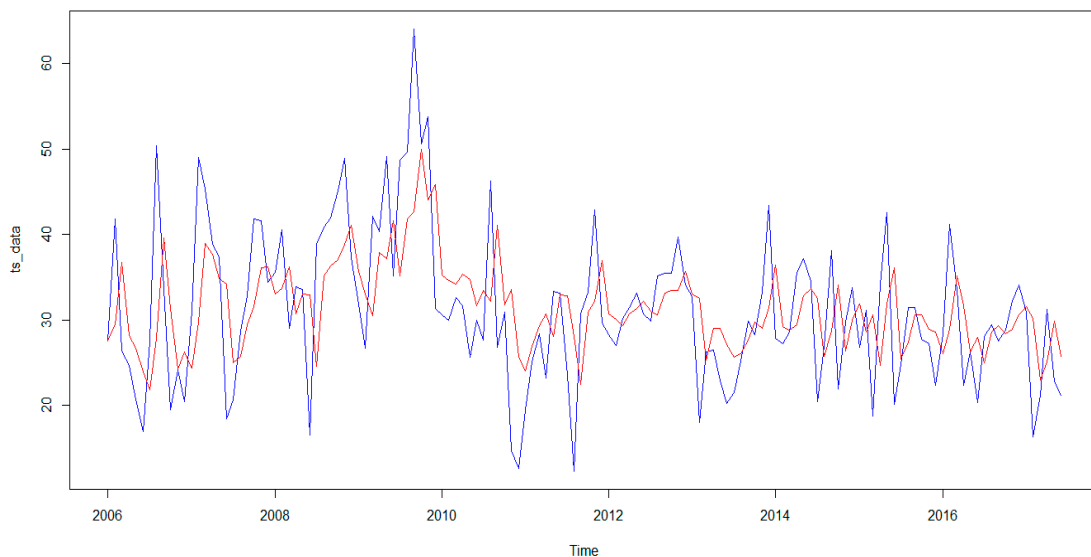


Figura 7. Comparación de series temporales con la original dada por un modelo ARIMA

En la Figura 7, se da la comparación de series temporales con la original dada por un modelo ARIMA, donde se detalla:

1. Línea azul (Serie de tiempo original), indica los datos observados desde el 2006-2016.
2. Mientras que la línea roja (Serie generada por el modelo ARIMA), indica los valores predichos por el modelo justados a los datos.

Una vez elaboradas las series temporales originales con las de tipo ARIMA, dan los siguientes errores (ver Tabla 6). Se indican los errores relativos que son mínimos de 0, en la estación de Carapungo, mínimo -0,19 en la estación del Camal, y la que da un valor más alto es la de Tumbaco con 0,47.

Como discusión se tiene la mejor opción de la estación, que dan los residuos en función de cuatro modelos, definidos en la Tabla 7.

Tabla 6. Errores y diferencias de valores absolutos en función de las estaciones

Estaciones	Diferencia en valor absoluto	Error relativo
Belisario	7,8	-0,07
Tumbaco	11,43	0,47
Carapungo	4,24	0,00
Cotocollao	5,37	-0,11
Los chillos	7,9	-0,09
Guamaní	11,29	-0,12
Tababela	5,38	-0,09
Jipijapa	5,75	-0,15
El camal	13,55	-0,19

Tabla 7. Cuatro modelos que cumplen los residuos en función de las estaciones

Estaciones	Homocedasticidad Breusch-Pagan	Independencia Ljung-Box	Estacionariedad Dickey-Fuller	Normalidad Kolmogorov-Smirnov
Belisario	0,06508	0,856887	2,2E-16	0,3334
Tumbaco	0,8156	0,874792	3,32E-13	0,1515
Carapungo	0,3862	0,886493	2,78E-15	0,1218
Cotocollao	0,1236	0,8114165	4,41E-14	0,2516
Los chillos	0,06141	0,923538	2,2E-16	0,297
Guamaní	0,06213	0,8959781	2,2E-16	0,07285
Tababela	0,1053	0,8033644	2,2E-16	0,2031
Jipijapa	0,1108	0,8494995	2,2E-16	0,1135
El camal	0,9692	0,998019	6,495E-09	0,1083

En función de los siguientes modelos:

- Homocedasticidad, es aceptable cuando el valor p es mayor que 0,05 por lo que se aprueba la hipótesis nula, caso contrario genera heterocedasticidad.
- Homocedasticidad, es aceptable cuando el valor p es mayor que 0,05 por lo que se aprueba la hipótesis nula de no autocorrelación, caso contrario se indica que se da autocorrelación.
- Estacionariedad, es aceptable cuando un valor p es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula, indicándose que es estacionaria, caso contrario no es estacionario.
- Normalidad, cuando un valor p es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis nula de normalidad como una desviación significativa de la distribución normal, caso contrario significa que no se dan una distribución normal.

Por lo que se selecciona, en función de:

- Homocedasticidad: Todas las estaciones cumplen con el criterio que es $p > 0,05$.
- Independencia: Todas las estaciones cumplen con los criterios que es $p > 0,05$.
- Estacionariedad: Todas las estaciones cumplen con lo deseado que es $p < 0,05$.

- Normalidad: Todas las estaciones cumplen con el criterio $p > 0,05$.

Las estaciones más adecuadas según estos modelos se seleccionan:

- Homocedasticidad: Belisario, Los Chillos y Guamaní, estas estaciones, dan valores más cerca a los especificados sin presentar un gran desfase.
- Independencia: Belisario, Tumbaco, Cotocollao, Guamaní, Tababela y Jipijapa, estas estaciones, dan valores más cercanos a los valores especificados.
- Estacionariedad: Belisario, Los Chillos, Guamaní, Tababela y Jipijapa, estas estaciones dan valores más cercanos a los valores especificados.
- Normalidad: La estación de Guamaní, es la estación que más cercano da al valor definido.

Por lo que, en función de las selecciones dadas, la estación más adecuada a los 4 modelos es la de Guamaní, donde las concentraciones dada de los materiales particulados en esta estación es en:

- 2007 = 36,8
- 2008 = 32,9
- 2009 = 40,4

- 2010 = 35,7
- 2011 = 42,0
- 2012 = 41,8
- 2013 = 39,0
- 2014 = 40,2
- 2015 = 40,4

Por lo que da un valor promedio de la concentración en esta estación de hasta 38,8 de PM10.

Discusión

Según Índice Mundial de Calidad del Aire (2024), los pronósticos de la calidad del aire, para proteger su salud dice que es buena cuando se encuentra en el rango 0-50, donde los efectos a la salud, es aceptable cuando la calidad del aire se encuentra en este intervalo. Por lo que en la estación de Guamaní en todos los años dan valores que se entran en este rango, así como el promedio, obtenido valores aceptables.

Mientras que Vélez *et al.* (2023) dicen que se indica que la variabilidad de los niveles de partículas inhalables en la atmósfera determinan concentraciones de PM10, la cual en Quito es de $37,03 \pm 3,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una coeficiente de variación de hasta el 10% dando valores aceptables: El cual en comparación con el determinado este da un valor promedio de 38,8 de PM10, dando un valor similar al definido por el autor.

De igual manera Verdezoto *et al.* (2022), explican que la evaluación temporal del material particulado PM2,5 y PM10 en el Distrito Metropolitano de Quito – Ecuador, que se dan a las diferentes estaciones, el valor promedio anual es de $37,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, similar al obtenido que es de $38,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, obteniéndose un error de hasta el 4,38%.

Finalmente, Álvarez y Padilla (2016), dicen que según la estimación de la contaminación del aire por PM10 en Quito a través de índices ambientales con imágenes LANDSAT ETM+, explica que la mejor concentración es la dada en la Estación de Guamaní dando valores de hasta el $39,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en el valor determinado es de $38,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan un porcentaje de diferencia de 2,93%, aceptando el valor correcto.

Conclusiones

Según los análisis realizados por los modelos Homocedasticidad (Breusch-Pagan), Independencia Ljung-Box, Estacionariedad Dickey-Fuller y la Normalidad, Kolmogorov-Smirnov, los resultados definidos en la estación de Guamaní son los más adecuados, dando un valor promedio de 38,8, con un error relativo de -0,12. Siendo el modelo seleccionado, el ARIMA (2, 1, 5), bajo el criterio AIC Akaike de -9,544, verificando un ajuste aceptable y adecuado, presentando una alternativa más robusta, adecuada para tomar decisiones en la gestión de la calidad del aire, mediante un material particulado PM10 a través del empleo de series de tiempo.

Es importante resaltar que la estación de Guamaní está situada en un área estratégica de gran población, con una actividad residencial y comercial intensa, lo que simplifica su acceso y amplifica su influencia en la comunidad local.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Cuenca. (2020). *Informe de Calidad de Aire Cuenca*. [Archivo PDF]. <https://acortar.link/E304IH>
- Álvarez Mendoza, C.I. y Padilla Almeida, O.P. (2016). Estimación de la contaminación del aire por PM10 en Quito a través de índices ambientales con imágenes LANDSAT ETM+. *Revista Cartográfica*, 92, 135-147. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i92.441>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2024). *Visita a CORPAIRE*. <https://www.iadb.org/es/proyecto/EC-T1017>
- Canales-Rodríguez, M.A., Quintero-Núñez, M., Castro-Romero, T.G. y García-Cuento, R.O. (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *Información tecnológica*, 25(6), 13-22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600003>
- Cruz Yépez, R., Domínguez Gómez A.J., Estrada Gámez, L.G., Martínez Estrada, D.P., Witrigo Cruz, M.V. y Violante Gavira, A.E. (2025). Lo que debemos de saber sobre las partículas atmosféricas PM10. *XXVII Verano De la Ciencia*, 16, 1-8. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/download/3517/3013/11670>
- Dávila Morán, R.C., Agüero Corzo, E.C., Asencio Tarazona, V., Piñán García, J.H., Ramírez Reyes, G., Pastrana Díaz, N.C. y Montesinos Chávez, F.R. (2022). Calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM10) en la zona este 2. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 62(3), 607-613. https://www.researchgate.net/publication/362335134_Calidad_del_aire_interior_mediante_indicadores_ecologicos_y_sociales_asociados_a_la_inmision_de_material_particulado_PM10_en_la_zona_este_2
- Índice Mundial de Calidad del Aire. (2024). *Pronósticos de la calidad del aire en Quito*. <https://aqicn.org/forecast/quito/es/>
- Jiménez Perez, L.L. (2018). *Estimación de la concentración del contaminante gaseoso NOX en el Distrito Metropolitano de Quito, a partir de imágenes de Satélite Landsat 7 ETM / Landsat 8 OLI de los años 2010, 2013 y 2015, considerando modelos estadísticos a partir de correlación entre estaciones de monitoreo atmosférico y los índices ambientales* [Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bc7a6b71-a4f3-4c04-afe4-71acecd678bc/content>

- Mariño, J., Segovia, A., Yépez, E. y Sánchez, J. (2022). *Plan Nacional de La Calidad*. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca [Archivo PDF] <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/PLAN-NACIONAL-DE-CALIDAD-2022.pdf>
- Mejía Martínez, N. (2020). Pronóstico y Prevención de la contaminación por PM10 en la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá (RMCAB). *Universidad de los Andes*, 1-31. <https://acortar.link/g3kaau>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades Un reto mundial* [Archivo PDF]. <https://acortar.link/b3MiPo>
- Quito informa. (2018). *Secretaría de Ambiente trabaja por la calidad del aire en Quito*. <https://acortar.link/OKcDgB>
- Rodríguez Castro, J.C. (2018). *Evaluación de la concentración de material particulado de PM2.5 y PM10 en la Parroquia La Matriz en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi en el Periodo 2018 – 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi] <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ddc5be84-fc91-491f-bd8d-31e35fa701a4/content>
- Rojas Quincho, J.P. y Medina Dionicio, E.A. (2022). Pronóstico de las concentraciones de material particulado en el aire (PM10) utilizando redes neuronales artificiales: Caso estudio en el distrito de Ate, Lima. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3), 265-276. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.402>
- Rubio, J. (2019). *Monitoreo y evaluación del impacto ambiental del material particulado PM10 y PM2,5 en la Universidad Politécnica Salesiana “Campo Sur”* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana] https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17086?utm_source=chatgpt.com
- Sepúlveda Suescún, J.P., Alzate Zuluaga, N.Y., Murillo Escobar, J.P., Orrego Metaute, D.A. y Correa Ochoa, M.A. (2020). Análisis de características tiempo-frecuencia para la predicción de series temporales de Material Particulado usando Regresión por Vectores de Soporte y Optimización por Enjambre de Partículas. *Revista ELA*, 17(34), 1-15. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1347>
- Vélez Mendoza, N.L., Cano, Y. y Sánchez, L. (2023). Evaluación de las concentraciones de material particulado PM10 en la ciudad de Portoviejo, Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia*, 7(ESPECIAL), 23-36. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4240>
- Verdezoto Mendoza, F.P., Muyulema Allaica, J.C., Cuba Torre, H.R y Serrano Castro, A.K. (2022). Evaluación temporal del material particulado PM2.5 y PM10 en el Distrito Metropolitano de Quito – Ecuador. *Conciencia Digital*, 5(4.1), 21-44. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2393>
- Zafra Mejía, C., Alarcón Hincapié, J. y Echeverry Prieto, L. (2019). Análisis de series de tiempo para concentraciones de PM10: Influencia de la cobertura superficial urbana. *Scientia et technica*, 24(1), 146-153. <https://doi.org/10.22517/23447214.18321>



Análisis de puntos críticos en el proceso de fabricación de la margarina Girasol comercializada en Ecuador

A critical points analysis in the manufacturing process of Girasol margarine marketed in Ecuador

José Humberto Muñoz Malagón¹, Amalia Celinda García Adum², David Ricardo Guerrero Pacheco³

¹*Alimentos Finos Rila, Ecuador.*

²*Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Ecuador.*

³*Unidad Educativa Guayas y Quil, Docente, Ecuador.*

Autor de correspondencia: mjose.taservices@gmail.com

Recibido: 30/07/2024. Aceptado: 17/04/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

Para garantizar la provisión de alimentos de alta calidad y sin riesgos para la salud pública, es imprescindible implementar sistemas seguros de producción alimentaria, abarcando desde el productor hasta el consumidor final. La disponibilidad de alimentos inocuos y seguros es una demanda esencial de los consumidores y una necesidad social. En Ecuador, actualmente no existen disposiciones legales que regulen la aplicación del sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) para la gestión de los riesgos sanitarios de productos como las margarinas. El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de establecer las bases teóricas y metodológicas para la implementación del sistema HACCP en la obtención de la margarina girasol. Para ello, se realizaron las siguientes actividades: elaboración de un diagrama de flujo del proceso de obtención y almacenaje de la materia prima, identificación de los Puntos Críticos de Control (PCC), establecimiento de los límites críticos para cada PCC identificado, y propuestas de acciones correctivas para las posibles desviaciones en dichos límites críticos. El estudio confirma que el sistema HACCP es viable para la elaboración de margarina de girasol, y se han identificado puntos críticos de control en la cadena de producción. Sin embargo, la calidad de la materia prima podría estar comprometida, lo que representa un potencial riesgo para la salud de los consumidores.

Palabras clave: HACCP, línea producción, control, calidad, alimentos.

Abstract

Ensuring the provision of high-quality and risk-free food to the public health necessitates the implementation of robust food production systems encompassing the entire chain from producer to consumer. The availability of safe and wholesome food is an essential consumer demand and a societal necessity. In Ecuador, currently, there are no legal provisions regulating the application of the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) system for managing the health risks associated with products such as margarines. The present study was undertaken with the objective of establishing the theoretical and methodological foundations for implementing the HACCP system in the production of sunflower margarine. To achieve this, the following activities were carried out: development of a flowchart for the process of obtaining and storing raw materials, identification of Critical Control Points (CCPs), establishment of critical limits for each identified CCP, and proposals for corrective actions for potential deviations from these critical limits. The study confirms the feasibility of the HACCP system for the production of sunflower margarine, and critical control points have been identified in the production chain. However, the quality of the raw materials could be compromised, posing a potential risk to consumer health.

Keywords: HACCP, production line, control, quality, foods.

Introducción

A criterio de Engo *et al.* (2015) y la Food and Agriculture Organization (FAO, 2023) la calidad de un alimento se define a través de la interacción de diversos elementos relacionados, todos ellos orientados hacia la aprobación del producto. Estos elementos abarcan aspectos como la presentación, composición, pureza, procesos especializados y conservación, que contribuyen a que el producto sea atractivo para el consumidor, así como su higiene y valor nutricional.

A principios del siglo XX, la fabricación de margarina experimentó un cambio significativo con la introducción de la hidrogenación, un proceso inventado por el químico alemán Wilhelm Norman. Este proceso permite cristalizar aceites y grasas vegetales, naturalmente líquidos, para obtener un producto con una consistencia similar a la mantequilla, ampliando así la gama de ingredientes grasos disponibles para la producción de margarina.

Para Jiménez (2017) la margarina se compone de una emulsión de agua y aceite, en la que la fase acuosa se dispersa en forma de gotas dentro de una fase grasa continua. La calidad de esta emulsión depende de una mezcla adecuada de diversas grasas y aceites. Para alcanzar las características deseadas en el producto final, es crucial una selección precisa de los componentes de esta mezcla, con el objetivo de obtener una margarina que mantenga una cierta consistencia sólida en un amplio rango de temperaturas (5 a 40 °C).

Arispe y Tapia (2007), Barnes *et al.* (2024) y la Food and Agriculture Organization (FAO, 2024) sostienen que la calidad de los alimentos resulta del cumplimiento integral de exigencias fundamentales en la industria alimentaria, como la inocuidad, el valor nutricional y los beneficios del producto FAO (1969). El avance tecnológico en la fabricación debe facilitar el cumplimiento de estos requisitos mediante la estandarización de procesos y la innovación en métodos de intervención y control que garanticen la inocuidad FAO (2023). Este trabajo analiza los procesos involucrados en la fabricación y determinación de los puntos críticos de control, siguiendo las normas HACCP, en la producción de la margarina Girasol elaborada y comercializada en Ecuador.

El HACCP busca afianzar según Oliveira (2019) la producción de alimentos seguros mediante la personalización y el control de puntos críticos de fabricación. Para esto se aplica una aproximación sistemática para identificar, evaluar y vigilar dichos pasos en la elaboración del derivado, los cuales son necesarios para obtener alimentos seguros.

Materiales y métodos

Con el objetivo de establecer las bases técnicas y metodológicas para la implementación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) basándonos en lo que determinan Bai *et al.* (2007) y FAO (2016), en la producción de margarina de girasol, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Actividades pre-HACCP

1. Acceder al equipo de HACCP. Lo primero que hay que hacer para montar un equipo que determine la elaboración de un plan HACCP, es rodearse de profesionales calificados, que cuenten con la experiencia y conocimientos con relación sobre el producto final y el proceso. Es decir, el grupo tiene que ser multidisciplinario.

2. Relatar el método para la distribución del producto. El equipo que se conforme para este objetivo, es decir, el HACCP se debe hacer una representación global del alimento, los ingredientes y métodos de proceso.

3. Asemejar la utilización y tipo de comprador para el alimento. Describir la normal utilización propuesta o el grupo de forma específica de consumidores alimenticios.

4. Desarrollar un esquema de flujo que detalle el procedimiento. Señalando puntos donde se encuentren un peligro eminente a la salud. En el flujograma se debe incluir etapas del proceso bajo control directo de la compañía.

5. Confirmar el diagrama de flujo. Hay que hacer una verificación de la operación, obviamente, esto debe hacerlo el equipo HACCP, especialmente en la exactitud del diagrama de flujo, incluyendo el análisis de desempeño de todos los turnos de trabajo envueltos en la producción y las posibles diferencias en la administración del proceso señala Barnes *et al.* (2024) y Celaya *et al.* (2007).

Posteriormente, se aplicaron los principios del sistema de estudio de peligros y puntos críticos de control – HACCP.

Principio 1. Se reconocen los peligros potenciales, para que no existan fallas y problemas en cuanto a la identificación de peligros potenciales para la elaboración de los productos. Es clave los análisis de los riesgos, porque protegen el HACCP. La valoración sanitaria de varios de los aspectos del procedimiento, materias primas o ingredientes de gran peligro, si se deben debatir previamente, esto garantiza el resultado final, que es el producto que consumirán las personas (Kuddus *et al.*, 2024).

Principio 2. Se determinan los puntos críticos de control (PCC), árbol de decisiones. Este punto es importante, porque a criterio de Chapman *et al.* (2010) ayuda a que se reduzcan los niveles del peligro, en cuanto a la seguridad alimentaria. Es decir, con esto se puede centrar toda la atención en el proceso, para que no se comentan errores, que no solo afectará la inversión, sino también el producto final.

Principio 3. Se establecen Límites Críticos (LC). La aceptabilidad dista mucho de la inaceptabilidad, es decir, se debe tener un punto crítico, que represente los márgenes que se usan para garantizar que la operación genere productos bien elaborados.

Principio 4. Se establecen procedimientos para el monitoreo de cada PCC. El estar vigilantes en todo momento, es muy importante, porque es ahí cuando se constata si cada una de las etapas de procesado o de manipulación en los puntos de control crítico se ejecuta correctamente, con todos los estándares anunciados y programados (Powell *et al.*, 2013).

Principio 5. Se establecen acciones correctas, es importante, porque los procedimientos deben de ser específicos para que no se desvíen del límite crítico, porque hay que controlar todo. Las AC (acciones correctivas) se las debe definir con tiempo, para que no interfieran con los LC (límites críticos). Hay que juntar las valoraciones de los productos, además de dictaminar conductas que se deben seguir según las disposiciones y orientaciones al realizar la inspección oficial de la planta (Allam *et al.*, 2023).

Principio 6. Se elaboran instrucciones de comprobación y manipulación. Los procedimientos (diferentes con relación a la vigilancia) y ensayos, incorporados el muestreo de forma aleatoria y el análisis, garantizan que la investigación HACCP sea correcto y eficaz mencionan Bou Rached *et al.* (2004).

Principio 7. Se documenta y registra, es importante disponer de registros que en un futuro puedan dar fe de los procedimientos del sistema. Estos deben de ajustarse a la naturaleza de los procesos que se realicen. Todos los registros deben de ser elaborados, dando cuenta sobre la elaboración, producción y distribución, que se almacenarán durante un periodo superior a la perpetuación del producto Díaz y Becerra (2002).

Para la identificación de los Puntos Críticos de Control (PCC) se tomó como referencia la guía “Aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) que muestra FAO (2016) (Figura 1).

La guía propone un árbol de decisiones que permite identificar los PCC en función de los peligros identificados y las medidas de control disponibles. Este árbol se consideró como una herramienta útil para identificar los PCC en la producción de margarina de girasol, ya que tiene en cuenta los aspectos específicos de este tipo de producto. No se realizaron modificaciones al árbol original Barnes *et al.* (2024) .

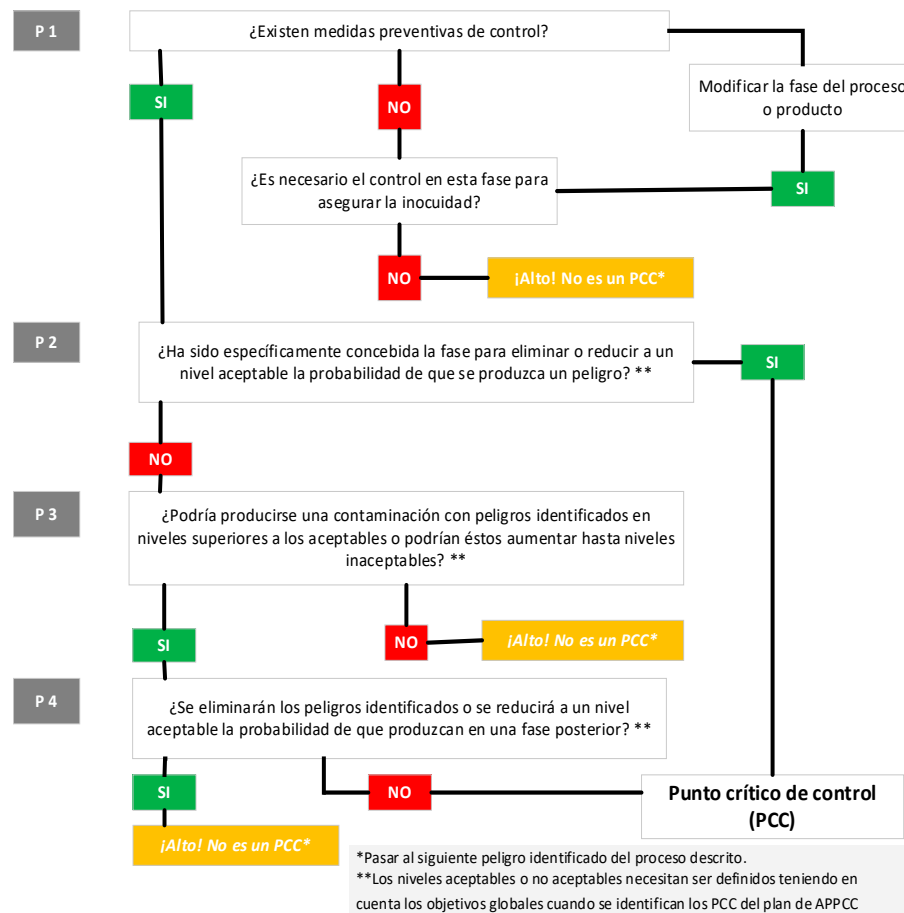


Figura 1. Árbol de decisiones. Nota. Adaptado de FAO y ONU (2022)

Resultados

La metodología HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), que se describe en la Tabla 1, es un sistema preventivo de gestión de la inocuidad alimentaria que se utiliza en la industria de alimentos para identificar, evaluar y controlar los peligros que puedan afectar la seguridad del producto final. La Fabril, una empresa líder en la producción de alimentos en Ecuador ha implementado esta metodología en la elaboración de su margarina girasol, garantizando así un

producto seguro y de alta calidad para sus consumidores, tal como se muestra en la ficha descriptiva.

En la Figura 2, se describe el proceso de producción de margarina que consta de cinco partes: la fase grasa con la preparación del emulsionante, la fase acuosa, el emulsionado, la pasteurización y la cristalización. Cualquier exceso de producción se devuelve mediante una unidad de retrabajo continuo al tanque de emulsión, en la Figura 2, se describe el análisis de datos del flujo del proceso.

Tabla 1. Ficha de descripción del producto - MARGARINA

Ficha técnica	
Nombre del producto	Margarina Girasol
Ingredientes	Mezcla de aceites (girasol, palmiste soya y palma) agua purificada, sal, suero de leche, emulsificantes (Mono y diglicéridos grasos, lecitina de soya)
Forma de recepción de la materia prima	Se almacenan y se conservan en envases o contenedores hasta su utilización
Descripción del proceso	Selección y pesaje de componentes, regulación de temperatura en tanques para evitar calentamientos perjudiciales para la calidad del producto.
Características fisicoquímicas	Grasas Lípidos Grasa saturada Sodio Energía de grasa
Características del producto final	Materia grasa para untar color amarillo crema
Embalaje	Tarrina 250, 500g.
Vida útil, almacenamiento y conservación	6 meses almacenada en un rango de temperatura de 10 – 16 °C en un lugar seco y limpio
Uso previsto por el consumidor	Contiene alérgenos
Consumidor potencial	Cliente en general
Etiquetado	País de origen: Ecuador. Elaborado por la Fabril S.A. Exp.: aaaa/mm/dd

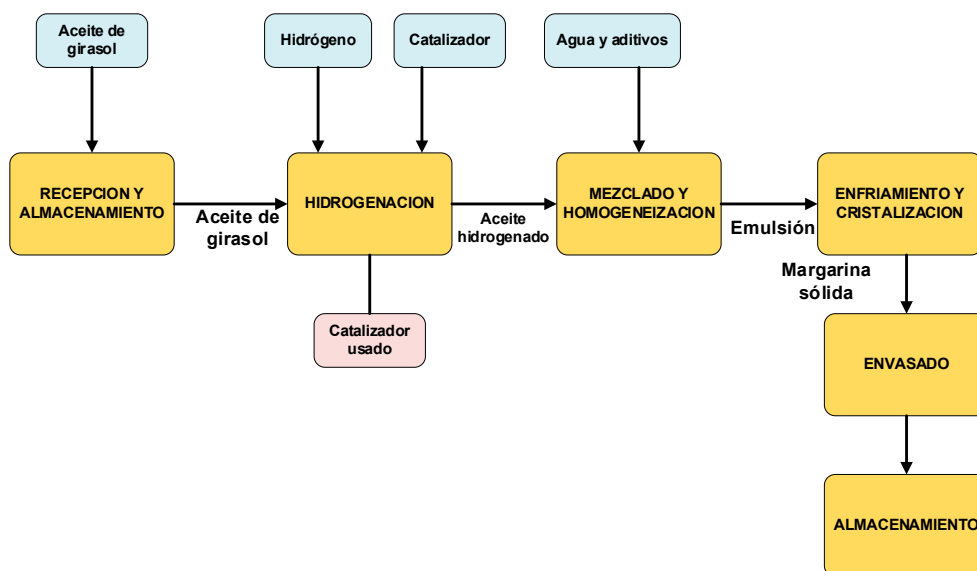


Figura 2. Diagrama de flujo operacional del proceso de producción de margarina girasol

Recepción y almacenamiento de materia prima

Para mayor seguridad, los insumos líquidos se los almacena en cisternas y bidones. Mientras que los componentes sólidos se los acoge en bolsas. El tiempo de guardado de estos materiales es corto, entre 15 – 20 días, así su calidad no se altera.

Con mucho cuidado se deben de almacenar los ingredientes sólidos; es decir, cuidadosamente fijarse en la humedad, puesto que un exceso provocaría la disminución de la calidad de la materia prima que se vaya a utilizar. Estos componentes sólidos se acumulan en los mismos envases en los que se van a la planta (FAO y ONU, 2022).

Pesaje y dosificación

Se dosifica los componentes líquidos desde los recipientes a través de bombas de desplazamientos, que regulan los caudales. Por volumen se hace la dosificación de los ingredientes, puesto que los sólidos se los mide por peso. En el caso del hidrógeno gas se proporcionará a través de un compresor adecuado para el envío de este.

Hidrogenación

En el proceso de hidrogenación, se logra añadir hidrógeno de una manera vertical a cada uno de los lugares de insaturación de los ácidos grasos. Como resultado, el hidrógeno mantiene la grasa cuando está a temperatura que en mucho de los casos varía entre 170 °C, grandes presiones (3 atm), ante la observación de un catalizador, típicamente consiste níquel finamente dividido en una porción de 0,01-0,2 % p/p.

Con esto se busca transformar el aceite vegetal (líquida), en grasa con firmeza similar a la de la manteca, minimizando el grado de insaturación de los ácidos grasos.

Mezclado - homogenización

En este caso se distinguen dos fases, se las detallada a continuación:

Fase acuosa: Concierno a los ingredientes hidrosolubles; es decir, los que se diluyen en agua; y son la sal minuciosa y el sorbato de potasio (conservante).

Fase grasa: En este caso se debe mezclar ingredientes liposolubles, porque estos se disuelven en aceite, ellos son, lecitina y vitaminas A y D (nutrientes). Es importante un precalentamiento sobre 45-60 °C para derretir las grasas y aprobar una correcta mezcla de los ingredientes (FAO, 2022).

Las dos fases en mención se mantienen en agitación de 5 a 10 minutos. Ya aptas ambas fases, que se lo hace por medio del bombeo, luego son transportadas hacia el mezclador, (cámara cilíndrica que trabaja a temperatura aproximada de 85 °C) porque con esto se logra una mezcla completa. Hay que recordar que en primer lugar es agregada la fase grasa que es la base del producto y por último la fase acuosa.

Enfriamiento - cristalización

Dos técnicas se eligen en la elaboración de la margarina:

El procedimiento tambour-complector (semi-continuo), se consume por encima de unos tambores huecos, estos son parecidos a los que se usan en la elaboración de jabón con escamas. Las escamas que descienden a la tolva de acopio son mezcladas por varias rejillas y cuchillos que penden de un árbol que, rota en el interior de un cilindro hueco, llevando a cabo numerosas cizalladuras.

En lo que respecta a una serie de las operaciones, esto se logra a través del votator, se lo hace en un solo paso; es decir, usando un método de tubería, enfriadores y cristalizadores. Los tubos son rodeados por un cilindro, con una zona anular por el que circula un fluido refrigerante. En la parte interna del cilindro, gira un rotor suministrado con guillotinas que tiendan a rozar la zona dentro del tubo enfriado externamente (por ejemplo, con amoníaco líquido). Se conserva entonces, en la circulación del producto, continuamente y de forma paralela: la creación de la disolución, la realización y la plastificación por amasado.

Envasado

Varios son los medios que se consiguen para la transportación de la margarina hasta la máquina empaquetadora. Pero también se aplican combinaciones, la transportación puede extenderse hasta la máquina envasadora mediante una bomba de lóbulo, este proceso debe de ser de una forma suave para no afectar al producto.

La empaquetadora que se usa para estos fines es totalmente automática. Está diseñada para fragmentar y envasar el producto. Hay gran variedad de estos equipos en el mercado y se elegirá el que presente mayores ventajas.

Almacenamiento

Hay que tomar en cuenta que, para el almacenamiento de margarina:

- El sitio donde se almacena el producto debe ser seco y fresco.
- Está permitido o se sugiere acumular como máximo cinco cajas.
- Es sobre estibas de madera o plástico, donde se deben poner las cajas de margarina, La altura recomendable es de una altura de 10 a 15 centímetros del suelo y pared.
- El lugar del almacenamiento debe estar libre de olores, materiales tóxicos, químicos de aseo para que no causen contaminación.

La temperatura adecuada para el almacenamiento de la margarina es de 4 °C, con esto logramos mantener la calidad del producto, así se puede ampliar la vida útil de esta margarina, con un almacenamiento límite en bodegas de 4 o 5 días.

En la etapa de identificación que se muestra en la Tabla 2, se obtuvieron criterios de decisión en la fase del proceso de recepción de la materia prima, se lograron a través de la aplicación de la matriz para criterio de decisión probabilidad/severidad, donde se plasman descripciones para los riesgos identificados como biológico, físico y químico.

En las Tablas 3 y 4, se describe la etapa del proceso de producción en la que se puede aplicar un control para prevenir, eliminar o reducir un peligro a un nivel aceptable

(Allam *et al.*, 2023). Se identifican los puntos específicos del proceso donde el riesgo de contaminación es mayor y se establecen medidas de control. Estos límites pueden incluir parámetros como temperatura, tiempo, pH, niveles de humedad, etc. El cumplimiento de estos límites asegura que el peligro esté bajo control.

El monitoreo implica la observación o medición regular de los PCC para asegurar que los límites críticos se están cumpliendo, expone (Forsythe y Hayes, 2002). Esto puede incluir la supervisión visual, el uso de sensores o la realización de pruebas de laboratorio. El monitoreo debe ser continuo o realizado con la frecuencia suficiente para asegurar el control.

Tabla 2. Matriz de criterios de decisión

Etapa	Riesgo	¿Riesgo potencial?	Causa	Probabilidad	Severidad	Peligro significativo	Medida preventiva	Justificación	Pcc/pc	Conclusión
Recepción de materia prima	Biológico	Salmonella, E.Coli, Listeria, Clostridium Botulinum, anaerobios, mohos, levaduras, enterobacterias, esporas	Malas prácticas higiénicas y sanitarias pueden incrementar el riesgo microbiológico	Frecuente	Alta	Si	Análisis de calidad control de proveedores. Control de cadena de frío. Pasterización. Buenas prácticas de higiene	Un mal manejo dentro del proceso puede llevar a contaminación por microorganismos	PCC	Las grasas y aceites son susceptibles a contaminaciones por lo tanto es necesario realizar los controles correspondientes
	Físicos	Residuos plásticos, restos metálicos	Asociados al refinado de aceites	Puede ocurrir	Alta	Si		Cuerpos extraños pueden contaminar la materia prima	PCC	Los residuos de metales y cuerpos extraños pueden contaminar la materia prima causando un riesgo físico
	Químicos	3MCPD (monocloropropano)	Calentamiento en el refinado de aceite	Puede ocurrir	Alta	Si		Al no realizar un correcto monitoreo de temperatura existe el riesgo de sobrecalentamiento	PCC	La formación de este compuesto químico representa un riesgo importante para la salud de los consumidores

Tabla 3. Puntos críticos caso margarina girasol

Peligro	PCC	Límite Crítico
Alergenos alimentarios	Rotulado	Rotulo legible con la relación completa de los ingredientes
Metales	Detector de metales	Fragmentos de metales
Aerobios y Esporas, mohos y levaduras	Pasteurización	80-85 °C
Organismos patógenos	Congelación	(- 20 °C)
Contaminación física	Higiene de manipuladores	Cuerpos extraños en materia prima

Si el monitoreo indica que un PCC no está bajo control (es decir, no se cumplen los límites críticos), se deben tomar acciones correctivas inmediatas así lo establecen (Mortimore y Wallace, 2018). Estas acciones están diseñadas para corregir el problema y asegurar que no se produzcan alimentos inseguros. Además, se deben registrar las acciones tomadas para futuras referencias.

La verificación implica la aplicación de métodos, procedimientos y pruebas adicionales para confirmar que el sistema HACCP funciona correctamente. Esto puede incluir auditorías internas y externas, análisis de muestras, calibración de equipos y revisión de registros (Mortimore y Wallace, 2018).

La documentación y los registros a criterio de Kuddus *et al.* (2024) son esenciales para demostrar el cumplimiento de los principios HACCP. Esto incluye mantener registros de los análisis de peligros, PCC, límites críticos, procedimientos de monitoreo, acciones correctivas y actividades de verificación. La documentación también proporciona una base para evaluar la eficacia del sistema HACCP y facilita la revisión y auditoría por parte de autoridades sanitarias y clientes.

Discusión

En el estudio realizado por Jiménez (2017), precisa que dentro del proceso de control de la materia prima para la fabricación de la margarina las sustancias dominantes deben mantener un cuidado excepcional ya que no deben salir del almacén al proceso mientras los resultados de los análisis no sean favorables.

Del mismo modo Hernández (2021) en su estudio concluye que la validación del procedimiento de higiene y saneamiento establecidos resulta eficaz contra microorganismos patógenos/ indicadores de higiene, para minimizar la contaminación microbiológica hacia el producto. Esto concuerda con el criterio de Dzwolak y Anim (2025) y Mesa (2021), quienes señalan que, una vez implementado el plan HACCP, debe

mantenérsele actualizado; mantener al personal motivado también indican Bou-Rached *et al.* (2004), permitiendo que éste se involucre en todos los aspectos relacionados con la implementación del programa y así comprenda los objetivos del trabajo. Después de un año de haberse puesto en funcionamiento el plan y realizadas las verificaciones del Programa HACCP correspondientes, se recomienda efectuarlas cada seis meses en lugar de cada tres, a menos que surjan problemas durante ese período.

Conclusiones

La implementación de estos siete principios en la metodología HACCP permite a las empresas alimentarias identificar, evaluar y controlar los peligros asociados con la seguridad alimentaria. Esto no solo ayuda a garantizar que los productos alimenticios sean seguros para los consumidores, sino que también mejora la eficiencia y la reputación de las empresas en el mercado.

El análisis de riesgos y el control del plan HACCP revelaron que, para la elaboración de la margarina Girasol, es esencial considerar los siguientes procesos: acopio de materia prima, pasteurización, envasado, almacenamiento de materia prima y conservación bajo refrigeración. Estos pasos son cruciales para garantizar la calidad y la inocuidad del producto.

La implementación del plan HACCP permitió identificar y evaluar los riesgos asociados con los agentes contaminantes biológicos y físicos que podrían afectar la margarina Girasol.

Tabla 4. Sistema de monitoreo HACCP

ETAPA	RIESGO	MEDIDA PREVENTIVA	LÍMITE CRÍTICO	MONITOREO					ACCIONES CORRECTIVAS	REGISTRO	VERIFICACIÓN
				QUE	DONDE	COMO	CUANDO	QUIEN			
Recepción de materia prima	Químico	Análisis durante la recepción	Ausencia	Agente químico	Recepción	análisis de presencia de agente químico	Por lote recibido	Analista de turno	Si llega materia prima contaminada con algún agente químico se rechaza el lote	Registro de análisis de materia prima	Pruebas realizadas al producto por lote
Pasteurización	Biológica sobrevivencia de carga microbiana	Control de temperatura	Temperatura entre 80 °C y 85 °C por varios segundos	Temperatura	Pasteurizado	Control de temperatura con termómetro	Cada lote	Operador /Analista de calidad	Si no se cumple con los parámetros en esta etapa se para inmediatamente el proceso	Registro de control de temperatura	Verificar el funcionamiento de equipos
Envasado	Biológico manipulación/E. Coli	Revisión de higiene manipuladores	Ausencia	Microbiológico	Proceso	Buenas Prácticas de Inocuidad	Cada Bach	Jefe de Turno	Toma de muestras de manos de manipuladores superficies y materiales	Registro de revisión de higiene	Cumplimiento de buenas prácticas de higiene, uso correcto de equipo de trabajo
Almacenamiento de materia prima	Químico contaminación cruzada	Revisión de bodega y envases de almacenamiento	Ausencia	Contaminación cruzada de aceite refinado con productos químicos	Bodega de Almacenamiento de materia prima e ingredientes	Buenas prácticas de manufactura	Al ingresar producto a bodega	Encargado de bodega	Capacitación de buenas prácticas de manufactura	Registro de control de producto y materia prima	Verificar cumplimiento
Almacenamiento refrigeración	Biológico crecimiento de microorganismos patógenos	Control de Tiempo y temperatura	Ausencia	Crecimiento microbiano	Bodega de frio	Revisión de temperatura	Al ingresar producto a bodega	Operador de turno	Revisar el funcionamiento correcto de equipos	Registro de temperatura	Verificar cumplimiento

Referencias bibliográficas

- Allam, M., Bazok, R., Bordewick-Dell, U., Czarniecka-Skubina, E., Kazimierzczak, R., Laikoj, K., Luik, A., Fuka, M. M., Muleo, R., Peetsmann, E., Petroselli, V., Roasto, M., Średnicka-Tober, D., Veith, M., Mancinelli, R. y Trafialek, J. (2023). Assistance needed for increasing knowledge of HACCP food safety principles for the organic sector in selected EU countries. *Sustainability*, 15(8), 6605. <https://doi.org/10.3390/SU15086605>
- Arispe, I. y Tapia, M. S. (2007). Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Agroalimentaria*, 12(24), 105–118. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542007000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bai, L., Cheng-lin, M., Yang, Y., Zhao, S. y Gong, S., (2007). Implementation of HACCP system in China: A survey of food enterprises involved. *Food Control*, 18(9), 1108–1112. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2006.07.006>
- Barnes, J., Smith, J. C., Ross, K. E. y Whitley, H. (2024). Performing food safety inspections. *Food Control*, 160. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2024.110329>
- Bou Rached, L., Ascanio, N. y Hernández, P. (2004). Diseño de un plan de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) para el aseguramiento de la inocuidad de la mortadela elaborada por una empresa de productos cárnicos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 72-80. <https://bit.ly/3ZIw7JD>
- Celaya, C., Zabala, S.M., Pérez, P., Medina, G., Mañas, J., Fouz, J., Alonso, R., Antón, A. y Agundo, N. (2007). The HACCP system implementation in small businesses of Madrid's community. *Food Control*, 18(10), 1314–1321. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2006.09.006>
- Chapman, B., Eversley, T., Fillion, K., Maclurin, T. y Powell, D. (2010). Assessment of Food Safety Practices of Food Service Food Handlers (Risk Assessment Data): Testing a Communication Intervention (Evaluation of Tools). *Journal of Food Protection*, 73(6), 1101–1107. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-73.6.1101>
- Díaz, M. y Becerra, L. (2013). Relación entre el consumo de ácidos grasos trans-contenidos en la margarina vegetal y los niveles de lípidos sanguíneos en estudiantes y empleados de la facultad de ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana. *Universitas Scientiarum*, 7(2), 25–32. <http://hdl.handle.net/10554/31959>
- Dzwolak, W. y Anim, B. (2025). Barriers hindering maintenance of standardised HACCP-based food safety management systems in small Polish food businesses. *Food Control*, 168. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2024.110849>
- Engo, N., Fuxman, A., Gonzalez, C. B., Negri, L., Polenta, G. A. y Vaudagna, S. R. (2015). *Desarrollo de las exigencias sobre calidad e inocuidad de alimentos en el mundo* (2025). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/156992>
- Food and Agriculture Organization, Organización Mundial de la Salud. (1969). *Códex de principios generales de higiene de los alimentos (CXC 1-1969)*. Codex Alimentarius. <https://bit.ly/3ZQbXMT>
- Forsythe, S. J. y Hayes, P. R. (2002). *Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP*. <https://bit.ly/3Ba4cck>
- Hernández, J. (2021). Diseño de un sistema HACCP en una línea de procesamiento de productos cárnicos cocidos. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral] <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52442>
- Jiménez, D. (2017). *Estudio del proceso industrial para la fabricación de margarina*. [Tesis de Grado, Universidad de Valladolid] <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/26787>
- Kuddus, M., Ashraf, S.A. y Rahman, P. (Eds.). (2024). *Seguridad alimentaria: Control y gestión de la calidad* (1a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003334859>
- Mesa Ruiz, I. G. (2021). *Diseño de un análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) para la Compañía CHEF COMPANY S.A.* [Tesis de maestría, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4157>
- Mortimore, S. y Wallace, C. (2018). HACCP. Enfoque Practico. *Acribia*, (3ª ed.). Ediciones El Profesional. <https://bit.ly/4f73pGU>
- Oliveira, G. F. de. (2019). *Influência da estocagem nas características sensoriais da margarina* [Tesis de maestría, Universidad de Sao Paulo]. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74134/tde-06122019-162111/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Manual de análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC)*. <https://bit.ly/3OP2OyM>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023*. <https://doi.org/10.4060/CC3017ES>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). *Inocuidad y calidad de los alimentos. Programa de calidad e inocuidad de los alimentos*. <https://www.fao.org/food-safety/background/es/>
- Powell, D. A., Erdozain, S., Dodd, C., Costa, R., Morley, K. y Chapman, B. J. (2013). Audits and inspections are never enough: A critique to enhance food safety. *Food Control*, 30(2), 686–691. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2012.07.044>

Copyright (2025) © José Muñoz Malagon, Amalia García Adun, David Guerrero Pacheco.

Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons 4.0](#). Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También podrá adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material. [Ver resumen de la licencia](#).



Nuevo hospedero intermediario de la fasciolosis hepática ovina

New intermediate host for ovine hepatic fasciolosis

Aimé Rosario Batista Casacó¹, Ana Ruth Álvarez Sánchez¹, Marlon Fernando Monge-Freile¹, Alexandra Elizabeth Barrera Álvarez¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: abatista@uteq.edu.ec

Recibido: 05/06/2024. Aceptado: 30/04/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

Con el objetivo de valorar los moluscos existentes en diferentes biotipos como posibles hospederos intermediarios de la Fasciola hepática se estudiaron clínicamente 120 ovinos de raza criolla, criados en condiciones semirústicas y en etapa de ceba, con sintomatología clínica propia de procesos parasitarios relacionados con fasciola. Su procedencia fue de diferentes autoconsumos situados en el municipio de Camagüey-Cuba. Se realizaron 41 necropsias para evaluar las lesiones anatomopatológicas. Se llevó a cabo un pesquaje coprológico a 100 ovinos, para determinar la presencia de huevos del parásito y se recolectaron 100 caracoles de cada uno de los lugares en estudio como posibles hospederos intermediarios de la enfermedad. Para el análisis de los datos se empleó la estadística descriptiva, específicamente tabla de frecuencia y porcentaje, hasta el análisis cruzado a partir de tabla de contingencia. Los resultados reflejaron que el 86 % de los ovinos enfermos manifestaron los síntomas clínicos típicos para la fasciolosis crónica. El 80,4 % de las necropsias reflejaron lesiones anatomopatológicas características de Fasciola hepática en su fase crónica. El 31 % de los exámenes coprológicos presentaron huevos con diferentes estadios embrionarios de Fasciola hepática. Los porcentajes de infestación por especies de moluscos fueron: 65,7 %, para *Fossaria cubensis*, 24 % para *Pseudosuccinia columella* y 54,9 % de *Tarebia granifera*. Se reportó por primera vez en Cuba, el caracol *Tarebia granifera* como hospedero intermediario asociado a fasciolosis ovina.

Palabras clave: Caracoles, ciclo biológico, examen coprológico, huevos del parásito, moluscos

Abstract

With the aim of evaluating the existing mollusks in different biotypes as possible intermediate hosts of Fasciola hepatica, 120 Creole breed sheep, raised in semi-rustic conditions and in the fattening stage, with clinical symptoms typical of parasitic processes related to fasciola, were clinically studied. Its origin was different self-consumption located in the municipality of Camagüey-Cuba. 41 necropsies were performed to evaluate the pathological lesions. A coprological survey was carried out on 100 sheep to determine the presence of parasite eggs and 100 snails were collected from each of the places under study as possible intermediate hosts of the disease. Descriptive statistics were used to analyze the data, specifically a frequency and percentage table, up to cross-sectional analysis based on a contingency table. The results reflected that 86 % of the sick sheep presented the typical clinical symptoms for chronic fasciolosis. 80,4 % of the necropsies reflected characteristic pathological lesions of Fasciola hepatica in its chronic phase. 31 % of coprological examinations showed eggs with different embryonic stages of Fasciola hepatica. The percentages of infestation by mollusk species were: 65,7 % for *Fossaria cubensis*, 24 % for *Pseudosuccinia columella* and 54,9 % for *Tarebia granifera*. The snail *Tarebia granifera* was reported for the first time in Cuba as an intermediate host associated with ovine fasciolosis.

Keywords: Snails, biological cycle, coprological examination, parasite eggs, mollusks.

Introducción

Entre las enfermedades provocadas por parásitos, que más afectan a la industria ovina, se encuentra la fasciolosis. Su presentación se sustenta en tres formas clínicas: agudas, sobreagudas y crónicas, las mismas pueden ir desde la muerte súbita hasta la gravedad de forma crónica, que provoque la muerte del animal, con hígados endurecidos con lesiones macroscópicas severas del órgano, donde se observan fasciolas adultas.

Las condiciones del medio ambiente son favorables para el desarrollo del molusco, que constituye el hospedero intermediario de *Fasciola hepatica* y que puede estar representado por diferentes especies de caracoles, aunque los más importantes, pertenecen a las Lymnaeas o Fossarias, los cuales son gasterópodos dulceacuícolas comunes en los pastizales, donde se crían los hospederos definitivos. Para que estos caracoles se desarrollen, precisan de zonas de pantanos o muy húmedas cercanas, que permitan el crecimiento de los pastos, con temperaturas cálidas a frías, que favorezcan las diferentes etapas evolutivas, por las que debe pasar el desarrollo del ciclo biológico del parásito, antes de llegar al hígado, que constituye el órgano diana de la enfermedad (Palacio Collado *et al.*, 2019).

En Cuba existen reportadas dos especies de caracoles como hospederos intermediarios de la fasciolosis por *Fasciola hepatica*: *Fossaria cubensis* y *Pseudosuccinia columella*, esta última también reportada en otros lugares de Latinoamérica como Guatemala (Vázquez *et al.*, 2019; Lepe-López *et al.*, 2020). La presente investigación busca evaluar los diversos hospedadores intermediarios relacionados con la fasciolosis ovina, destacando su importancia fundamental; considerando las manifestaciones clínicas y anatomopatológicas que genera esta enfermedad, su estudio permitirá identificar otros hospedadores intermediarios que actúan como reservorios de los estadios embrionarios en este proceso patológico.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en cuatro autoconsumos de la provincia de Camagüey, Cuba. Con temperatura promedio anual de 24,7 °C. La temporada de lluvia dura 11 meses, del 23 de enero al 11 de diciembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros (Plasencia Fraga, 2008).

Trabajo clínico de campo

Se valoraron clínicamente 120 ovinos, de raza criolla, en condiciones de manejo semirústico, en etapa de ceba, correspondientes a diferentes autoconsumos de la zona; los mismos presentaron síntomas característicos de procesos parasitarios relacionados con la noxa en estudio. De esta totalidad fueron necropsiados 41 animales y de acuerdo a lo establecido por Morales *et al.* (2018), específicamente para

ovinos, sus hígados decomisados y observados, para determinar la ausencia o presencia de lesiones anatomopatológicas.

Pasos para la necropsia

- Elección del animal y tiempo para necropsia: Se eligieron los ovinos con síntomas aparentes. Las necropsias se realizaron en las primeras horas de la mañana.
- Identificación del animal: Se registró la edad, la raza y categoría del animal.
- Revisión clínica del animal e inspección externa: Se tuvo en cuenta el estado de la piel, faneros y de las mucosas.
- Tipo de sacrificio: Al ser realizado en campo se eligió el degüello del animal.
- Apertura del cadáver: Se efectuó un corte en la piel en línea recta desde el mentón hasta el ano, bordeando los genitales externos y la ubre, se realizó el procedimiento establecido por regiones hasta exponer el órgano a observar.
- Inspección del órgano: Se palpó el hígado y se realizaron los cortes establecidos en la búsqueda de lesiones y parásitos adultos, atravesando todo su parénquima, donde se pudo observar el aspecto de su superficie, bordes y estructuras tubulares internas.

Tratamiento de las muestras de heces fecales

Se recolectaron al azar 100 muestras de heces fecales de los ovinos de los lugares en estudio, las cuales fueron valoradas por la técnica helminto-ovoscópica de flotación y sedimentación espontánea citada por González Benítez (2014), de acuerdo con las modificaciones realizadas por Lumbreras en 1962. Las muestras se recolectaron entre las 04:00 y 07:00 am., entre 20 g y 30 g de heces tomadas del recto, empleando una bolsa plástica a manera de guante.

Manipulación de las muestras

Se separaron 4 g de heces de cada recipiente y se hizo un homogeneizado en 10 ml de solución salina, hasta que se logró una suspensión adecuada. La mezcla fue vertida en un tubo cónico de plástico de 13 x 2,5 cm, de 50 ml de capacidad filtrándose por gasa. Se completó el volumen del tubo con solución salina y se tapó herméticamente. Se agitó enérgicamente por 30 segundos y se dejó reposar por 45 minutos. Se eliminó el sobrenadante y con una pipeta se tomó una muestra del fondo del tubo. Se colocaron 4 gotas en dos láminas distintas, agregándole gotas de Lugol y de solución salina a cada una. Finalmente, las láminas portaobjetos fueron cubiertas con laminillas de celofán de 6x2 cm. Se observó al microscopio electrónico con objetivos 10X y 40X.

Recolección de los caracoles y análisis de los resultados

Los métodos Yong y Perera (1991) citados por Cruz Mendoza *et al.* (2002), fueron los elegidos para la recolección de los 400 caracoles, donde se tuvieron en cuenta los 4 biotopos, los cuales fueron observados durante media hora, en forma

circular, prestando atención a los lugares con gran humedad y los sitios con agua estancada, donde pastoreaban los ovinos. Este muestreo se realizó durante una semana.

Los caracoles se introdujeron en bolsas de nylon y fueron transportados al laboratorio de Parasitología de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Camagüey, posteriormente se colocaron en bandejas para su clasificación, para lo cual se tomó en consideración la medición de sus conchas con un pie de rey Control Cro, y rectificados con una reglilla bajo el microscopio electrónico. Para identificar los moluscos, se diseccionó el aparato reproductor; para ello, los caracoles se dejaron refrigerar 24 horas entre 3 y 4 °C, posteriormente, con la ayuda de una suspensión de 75 % de alcohol, fueron depositados en cajas Petri. Se emplearon pinzas de relojero 5, bisturí y el microscopio electrónico.

Para la liberación de los estadios embrionarios de *Fasciola hepatica* a partir del caracol, estos se introdujeron en bolsa de nylon, con 90 ml de agua destilada, posteriormente los moluscos fueron sometidos a cambios bruscos de temperaturas, colocándolos en refrigeración hasta 15 minutos alternando con un foco de 100 watts a 100 cm. de distancia, durante 24 horas. Cada bolsa fue identificada en correspondencia con el autoconsumo donde fueron recolectados los caracoles. Una vez identificado los moluscos positivos a las formas embrionarias, se introdujo en una bolsa de polietileno, 3 ml de agua destilada por cada caracol, en la caja Petri, posteriormente se prensó cada molusco con una pinza de disección y se observó al microscopio la morfología de los estadios larvarios de fasciola. A partir de aquí se pudo identificar los diferentes grupos de moluscos, y sus porcentajes totales (Manso *et al.*, 1999). Para el análisis de los datos se empleó la estadística descriptiva, específicamente tabla de frecuencia y porcentaje, hasta el análisis cruzado a partir de tabla de contingencia.

Resultados y discusión

Síntomas clínicos

De los 120 animales cuyos síntomas clínicos fueron observados, en 72 de ellos (86 %), el cuadro clínico se caracterizó por pérdida de peso, debilidad, anemia, emaciación, y edema submaxilar, cuello, pecho y abdomen y temperaturas entre 38 °C y 39 °C, en correspondencia con González Rodríguez *et al.* (2019), que manifestaron síntomas similares a la observación clínica en ovinos, asociada a la sospecha probablemente de una gran migración de larvas parasitarias de múltiples parasitosis, incluida la fasciolosis.

Las diarreas se observaron en más del 50 % de los casos, de acuerdo a lo planteado por García *et al.*, (2016); quienes determinaron que las fases adultas de algunos parásitos, como la fasciola, ejercen acciones patógenas hepáticas y digestivas como las diarreas y edemas submandibulares.

Lesiones anatomopatológicas

De las 41 necropsias realizadas, resultaron positivas 33

para un 80,4 %, y dentro de las lesiones anatomopatológicas se observaron: parénquima hepático con trayectos de tejido conjuntivo por migración de fasciolas, hemorragias en los tejidos que atraviesan en su viaje del intestino al hígado; hepatomegalia con fibrosis y muerte de células hepáticas; inflamación y fibrosis de los conductos biliares; marcada eosinofilia y calcificación de los conductos biliares debido a la migración de las fasciolas y focos de necrosis (Figura 1), en correspondencia con lo planteado por Alpízar *et al.* (2013), quienes manifestaron síntomas similares en bovinos sacrificados a nivel de camal infectados por *Fasciola hepatica* en estadio crónico de la enfermedad.

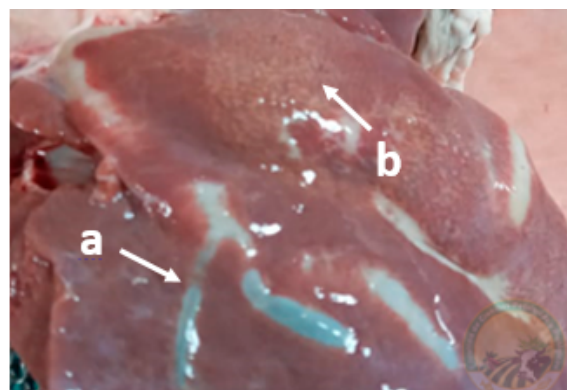


Figura 1. Parénquima hepático con trayectos de tejido conjuntivo por migración de fasciolas. (b) Focos de necrosis

Se observaron hígados friables, con coloración oscura y presencia de parásitos adultos en parénquima (Figura 2 a, b y c), marcada hepatomegalia con paredes hiperplásicas, obstrucción y disminución de la luz de los conductos hepáticos por fasciolas adultas, además de marcada hepatomegalia (Figura 3), de acuerdo con Gálvez *et al.* (2012), quienes describen que estas lesiones son productos a que las fasciolas quedan vivas en el animal post mortem y el hígado logra una coloración muy oscura de tacto arenoso, donde el tejido se vuelve blando y friable, mostrando una hiperplasia en las paredes del órgano.

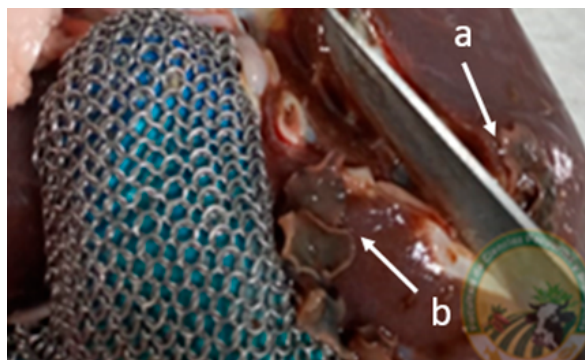


Figura 2. (a) hígados friables y con coloración oscura. (b) presencia de parásitos adultos en parénquima. (c) obstrucción y disminución de la luz de los conductos hepáticos por fasciolas adultas

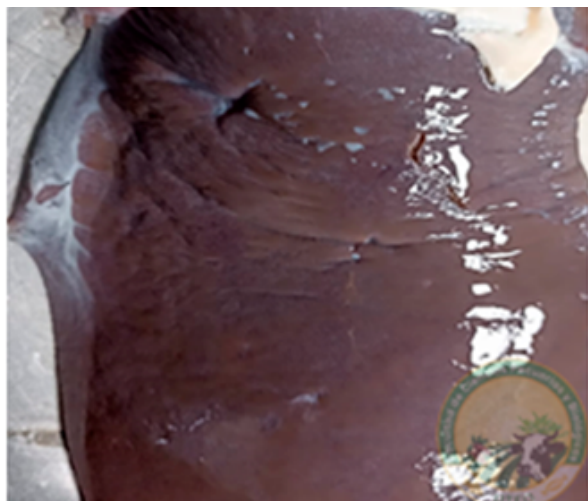


Figura 3. Marcada Hepatomegalia con paredes hiperplásicas

Se pudo apreciar fibrosis y muerte de células hepáticas y (b) engrosamiento de los ductos hepáticos con presencia de calcificación y distrofia masiva de los lóbulos anteriores (Figura 4), coincidiendo con Arroyo *et al.* (2022), quienes reconocen que la cronicidad de lesiones similares, incluyen malestar intestinal y dolor abdominal con presencia de cólico hepático en el animal, síntomas que se pusieron de manifiesto a la observación clínica.



Figura 4. (a) fibrosis y muerte de células hepáticas. (b) engrosamiento de los ductos hepáticos con presencia de calcificación y distrofia masiva de los lóbulos anteriores

Se pudo apreciar el hallazgo de 6 casos de hepatitis necrótica (Figura 5) que denotan la presencia de *Clostridium novyi*, agente etiológico de la enfermedad negra; este hallazgo concuerda con lo planteado por Rojas y Cartín (2016), los cuales afirmaron que la *Fasciola hepatica* permite la instauración de otras enfermedades bacterianas similar a como ocurre en bovinos, respecto a la Icteroglobulinuria Bacilar Bovina (IHBB), y su agente etiológico *Clostridium hemolyticum*, asociado a lesiones focales en el hígado causadas por la migración de formas inmaduras del parásito.



Figura 5. Hepatitis necrótica concomitante con la fasciolosis crónica y *Clostridium novyi*

Caracoles recolectados por lugares de estudio y porciento de afectación

De los 400 caracoles recolectados (Tabla 1), 184 corresponden a la especie *Fossaria cubensis* (46,0 %), 61 fueron de *Pseudosuccinia columella* (15,3 %) y 155 caracoles *Tarebia granifera* (38,8 %) (Tabla 1).

En cuanto a los porcentajes de infestación por especies de moluscos, se observó en el 65,7 % de *Fossaria cubensis* y en el 24 % de *Seudosuccinia columella*, la presencia de estadios embrionarios redias, cercarias y metacercarias, lo que coincidió con lo planteado por Vázquez *et al.* (2019) que reconocen estas dos especies de moluscos como hospederos intermediarios del parásito.

Tabla 1. Especies de caracoles recolectados en cada una de las poblaciones en estudio

Caracoles	Poblaciones				Total	%
	Autoconsumo 1	Autoconsumo 2	Autoconsumo 3	Autoconsumo 4		
	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad		
<i>Fossaria cubensis</i>	0	82	59	43	184	46,0
<i>Pseudosuccinia columella</i>	0	18	30	13	61	15,3
<i>Tarebia granifera</i>	100	0	11	44	155	38,8
TOTAL	100	100	100	100	400	100

De las 100 muestras de heces fecales analizadas para la detección de huevos de *Fasciola hepatica* y estadios embrionarios redias, cercarias y metacercarias, a través del método de sedimentación espontánea, se obtuvo un 31 % de positividad de la presencia de los mismos, en correspondencia con lo expresado por Marcos (2009), quienes manifestaron que el grado de infección depende de la cantidad de especímenes adultos que se alojen en las vías biliares, por lo que el hallazgo de huevos en heces depende del número de fasciolas adultas y de la cantidad de huevos que estas expulsan.

Se destaca el reporte por primera vez en Cuba, del molusco *Tarebia granifera*, como hospedero intermediario de *Fasciola hepatica* en ovino, aunque este no desplaza en importancia, en los biotopos estudiados a *Fossaria cubensis*.

Conclusiones

Desde el punto de vista clínico y anatomopatológico, la fasciolosis ovina estuvo caracterizada por la forma crónica de la enfermedad. En cada una de las poblaciones de caracoles estudiadas se detectó la presencia de diferentes estadios embrionarios de *Fasciola hepatica* (redias, cercarias y metacercarias). En las muestras de heces examinadas se puso de manifiesto que la presencia de huevos de *Fasciola hepatica* depende de la cantidad de parásitos adultos y de la cantidad de huevos que estos expulsan. Se reporta por primera vez en Cuba el molusco *Tarebia granifera* como hospedero intermediario de *Fasciola hepatica*, aunque este no desplaza en importancia en los biotopos estudiados a *Fossaria cubensis*.

Referencias bibliográficas

- Arroyo, M. I., Gómez, L., Hernández, C., Agudelo, D., Galván-Díaz, A. L. y Velásquez, L. E. (2022). Prevalencia de *Fasciola hepatica* y Paramphistomidae en bovinos de doble propósito en una hacienda del trópico bajo andino colombiano Digeneos en bovinos de doble propósito del trópico bajo andino colombiano. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101530>
- Alpízar, C. E., de Oliveira, J. B., Jiménez, A. E., Hernández, J., Berrocal, A. y Romero, J. J. (2013). *Fasciola hepatica* en ganado bovino de carne en Siquirres y lesiones anatomo-histopatológicas de hígados bovinos decomisados en mataderos de costa rica. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 7-16. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242013000200001
- Cruz Mendoza, I., Ibarra Velarde, F., Naranjo García, E., Quintero Martínez, Ma. T. y Lecumberri López, J. (2002). Identificación taxonómica, estacionalidad y grado de infección con *Fasciola hepatica* de moluscos huéspedes y no huéspedes intermediarios del trematodo en el rancho de la Universidad Autónoma de Hidalgo, en Tulancingo, Hidalgo, México. *Veterinaria México*, 33(2): 189-200. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2002/vm022j.pdf>
- Gálvez, A. C., Duque, J. F. y Velásquez, L. E. (2012). La enfermedad es otra”: itinerario terapéutico de la fasciolosis bovina en Rionegro (Antioquia) (The disease is another”: therapeutic itinerary of bovine fasciolosis in Rionegro (Antioquia). *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 7(1), 73–86. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2707>
- García, Y., Sánchez J. y Arenal, A. (2016). Presencia de *Fasciola hepatica* en un ovino: caso clínico. *Revista Producción Animal*, 28(1): 48-49. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v28n1/rpa09116.pdf>
- González Benítez, N. (2014). Modelo matemático para el diagnóstico y pronóstico de *Fasciola Hepática* en el ganado bovino. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(11), 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638000004.pdf>
- González Rodríguez, Z., Hernández, H.M., Domenech Cañete, I. y Sario Ramo, I. (2019). FasciDIG. Diagnóstico oportuno y eficaz de fasciolosis humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 71(2). <https://revmedtropical.sld.cu/index.php/medtropical/article/view/382/276>
- Lepe-López, M., Villatoro-Paz, F., Valdez-Sandoval, C., Ríos, L., Díaz-Rodríguez, M. y Guerra-Centeno, D. (2020). Reporte de *Pseudosuccinea columella* infectados con *Fasciola hepática* en Sierra de los Cuchumatanes, Guatemala. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1): e1616. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1616>
- Manso, O. E., Monteagudo, M. A., Pérez, S. H. y Brito, A. E. (1999). Obtención de metacercarias de *Fasciola hepatica* en *Lymnaea cubensis* y la relación parásito-hospedero en ratas Wistar y ratones Balb/c. *Veterinaria México*. 30(1), 109-115. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-1999/vm991o.pdf>
- Marcos, L., Bussalleu, A., Terashima, A. y Espinoza, J. (2009). Detection of antibodies against *Fasciola hepatica* in cirrhotic patients from Peru. *Journal of Helminthology*, 83(1), 23-6. <https://doi.org/10.1017/s0022149x08067205>
- Morales Briceño, A., Molina, M., Brito, Y., Moreno, Y., Méndez Briñez, O., Álvarez Duarte, M., Esteves, C. y Moya Acosta, M. (2018). Técnicas de necropsia y toma de muestras en animales de experimentación: Una revisión bibliográfica y actualización. *Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Range”*, 49(2). <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/05/1096359/tecnicas-de-necropsia.pdf>
- Palacio Collado, D., Bertot Valdés, J., Beltrao Molento, M., Vázquez Gil, Ángel., Ortiz Vázquez, R. y Fortune Nápoles, C. F. N. (2019). Pérdidas económicas y prevalencia de *Fasciola hepatica* en bovinos sacrificados en dos provincias cubanas. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1).

<https://doi.org/10.21897/rmvz.1610>

Plasencia Fraga, J. M. (2008). Flora acuática de la provincia de Camagüey, Cuba. *Polibotánica*, (25). 17-28. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682008000100003

Rojas, D. y Cartín, J. A. (2016). Prevalencia de *Fasciola Hepatica* y pérdidas económicas asociadas al decomiso de hígados en tres mataderos de clase a de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 40(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27366>

Vázquez, A., Gutiérrez, A. y Sánchez, J. (2019). Estudios de diversidad en comunidades de moluscos fluviales de importancia médica. *Revista Cubana Medicina Tropical*, 60(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0375-07602008000200009&lng=es&nr_m=iso

Yong, M. y Perera, G. (1991). Growth of *Tarebia granifera* in its natural habitat. 8 th. Int.C ong. Malacol. Budapest, Hungría, p.161.



Uso de agregados en la producción de ensilaje con raquis de plátano (*Musa paradisiaca*)

Use of Additives in the Production of Silage with Plantain Rachis (*Musa paradisiaca*)

Verónica Carolina Cevallos-López¹, Miguel Angel Macay-Anchundia², Roxanna Patricia Palma³

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Investigadora. Fundación Agroecológica Río Negro, Ecuador.

²Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Docente de Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Ecuador.

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Docente de la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Ecuador.

Autor de correspondencia: vcevallosl@uteq.edu.ec

Recibido: 06/07/2024. Aceptado: 16/04/2025.

Publicado el 02 de julio de 2025.

Resumen

Las innovaciones tecnológicas permiten reciclar el raquis que se encuentra aglomerado como desecho. Con el objetivo de evaluar el uso de agregados (bacterias ácido-lácticas, microorganismos eficientes autóctonos y *Gliricidia sepium*) en la producción de ensilaje a base de raquis de plátano (*Musa* spp) a diferentes tiempos de preservación (1 y 6 meses). Se preparó 16 microsilos de 1 kg por cada tiempo de preservación y se determinó la proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), ceniza, extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN). Los tratamientos utilizados fueron: T1: Control, T2: SiloBacter®, T3: *Gliricidia sepium* y T4: EM.1®. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con muestreos en el tiempo y se realizó el análisis de varianza con $p < 0,05$ con prueba de significancia Tukey mediante el paquete estadístico RStudio. Al agregar *Gliricidia sepium* permitió mejorar la composición nutricional del ensilaje reflejando al primer mes un valor mayor de ELN (38,85%), FB (38,84%), ceniza (19,11%) EE (2,74%), el T1 control reflejó la concentración más alta de PB (8,24%) y al sexto mes T3 expresó su valor nutritivo más alto en PB (7,38%), EE (2,74%), ELN (38,35%) y los más bajos en FB (38,41%) y ceniza (20,8%). Se concluye que el uso de ensilaje de raquis de plátano con adición de *Gliricidia* es una buena alternativa como suplemento alimenticio de rumiantes a los seis meses posterior a su elaboración. La transformación del raquis en ensilaje contribuye significativamente a la resiliencia de los sistemas agroalimentarios.

Palabras clave: Microsilos, fermentación, vástago, alimentación de rumiantes, incorporados.

Abstract

Technological innovations enable the recycling of plantain rachis, which is typically discarded as waste. This study aims to evaluate the use of additives (lactic acid bacteria, efficient native microorganisms, and *Gliricidia sepium*) in the production of silage from plantain rachis (*Musa* spp) at different preservation times (1 and 6 months). Sixteen microsilos of 1 kg each were prepared for each preservation time, and the following parameters were determined: crude protein (PB), crude fiber (FB), ash, ether extract (EE), and nitrogen-free extract (ELN). The treatments used were: T1 Control, T2 SiloBacter®, T3 *Gliricidia sepium*, and T4 EM.1®. A completely randomized design with sampling over time was employed, and variance analysis was conducted with $p < 0.05$ using Tukey's significance test in RStudio. The addition of *Gliricidia sepium* improved the nutritional composition of the silage, showing higher values at the first month for ELN (38,85%), FB (38,84%), ash (19,11%), and EE (2,74%). The T1 Control had the highest PB concentration (8,24%). At six months, T3 showed the highest nutritional value in PB (7,38%), EE (2,74%), ELN (38,35%), and the lowest values in FB (38,41%) and ash (20,80%). It is concluded that the use of plantain rachis silage with the addition of *Gliricidia* is a good alternative as a ruminant feed supplement six months post-production. Transforming rachis into silage significantly contributes to the resilience of agro-food systems.

Keywords: Microsilos, fermentation, stem, ruminant feeding, incorporated.

Introducción

Bermúdez-Loiza *et al.* (2015) mencionan que, los pastos y forrajes son fundamentales en la alimentación de rumiantes. Posada *et al.* (2012) señalan que los sistemas de producción emplean alimentos concentrados de cereales, como una de las principales fuentes de suplementación. Zebeli *et al.* (2012) enfatizan que al no suministrar el tiempo necesario para que los pastos se recuperen entre los ciclos de pastoreo, aunado a las desfavorables condiciones ambientales, estos pierden productividad. Una alternativa resiliente es cosechar el exceso de forraje de la temporada de lluvias para uso como ensilaje durante los periodos de estiaje (Costa *et al.*, 2013).

Martínez *et al.* (2008) indican que los forrajes presentan deficiencias nutricionales, no cumplen con todos los requerimientos nutritivos para alimentar rumiantes, principalmente son bajos en proteína. Rangel *et al.*, (2021) sugieren que al ensilar las especies *Tithonia diversifolia*, *Gliricidia sepium*, *Crescentia cujete*, *Calliandra*, no presentan problemas de palatabilidad y aceptación por parte de los rumiantes, además de su aporte nutricional rico en proteína.

El uso de subproductos (desechos) de postcosecha de los sistemas de producción agrícolas (plátano); podría ser una alternativa eficiente para suplementar a los animales (Flórez-Delgado y Rosales-Asensio, 2018), en especial de aquellas que ocasionan un impacto poco favorable al ambiente por su inoportuna disposición y aglomeración en campo, como es el caso del raquis de plátano (Yoplac *et al.*, 2017). Lo que corroboran Ayala *et al.* (2016), quienes sugieren que el raquis pudiera constituirse en un mecanismo contaminante del ambiente si no se realiza un manejo adecuado. Caicedo *et al.* (2019) sugieren que al emplear residuos agrícolas para la alimentación animal permite reducir los costos de producción de los sistemas pecuarios. También mencionan que al aprovechar este residuo en la alimentación animal se estaría aportando bromatológicamente en base seca y natural del raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) materia seca (7,05%), proteína bruta (7,85%), fibra bruta (29,27%), extracto etéreo (2,82%), cenizas (16,84%), extracto libre de nitrógeno (34,80%).

La presente investigación se orientó a la elaboración de microsilos como fuente de suplemento alimenticio para rumiantes cuyo objetivo fue evaluar la calidad bromatológica de ensilaje de raquis de plátano en conjunto con los agregados (bacterias ácido-lácticas, Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAs) y *Gliricidia sepium*) al primer y sexto mes de su elaboración.

Materiales y métodos

Localización

El ensayo se llevó a cabo en su fase de campo en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, provincia de

Manabí, Ecuador, ubicada en las coordenadas geográficas a 0°16'00"S de latitud y 79°26'00"O de longitud con una altura de 260 m s.n.m.; cuenta con una temperatura promedio anual de 24,1 °C, topografía ligeramente irregular y una precipitación anual de 2.770,6 mm acorde al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INANMHI] (2023).

Procedimiento experimental

El raquis utilizado para la elaboración de los microsilos fue obtenido de la variedad de plátano *Musa* spp. cultivado en la granja experimental de la ULEAM. Se pesaron y lavaron con agua potable, y luego se escurrieron durante 5 minutos. Cada raquis tuvo un peso promedio de 1,2 kg. Posteriormente, se picaron en fresco a 2 cm de tamaño, siguiendo el protocolo de Espinoza *et al.* (2020). El follaje de *Gliricidia sepium* (yuca ratón) se obtuvo mediante la poda manual de dos árboles, los cuales fueron utilizados como estacas de cercas vivas. Se colectaron 8 kg de forraje, compuesto exclusivamente por hojas sin peciolo, provenientes de material vegetal en estado vegetativo y con una edad aproximada de cinco años. Este follaje se dispuso de forma homogénea sobre un piso de cemento para su presecado durante 10 horas al sol (Suárez *et al.*, 2011).

Se incorporó melaza en una proporción del 5% (50 gramos) con respecto al peso fresco del forraje, y luego se diluyó en agua limpia y tibia, según las indicaciones de Mühlbach (2016). Adicionalmente, se utilizó polvillo de arroz al 20% como material absorbente. Esta decisión se fundamentó en la alta concentración de agua presente en el raquis en su estado natural; el polvillo de arroz ayuda a reducir la humedad, lo que mejora la calidad del ensilaje al disminuir la posibilidad de crecimiento de microorganismos patógenos (Caicedo *et al.*, 2020). En total, se establecieron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, resultando en 16 microsilos que se evaluaron tras un mes, y 16 microsilos adicionales que se abrieron después de seis meses.

Tratamientos

Se evaluaron 4 tratamientos: T1 (Control) = Raquis 75%; 5% de melaza; polvillo de arroz al 20%; T2 = (Silobacter) Raquis 75%; Melaza 5%; SiloBacter® 0,2 ml/kg y polvillo de arroz 20%; T3 = (*Gliricidia*) Raquis 50%; *Gliricidia sepium* 25%; Melaza 5% y polvillo de arroz 20%; y T4 = (EMAs) Raquis 75%; Melaza 5%; EM.1® 2 ml/kg y polvillo de arroz 20%.

Período experimental

Los microsilos de 1 kg fueron sellados en bolsas herméticas tipo Ziplock y almacenados en un ambiente protegido de la luz solar, humedad y posibles infestaciones de roedores, con el objetivo de asegurar un proceso de fermentación óptimo. Se establecieron dos tiempos de fermentación: uno y seis meses, siguiendo el protocolo descrito por Dormond *et al.* (2011). Para cada periodo de fermentación, se prepararon cuatro réplicas experimentales.

Finalizado el período de fermentación, se determinaron los parámetros bromatológicos incluyendo fibra bruta (FB), cenizas, proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE) y extracto libre no nitrogenado (ELN), de acuerdo con los métodos oficiales de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016). Los análisis se realizaron por cuadruplicado para cada tratamiento y tiempo de fermentación, mediante un análisis bromatológico proximal (Sánchez *et al.*, 2015). Las determinaciones fueron llevadas a cabo en el laboratorio Agrolab, ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con parcelas divididas, conformado por cuatro tratamientos de agregados asignados a las parcelas principales y dos momentos de evaluación (primer y sexto mes) aplicados como subparcelas dentro de cada parcela principal. Se incluyeron cuatro réplicas por tratamiento, bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + T_j + (AT)_{ij} + (AR)_{ik} + e_{ijk} \quad (1)$$

Donde Y= variable observada

μ = media general de la variable

A_i = efecto del i-ésimo nivel del factor A

T_j = efecto del j-ésimo nivel del factor tiempo T

AT_{ij} = efecto del ij-ésimo nivel de la interacción de A y T

AR_{ik} = efecto aleatorio del factor A y repeticiones

e_{ijk} = Error experimental asociado a las subparcelas.

Para determinar las diferencias estadísticas se aplicó un análisis de varianza (ADEVA) y para comparar los distintos tratamientos, se realizaron pruebas de comparación de media de Tukey, procesado con el programa estadístico RStudio (Boehmke y Greenwell, 2019).

Resultados

Ceniza

Los agregados causaron diferencias significativas en el contenido de ceniza ($p=0,0291$) del ensilaje de raquis de plátano, según las observaciones al momento de apertura del microsililo (Tabla 1). La ceniza fue mayor al sexto mes en los tratamientos con Silobacter (23,40 % $\pm$ 0,17 %) y EMAs (23,75 % $\pm$ 0,17 %) en comparación con los demás tratamientos. Al sexto mes, los tratamientos con EMAs y Silobacter presentaron mayor contenido de ceniza. El tratamiento con *Gliricidia* mostró los contenidos más bajos de ceniza, con 19,11% $\pm$ 0,17 % al primer mes y 20,80 % $\pm$ 0,17% al sexto mes de apertura. El contenido de ceniza estuvo influido significativamente ($p < 0,0001$) por el tiempo de apertura de los ensilajes de raquis. Se observó mayor contenido de ceniza al sexto mes en comparación con el primer mes. Los

tratamientos tuvieron efectos significativos ($p<0,0001$) en la variación de la ceniza del ensilaje, con Silobacter y los EMAs mostrando los mayores contenidos de ceniza.

Extracto libre de nitrógeno

Los tratamientos de agregados afectaron significativamente ($p<0,0001$) el contenido de ELN del ensilaje de raquis de plátano en las observaciones realizadas al abrir los microsililos (Tabla 1). El tratamiento con *Gliricidia* mostró el mayor contenido de ELN al primer mes de apertura del microsililo (38,35 % $\pm$ 0,29 %). Por otro lado, los tratamientos con Silobacter y Control tuvieron menores contenidos de ELN al sexto mes, donde además el tratamiento Control presentó una concentración de ELN más alta (31,69 % $\pm$ 0,29 %) en comparación con el tratamiento con *Gliricidia* (30,67 % $\pm$ 0,29%). El tratamiento EMAs no causó cambios significativos en el contenido de ELN en ningún tiempo de medición.

Fibra bruta

Los agregados influyeron significativamente ($p= 0,0021$) en el contenido de fibra del ensilaje de raquis de plátano, según lo observado en los tiempos de apertura (Tabla 1). El tratamiento con EMAs reflejó el mayor contenido de fibra tanto al primer mes (38,84 % $\pm$ 0,36 %) como al sexto mes (40,95 % $\pm$ 0,36 %), en comparación con los demás tratamientos. El análisis reveló que el tratamiento con *Gliricidia* mostró contenidos de fibra más bajos al primer mes (33,09 % $\pm$ 0,36 %). Al sexto mes, los tratamientos con Silobacter, el Control y *Gliricidia* presentaron el contenido de fibra más bajo; sin embargo, el tratamiento con *Gliricidia* tuvo una media más baja (38,41 % $\pm$ 0,36 %) en comparación con los otros tratamientos.

Proteína bruta

La proteína del ensilaje de raquis de plátano mostró diferencias significativas ($p<0,0001$) debido a los agregados medidos en los tiempos de apertura (Tabla 1). El tratamiento con *Gliricidia* al sexto mes (7,38% $\pm$ 0,22%) y con microorganismos eficientes al primer mes (8,24% $\pm$ 0,22%) presentaron los mayores contenidos de proteína en comparación con los demás tratamientos. El tratamiento Control mostró los contenidos más bajos de proteína tanto al primer mes (5,16% $\pm$ 0,22%) como al sexto mes (4,48% $\pm$ 0,22%). El tratamiento con Silobacter tuvo un menor contenido de proteína al primer mes en comparación con el sexto mes.

Tabla 1. Análisis bromatológico de los ensilajes de raquis de plátano mediante el uso de agregados (Gliricidia, Microorganismos E, Silobacter y T control) medias (%) de las variables; ceniza, extracto libre no nitrogenado, fibra y proteína

	Ceniza		ELN		Fibra		Proteína	
	Tiempo (meses)		Tiempo (meses)		Tiempo (meses)		Tiempo (meses)	
Tratamientos	1	6	1	6	1	6	1	6
Gliricidia	19,11 ± 0,17 c B	20,8 ± 0,17 b A	38,35 a A	30,67 a B	33,09 c B	38,41 b A	6,72 b A	7,38 a A
Microorganismos E	22,06 ± 0,17 ab B	23,75 ± 0,17 a A	28,17 c A	27,52 b A	38,84 a B	40,95 a A	8,24 a A	5,32 b B
Silobacter	22,72 ± 0,17 a B	23,4 ± 0,17 a A	32,71 b A	29,87 a B	35,73 b B	38,89 b A	6,59 b A	5,34 b B
T control	21,55 ± 0,17 b B	22,58 ± 0,17 a A	34,2 b A	31,69 a B	36,56 b B	38,63 b A	5,16 c A	4,48 b A
Valor p	0,0291		<0,0001		0,0021		<0,0001	
CV (%)	1,57		1,80		1,90		7,04	

Nota. Letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). CV (%): Coeficiente de valor expresado en porcentaje. Valor *p*: indica la probabilidad de obtener los resultados observados bajo la hipótesis nula.

Extracto Etéreo

Los resultados indican que los niveles E.E. encontrados no dependen del efecto combinado entre los agregados y el tiempo de apertura ($p=0,3701$). No se observaron efectos significativos ($p=0,7061$) del tiempo en la calidad del microsilos, independientemente del agregado utilizado.

Sin embargo, el efecto simple de los agregados causó diferencias significativas ($p=0,0183$) en el contenido de extracto etéreo del ensilaje (Tabla 2). Los tratamientos con *Gliricidia* (2,74 % ± 0,07), EMAs (2,59 % ± 0,07) y Control (2,58 % ± 0,07) mostraron los mayores contenidos de extracto etéreo.

Tabla 2. Efectos simples de los tratamientos de Gliricidia, Microorganismos E., Silobacter y Control, sobre la variable bromatológica Extracto etéreo del ensilaje de raquis de plátano (expresada en porcentaje)

Efectos de tratamientos (Parcela)	Ext. Etéreo (%)
Gliricidia	2,74 ± 0,07 a
Tratamiento control	2,58 ± 0,07 ab
Silobacter	2,38 ± 0,07 ab
Microorganismos E	2,59 ± 0,07 ab

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

Discusión

La concentración de ceniza observada en el ensilaje de raquis con *Gliricidia* fue la más baja, lo que indica un menor contenido de este nutriente en el forraje. Apráez-Guerrero *et al.* (2012) mencionan que un alto contenido de ceniza en el ensilaje puede favorecer fermentaciones secundarias, generando procesos bacterianos. Fonseca-López *et al.* (2018) sugieren que la melaza intensifica la concentración de ceniza debido a su alto contenido de minerales. En el tratamiento con *Gliricidia*, el contenido de ceniza fue menor al primer mes en comparación con el sexto. Esto concuerda con Benítez (2016), quien enfatiza que los valores aumentan debido a los procesos biofermentativos del ensilaje. Caicedo *et al.* (2020) reportan una concentración de ceniza del 18,31 % al ensilar raquis de plátano y banano a los 30 días, resultados que son similares a los obtenidos en esta investigación.

El ensilaje de raquis con *Gliricidia* mostró el valor más alto de ELN, al primer mes y la media más alta en el tratamiento control al sexto mes. Esto sugiere que la concentración de ELN disminuye con el tiempo. Estos contenidos son aceptables como suplemento alimenticio, debido a la ausencia de efluentes líquidos. Apráez-Guerrero *et al.* (2012) mencionan que la ausencia de lixiviados permite que los carbohidratos solubles formen fructosa, glucosa y sacarosa, que son utilizados por las bacterias ácido-lácticas para producir ácido láctico y otros productos, asegurando la calidad del ensilaje. Suárez *et al.* (2011) encontraron resultados superiores al ensilar *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium*, con una concentración de ELN. del 49,72 %. Sin embargo, Caicedo *et al.* (2020)

reportan una concentración del 37,04 % en el ensilaje de raquis de plátano y banano a los 30 días, y un contenido de ELN del 34,80 % en la base seca natural del raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA). Esto sugiere que la adición de *Gliricidia* mejora la calidad nutritiva del ensilaje.

Se observaron diferencias significativas en los contenidos de fibra bruta, con el menor contenido registrado en el tratamiento de raquis con *Gliricidia* al primer y al sexto mes. Esto indica que los contenidos de fibra aumentan durante el proceso de ensilaje y su tiempo de fermentación. Combs (2014) menciona que la fibra bruta es importante en la dieta de los rumiantes, aunque dietas altas en fibra pueden afectar el consumo de materia seca. Apráez-Guerrero *et al.* (2012) destacan que la concentración de fibra bruta está relacionada con el estado de madurez de las plantas antes de ensilarlas; forrajes más maduros presentan mayores concentraciones de fibra bruta. Caicedo *et al.* (2020) reportan una concentración de fibra del 24,16 % en el ensilaje de raquis, valor inferior al encontrado en esta investigación.

El contenido de proteína cruda mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento con microorganismos eficientes y raquis presentó la mayor concentración de proteína cruda al primer mes, mientras que el tratamiento con *Gliricidia* y raquis mostró la concentración más alta al sexto mes (7,38 %). Este fue el único tratamiento donde la proteína cruda aumentó con el tiempo, posiblemente debido al crecimiento bacteriano durante la fermentación (Encalada *et al.* 2017). Borrás-Sandoval *et al.* (2017) y Yunus *et al.* (2015) enfatizan que el incremento proteico durante el ensilaje se relaciona con el aumento microbiano. López-Herrera y Briceño-Arguedas (2017) mencionan que la inclusión de fuentes ricas en nitrógeno, como la urea, incrementa los niveles de proteína. La adición de *Gliricidia* proporciona un aporte extra de proteína a la dieta de los rumiantes.

Copani *et al.* (2014) indican que las leguminosas pueden mejorar la calidad del ensilaje de las gramíneas mediante el aumento de los contenidos de proteína cruda. Caicedo *et al.* (2020) reportan un contenido de proteína ligeramente superior (14,34 %) en comparación con los resultados de esta investigación. Thomas *et al.* (2010) destacan la importancia de inocular con bacterias ácido-lácticas en la elaboración del ensilaje de papa, mejorando los indicadores fermentativos y las características bromatológicas del alimento para rumiantes. Fonseca-López *et al.* (2018) mencionan que la concentración EE, podría incrementar si se utiliza aditivos en el ensilado (sal mineral, carbonato de calcio, suero de leche, melaza y polvillo de arroz).

Caicedo *et al.* (2020) reportaron un contenido de 6,12 % de extracto etéreo a los 30 días de biofermentación, dichos resultados son superiores a los encontrados en la presente investigación.

Conclusiones

El ensilaje de raquis de plátano con el agregado de *Gliricidia* reflejó valores nutritivos más altos al sexto mes en relación con los demás tratamientos en función a los análisis bromatológicos realizados, considerando que acorde a los requerimientos nutricionales de los rumiantes ayudaría a suplir sus necesidades alimenticias en la época de estiaje de pastos y forrajes.

De manera general, al primer mes de biofermentación el ensilaje con el uso de agregados presentó mejores calidades nutritivas de extracto libre de nitrógeno, fibra, ceniza, extracto etéreo, y proteína cruda. Sin embargo, a los seis meses de biofermentación en su mayoría presentaron una menor calidad nutritiva, debido a ello, se puede emplear en la alimentación animal como suplemento alimenticio.

El uso de *Gliricidia sepium* como potenciador del valor nutritivo en el ensilaje no solo mejora la calidad del forraje, sino que también contribuye a la economía circular al transformar un desecho agrícola en un producto valioso.

Referencias bibliográficas

- Apráez-Guerrero, J.E., Insuasty-Santacruz, E.G., Portilla-Melo, J.E. y Hernández-Vallejo, W.A. (2012). Composición nutritiva y aceptabilidad del ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa*), enriquecido con arbustivas: acacia (*Acacia decurrens*), chilca (*Bracharis latifolia*) y sauco (*Sambucus nigra*) en ovinos. *Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 25-35. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4418/4052>
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20th ed.). AOAC International.
- Ayala, L., Martínez, M., Castro, M., García, A., Delgado, E.J., Caro, Y. y Ly, J. (2016). Composición química del raquis de racimos de plátano (*Musa paradisiaca*) y aceptabilidad como alimento para cerdos en ceba. *Rev. Comp. Prod. Porcina* 23, 79-86. https://www.researchgate.net/publication/318018858_Chemical_composition_of_raquis_from_plantain_Musa_Paradisiaca_bunches_and_acceptability_as_food_for_fattening_pigs
- Benítez, A. (2016). *Utilización de diferentes niveles de urea en la dinámica de fermentación de la pulpa de café para uso en la alimentación de rumiantes en la provincia de Loja*. [Tesis Grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10282/1/TESIS%20FINAL.pdf>
- Bermúdez-Loaiza, J.A., Melo-Camacho, E.P. y Estrada-Álvarez, J. (2015). Evaluación de ensilaje de naranja entera (*Citrus sinensis*) como alternativa de suplementación en bovinos. *Rev. Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 38-53. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/3474>

- Boehmke, B. y Greenwell, B. (2019). *Hands-On Machine Learning with R*. Chapman y Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780367816377>
- Borrás-Sandoval, L., Valiño, E. y Iglesia, E. (2017). Evaluación del efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de papa (*Solanum tuberosum*) inoculado con preparado microbial. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(8), 1-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63652581011>
- Caicedo, W., Ferreira, F.N., Viáfara, D., Guaman, A., Socola, C. y Moyano, J.C. (2019). Composición química y digestibilidad fecal en cerdos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth*) fermentado. *Livestock Res Rural Dev*. 31(9). <http://www.lrrd.org/lrrd31/9/orlando31140.html>
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Alves, F.N., Rubio, G., Yanza, R., Caicedo, M., Caicedo, L., Valle, S., Motta, L. y Ferreira, W. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172020000400005&script=sci_arttext
- Copani, G., Ginane, C., Le Morvan, A. y Niderkorn, V. (2014). Bioactive forage legumes as a strategy to improve silage quality and minimise nitrogenous losses. *Animal Production Science*, 54(10), 1826-1829. <https://www.publish.csiro.au/an/an14252>
- Combs, D. (2014). Using in vitro total-tract NDF digestibility in forage evaluation. *Focus on forage* 15(2), 1-3. <https://www.kingsagriseeds.com/wp-content/uploads/2014/12/TTNDFD-FOF.pdf>
- Costa, J. H. C., Hotzel, M. J., Longo, C. y Balcao, L. F. (2013). A survey of management practices that influence production and welfare of dairy cattle on family farms in southern Brazil. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 307-317. <https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2812%2900785-0>
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G. y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto king grass (*Pennisetum purpureum*). (Nota técnica). *InterSedes*, 12(23). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/974/1035>
- Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N. y Quichimbo, A. (2017). Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 71-82. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/322/293>
- Espinoza, I., Medina, M., Barrera, A., Ronald, V. y Montenegro, L. (2020). Efecto de inclusión de cáscara de plátano en la degradabilidad in situ de ensilaje de maíz forrajero. *Ingeniería e Innovación*, 8(1). <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2327>
- Flórez-Delgado, D. y Rosales-Asensio, E. (2018). Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. *MundoFESC*, 8(15), 73-82. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638703>
- Fonseca-López, D., Saavedra-Montañez, G. y Rodríguez-Molano, C. E. (2018). Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente. *Revista Colomb Cienc Hortícolas*, 12(1), 175-182. <https://repositorio.uptc.edu.co/items/f2a24896-2fa5-4bae-a66a-36803bdf269b>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *Anuario meteorológico*. Ecuador. <https://www.inamhi.gob.ec/#>
- López-Herrera, M. y Briceño-Arguedas, E. (2017). Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. *Nutrición Animal Tropical* 11(1), 52-73. <http://dx.doi.org/10.15517/nat.v11i1.29605>
- Martínez, M., Chongo, B., Jordán, H., Hernández, N., Fontes, D., Lezcano, Y. y Cubillas, N. (2008). Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria de México*, 46(2), 183-193. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61346206.pdf>
- Mühlbach, P. (8 de febrero de 2016). *Uso de melaza como aditivo en el ensilaje*. Perulactea. <https://perulactea.com/uso-de-melaza-como-aditivo-en-el-ensilaje/>
- Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N. y Costa, A. (2012). Comparación de métodos para la determinación del valor energético de alimentos para rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3184-3192. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69325096013>
- Rangel, J. A., Ledesma, L.M. y Arizala, J. A. (2021). Suplementación estratégica con arbustivas forrajeras en el destete precoz de terneros BON x Cebú en Antioquia, Colombia. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 108-118. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/1603>
- Sánchez, A., Torres, E., Estupiñán, K., Vargas, J., Sánchez, J. y Sánchez, N. (2015). Valoración nutritiva del rastrojo de *Zea mays* y *Oryza sativa* para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(3): 235-249. <https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/54>
- Suárez, R., Mejía, J., González, M., García, D.E. y Perdomo, D. A. (2011). Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos. *Pastos y Forrajes* 34(1), 69-85. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119476006.pdf>
- Thomas, R., Nkosi, B.D., Umesiobi, D.O., Meeske, R., Kanengoni, A.T. y Langa, T. (2010). Evaluation

- of potato hash two silage inoculants bacteria and their effects on the growth of fattening pigs. *South African Journal of Animal Science*, 40(5), 488-490. https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-15892010000500021
- Yoplac, I., Yalta, J., Vásquez, H. y Maicelo, J. (2017). Efecto de la alimentación con pulpa de café (*Coffea arabica*) en los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus* L) raza Perú. *Revista Investigaciones Veterinarias de Perú*, 28(3), 549-561. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13362>
- Yunus, F., Nadeem, M. y Rashid, F. (2015). Single-cell protein production through microbial conversion of lignocellulosic residue (wheat bran) for animal feed. *Journal Inst Brew*, 121(4), 553-557. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jib.251>
- Zebeli, Q., Aschenbach, J. R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B. N, y Drochner, W. (2012) Invited review: Role of Physically Effective Fiber and Estimation of Dietary Fiber Adequacy in High-Producing Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1041-1056. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021200063X>





CIENCIA Y TECNOLOGÍA

revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt



cienciaytecnologia@uteq.edu.ec



+593 997507331

