

REVISTA

ISSN L 2644-3856

INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Vol. 8 No. 2 Junio - Noviembre 2026

Publicación Semestral

https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias



Ciencias Agropecuarias



Disponible en:



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

REVISTA CIENTÍFICA ESPECIALIZADA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS,
SERIADA, ARBITRADA EN LÍNEA E INDEXADA DE LA UNIVERSIDAD DE
PANAMÁ

ISSN L 2644-3856

VOLUMEN 8, N°2
JUNIO - NOVIEMBRE 2026

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

PANAMÁ



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Especializada en Ciencias Agropecuarias
Publicación Semestral
Universidad de Panamá
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Dirección de Investigación y Postgrado
Panamá

Volumen 8, Número 2
Junio - Noviembre 2026

ISSN L 2644-3856

Diseño de Portada
Licda. Noris Miranda
noris.miranda@up.ac.pa

Organización, Revisión, Diagramación y Diseño
Mgter. Carmen C. Rovira C.
carmen.rovira@up.ac.pa

Indexada en:



Disponible en:



Site: https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias

Para la versión electrónica adopta la Licencia de Creative Commons:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



INFORMACIÓN DE CONTACTO:

Dr. Reynaldo Vargas, Editor de la Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), Universidad de Panamá. Panamá. E-mail: revistaia_fca@up.ac.pa Tel.: 523-3912

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

Dr. Eduardo Flores Castro
RECTOR

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Dr. José Emilio Moreno
VICERRECTOR ACADÉMICO

Mgter. Arnold Muñoz
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Mgter. Mayanín Rodríguez
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Prof. Ricardo Him
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN

Prof. José Luis Solís
**DIRECTOR GENERAL DE CENTROS REGIONALES UNIVERSITARIOS Y EXTENSIONES
UNIVERSITARIAS Y ANEXOS**

Mgter. Ricardo A. Parker D.
SECRETARIO GENERAL

Mgter. Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

DIRECTOR DE LA REVISTA

Dr. M.V. Reinaldo de Armas Taboada PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá



reinaldo.dearmas@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

EDITOR DE LA REVISTA

Ing. Agr. Reynaldo Vargas PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá



reynaldo.vargas@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

JEFE DE EDICIÓN

Licdo. Carmen C. Rovira C. MSc. Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá



carmen.rovira@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

CONSEJO CIENTÍFICO EDITORIAL

Ing. Agr. Carlos Him Dr.Sc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Aguas. Panamá

Dr. Carlos Leyva Dr.Sc. Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT). Cuba

Dr.M.V. Ramón Denis García. DrSc.. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

Dr. Alberto Menéndez Buxadera DrSc. Prof Adjunto Universidad de Córdoba España. Investigador Independiente. Estados Unidos


Dr.M.V. Axel Iván Villalobos DrSc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá


Dr. José Giacomo Baccarin. Professor Economia Rural. UNESP, campus de Jaboticabal (SP). Brazil

Ing. Fidel Ovidio Castro PhD. Universidad de Concepción, Campus Chillan. Chile.

EDITORES TEMÁTICOS

Licdo. Alex Eliesser Ríos Moreno PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Protección Vegetal. Panamá

 alex.morenom@up.ac.pa


 <https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>


Ing. Agr. Reggie G. Guerra M. PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reggie.guerra@up.ac.pa


 <https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

Ing. Agr. Eldis Barnes Molinar, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-0122-5103>

Ing. Agr. Zulay Suira O., MSc., Universidad de Panamá, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

 zulay.suira@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-1232-506X>

Ing. Agr. Enrique Sánchez-Galán, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

Ing. Agr. Fernando Galvéz Msc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Fitotecnia. Panamá

 fernando.galvez@up.ac.pa


 <https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

Ing. Agr. Luz I. Loría PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 luz.loria@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-9977-0894>

Ing. Agr. Carolina Guerra C., MSc. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 carolina.guerra@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8771-8482>

EQUIPO TÉCNICO

MARCACIÓN Y MAQUETACIÓN

Licda. Carmen C. Rovira C., MSc., Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá. Panamá.



carmen.rovira@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

DISEÑO DE PORTADA

Licda. Noris Miranda. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Oficina de Relaciones Públicas.



noris.miranda@up.ac.pa

EDITORIAL

En la generación y difusión del conocimiento científico continúan siendo elementos fundamentales para enfrentar los desafíos que afectan a los sistemas agroalimentarios en el siglo XXI. La creciente demanda de alimentos, los efectos del cambio climático, la necesidad de optimizar el uso de los recursos naturales y la incorporación de nuevas tecnologías exigen respuestas sustentadas en evidencia científica sólida y actualizada.

En este contexto, presentamos un nuevo volumen de nuestra revista, que reúne contribuciones científicas orientadas a fortalecer el desarrollo sostenible del sector agropecuario. Los trabajos publicados abordan diversas áreas de investigación que reflejan la complejidad y el carácter multidisciplinario de las ciencias agropecuarias, aportando conocimientos que contribuyen a mejorar la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Los artículos incluidos en este número representan el esfuerzo de investigadores comprometidos con la búsqueda de soluciones innovadoras a problemáticas locales y globales. Sus resultados generan información valiosa para productores, técnicos, docentes, estudiantes y responsables de la formulación de políticas públicas, promoviendo la transferencia del conocimiento desde la academia hacia la sociedad.

Asimismo, este volumen reafirma nuestro compromiso con la calidad científica, la rigurosidad metodológica y la difusión abierta del conocimiento. Reconocemos el trabajo de los autores, revisores y miembros del comité editorial, cuya dedicación hace posible mantener los estándares académicos que caracterizan a nuestra publicación.

Confiamos en que los aportes presentados en este número contribuirán al avance de las ciencias agropecuarias y servirán como base para futuras investigaciones, fortaleciendo la colaboración científica y el desarrollo de sistemas productivos más resilientes y sostenibles.

REYNALDO VARGAS, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

SECCIONES EN ESTE NÚMERO

Págs.

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Rendimiento de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Megalodon' en condiciones de invernadero mediante la aplicación de bioestimulantes 11 - 22

Yield of Chili Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Megalodon' under greenhouse conditions by the application of biostimulants

Edgar Iván Barajas Real y Wilberth Chan Cupul

Desenvolvimento do milho e as perdas de grãos com diferentes armações de coleta em função da velocidade da colhedora 23 - 35

Desarrollo del maíz y pérdidas de granos con diferentes marcos de recolección en función de la velocidad de la cosechadora

Lucas de Oliveira Donaire, Jorge Wilson Cortez, Dario Alexandre Schwambach, Amanda de Oliveira Ribeiro y Nayra Fernandes Agüero

Análisis y selección de modelos para ajuste de crecimiento y rendimientos de canal para pollos Broiler Cobb 500 en Cañita, Chepo 36 - 53

Analysis and selection of models to fitting growth curves and carcass yield to Broiler Cobb 500 chickens in Cañita, Chepo

Roberto Saavedra, Héctor Cedeño, José Binns, Richard Mudarra, Marilys Quintero, Kelly Bordones, Mélida Quintero y Tamara Pimentel

Efecto del tiempo de calentamiento sobre el contenido de 5-Hidroximetilfurfural (HMF) y la actividad de diastasa en miel de abejas (*apis mellifera*) en Costa Rica 54 - 65

Effect of heating time on 5-Hydroxymethylfurfural (hmf) content and diastase activity in honey from bees (*apis mellifera*) in Costa Rica

Tamara Pimentel, María del Rocío Alfaro Avendaño y Eduardo Umaña

Comparación de dos granjas agroecológicas en la transformación de sabanas de la Orinoquia (Colombia): afinidades y contrastes 66-80

Comparison of agroecological farms in the transformation of the savannahs of Orinoquia (Colombia): affinities and contrasts

Amanda Silva Parra, Pedro Julio Gómez Bilbao y Jorge Alberto Rangel Mendoza

Observaciones sobre el establecimiento de Cocobolo, *Dalbergia retusa* Hemsí en asocio con pasto Zuri *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri 81-90

Observations on the establishment of Cocobolo *Dalbergia retusa* Hemsí in association with Zuri grass *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri

Noé Aguilar, Juan M. Osorio y Jesús Barría

Efecto del ácido oxálico sobre el control de la varroasis (*Varroa destructor*) en abejas melífera 91-108

Effect of oxalic acid on the control of varroasis (*Varroa destructor*) in honeybees
Charoline Gutiérrez, Roderick de la Cruz, Alex Ríos y Reynaldo Vargas

Comportamiento de dos variedades de cebolla (*Allium cepa*), en dos sistemas de producción y dos tipos de fertilización 109-123

Behavior of two onion varieties (*Allium cepa*) under two production systems and two types of fertilization
Alejo Rellán, Elizabeth Morales, Rubén Collantes, Javier Pitti y Luis Vinda

Rendimiento de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Megalodon' en condiciones de invernadero mediante la aplicación de bioestimulantes

Yield of Chili Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Megalodon' under greenhouse conditions by the application of biostimulants

Edgar Iván Barajas Real. Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, México.
ebarajas10@uacol.mx <http://orcid.org/0009-0003-5637-9697>

*Wilberth Chan Cupul. Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, México.
wchan@uacol.mx <http://orcid.org/0000-0001-8634-3618>

*Autor de Correspondencia: wchan@uacol.mx

Recibido: 06/11/2025

Aceptado: 27/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ja.v8n2.a10096>

RESUMEN. El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es una importante hortaliza para México; sin embargo, se desconoce mucho sobre la tecnología del cultivo bajo las condiciones del trópico seco del pacífico centro de México. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo y rendimiento de chile habanero híbrido 'Megalodon' mediante la aplicación de bioestimulantes en invernadero. Se evaluaron tres bioestimulantes: Universal® (extracto de algas unicelulares), Nutriplus® (aminoácidos), Stimplex® (extracto de *Ascophyllum nodosum*) y un testigo (sin bioestimulante). Las variables agronómicas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, índice de clorofila; las variables de rendimiento fueron: g planta⁻¹, kg planta⁻¹ y t ha⁻¹; las variables de calidad de fruta fueron: peso, largo y ancho de fruta. Se empleó un diseño completamente al azar, los datos se analizaron por análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$). Stimplex® y Universal® mejoraron la altura y diámetro de tallo, Nutriplus® mejoró el índice de clorofila. Ninguno de los bioestimulantes incrementó el rendimiento, el cual osciló un promedio de 11.93 t ha⁻¹. Sin embargo, Nutriplus® mejoró el peso (1.56 g) y ancho (2.91 mm) de fruta de *C. chinense*. En conclusión, el bioestimulante a base de aminoácidos (Nutriplus®) se recomienda utilizarlo en el cultivo de *C. chinense*, si se desea mejorar los parámetros de calidad de fruta (peso y ancho de fruto).

PALABRAS CLAVE: aminoácidos, *Ascophyllum nodosum*, crecimiento, calidad, Colima, macroalga.

ABSTRACT. The habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is an important vegetable for Mexico; however, its cultivation technology remains unknown under the conditions of the dry tropics of the central Pacific of Mexico. The objective of this research was to evaluate the development and yield of the hybrid habanero pepper 'Megalodon' by the application of biostimulants under greenhouse conditions. Three biostimulants were evaluated: Universal® (unicellular algae extract), Nutriplus® (amino acids), Stimplex® (*Ascophyllum nodosum* extract), and a control (without biostimulant). The agronomic variables were plant height, stem diameter, leaf area, and chlorophyll index; the yield variables were g plant⁻¹, kg plant⁻¹, and t ha⁻¹; the fruit quality variables were weight, length, and width of the fruit. A completely randomized design was used, and data were analyzed by analysis of variance and Tukey's means test ($p \leq 0.05$). Stimplex® and Universal® improved stem height and diameter, while Nutriplus® improved chlorophyll index. Neither did biostimulant increase yield, which averaged 11.93 t ha⁻¹. Nonetheless, Nutriplus® improved fruit weight (1.56 g) and width (2.91 mm) of *C. chinense*. In conclusion, the amino acid-based biostimulant (Nutriplus®) is recommended for use in the cultivation of *C. chinense* if it is desired to improve fruit quality parameters (fruit weight and width).

KEYWORDS: aminoacids, *Ascophyllum nodosum*, growth, quality, Colima, macroalgae.



INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es una hortaliza de suma importancia que se cultiva a campo abierto como en invernadero, apreciada por su sabor y picor, presenta varios colores del fruto en maduración (López-Puc et al., 2020). Se considera uno de los más picantes del mundo, contiene potasio, vitamina C y alto en niveles de *capsaicina*. Debido a sus distintas propiedades, el chile habanero es utilizado en rubros diferentes como la gastronomía, medicina e industria química. En cuanto a la superficie de producción en México, el estado de Sinaloa lidera (296 ha), seguido por Tabasco (248.75 ha), Yucatán (188.24 ha), Campeche (154.0 ha), Quintana Roo (94.93 ha), Nayarit (68.5 ha) y Colima (15 ha) (Llamas et al., 2024).

Mayormente la fertilización de *C. chinense* se realiza con fertilizantes químicos (Murillo-Cuevas et al., 2021), el mal uso de estos compuestos (aplicación excesiva) causa efectos adversos al suelo y al agua, como lo es la lixiviación y eutrofización. Asimismo, el uso excesivo de estos fertilizantes incrementa el costo de producción del cultivo (Díaz & Guzmán, 2004). Sin embargo, una alternativa para mejorar el rendimiento del cultivo de chile habanero, sin llegar a usar de manera excesiva los fertilizantes químicos, es el uso de bioestimulantes. Según Ertani et al. (2015) y Du-Jardin (2015) los bioestimulantes se definen como “sustancias, microorganismos y materiales, con excepción de nutrientes y plaguicidas, que cuando se aplican a plantas, semillas o sustratos de cultivo en formulaciones específicas, tienen la capacidad de influir positivamente en los procesos fisiológicos de las plantas al estimular el crecimiento, desarrollo y/o respuesta al estrés”.

Por lo tanto, una solución potencial al uso excesivo de los fertilizantes puede ser la aplicación de bioestimulantes, el cual podría generar un mayor rendimiento en la producción de *C. chinense* (Rodríguez-Hernández et al., 2020). Asimismo, estos tienen la función de regular los procesos metabólicos dentro de la planta, tales como: eficiencia en el uso de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, incremento en rasgos de calidad y/o disponibilidad de nutrientes confinados en el suelo o la rizosfera. Se ha demostrado que cuando las plantas reciben un manejo inadecuado de fertilizantes (aplicación excesiva), estas presentan estrés abiótico (salinidad del suelo) lo que limita la asimilación de nutrientes y, por lo tanto, es perjudicial para el rendimiento y la calidad del fruto (Du-Jardin, 2019).

En la actualidad existe una gran diversidad de bioestimulantes a base de: algas marinas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, minerales (no nutrientes) y fitohormonas, que pueden repercutir en el ciclo de vida de la planta, favoreciendo algunas etapas fenológicas a través de funciones diferentes. Con la aplicación de estos bioestimulantes se desea intervenir de manera benéfica el desarrollo, crecimiento vegetativo, floración, cuajado y/o el desarrollo de los frutos (Du-Jardin, 2019; Estrella-Maldonado et al., 2026). El estudio de bioestimulantes en *C. chinense* es escaso, a pesar de ello se ha demostrado que la incorporación de bioestimulantes a base de aminoácidos en *Capsicum annuum* genera un mayor efecto sobre el desarrollo y rendimiento en plantas (Botta et al., 2019; Paredes et al., 2023). Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el desarrollo y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense*) var. Megalodon a través de la aplicación de bioestimulantes bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODO

Sitio experimental

La presente investigación se llevó a cabo en un invernadero de capilla cenital en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima, ubicada en la autopista Colima-Manzanillo en el km 40, La Estación, Tecomán, Colima, México (18° 57' 10''E, 103° 53' 44'' O). El clima predominante es semiseco muy cálido con lluvias en verano y corresponde a la fórmula BS1(h') w(w) con una precipitación y temperatura media anual de 882.5 mm y 27.4 °C respectivamente. El suelo del área experimental fue franco-arenoso (17 % arcilla, 77 % arena y 6 % limo), con un pH de 6.88 y una CE de 2.5 mS cm⁻¹.

Material vegetal y producción de planta

Se utilizaron semillas de *C. chinense* var. Megalodon, de la empresa Lark Seed®. En charolas de unisel de 200 cavidades y rellenas de turba al 80 % de humedad (Peat Moss, BM8, Canadá) se sembró una semilla por cavidad. Las charolas se cubrieron con una bolsa negra para inducir la germinación durante un periodo de cinco días. Una vez que germinó la semilla, se les retiró la cubierta de plástico para trasladar las charolas a mesas dentro de un invernadero para su fertilización y riego; se emplearon plantas de 55 días de edad para el trasplante.

Trasplante

Se llevó a cabo dentro del invernadero, para ello, el suelo se humedeció (80 % capacidad de campo) con un día de anticipación al trasplante durante. Antes del trasplante, a las plantas se les aplicó por inmersión del cepellón una solución de: Uniform® 0.25 mL L⁻¹ (Syngenta®, azoxistrobin y metalaxil-M), Root Factor- AgroScience 1.5 mL L⁻¹ (Agroscience®, auxinas, citocininas y giberelinas) 12-43-12 Polyfeed 1.5 g L⁻¹ (Haifa®) e Imidacron 1.0 mL L⁻¹ (Arysta®, Imidacloprid). El marco de plantación fue de 18,315 plantas ha⁻¹ a una distancia de 1.8 entre surcos y 0.3 m entre plantas.

Sistema de riego y fertilización edáfica

Se utilizó un sistema de riego por cintilla (30 cm entre goteros y calibre 8 mil = 0.2 mm de grosor), se emplearon dos membranas para almacenamiento de agua con capacidad de 6,000 L cada uno, las cuales se conectaron a una bomba de ½ Hp. Se utilizó una manguera de dos pulgadas como línea principal con tres válvulas iniciales y cintilla de calibre 8,000. Se dieron tres riegos por día, con duración de 15-25 minutos cada uno, dependiendo de la etapa fenológica de la planta. Para la fertilización se empleó el plan descrito en la tabla 1, de acuerdo con la etapa fenológica de *C. chinense*, se aplicó una fertilización por 205 N – 170 P – 250 K en kg ha⁻¹, las fuentes fueron: nitrato de potasio (12-0-45, NKS®), fosfato monoamónico (12-61-00, MAP®) y nitrato de amonio (32-0-2, Nitam KS®). Como fuente de calcio y micronutrientes se empleó Turgen Ca (AgroScience®) y Full-Mix (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, GreenHow®).

**Tabla 1**

Fertilización base para el cultivo de chile habanero en suelo franco-arenoso en Tecomán, Colima, México.

Etapa	Fenología	Relación	No.	N	P	K
		N P K	Fertirriegos	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹
I	Adaptación 0 (+) 21 días	2 1 1	6	51.3	28.3	27.8
II	Desarrollo 21 (+) 30 días	3 1 2	12	76.9	28.3	55.6
III	Fructificación 51 + 30 días	2 3 2	10	51.3	85.0	55.6
IV	Producción 81 + 60	1 1 4	28	25.6	28.3	111.1
	Total	8 6 9	56	205.0	170.0	250.0

N=Nitrógeno, P=fósforo y K=potasio.

Manejo de plagas

Se realizó un monitoreo directo en las plantas dos veces por semana; se cuantificó la presencia en el envés de las hojas de ácaro rojo (*Tetranychus urticae* Koch.) y ácaro cristalino (*Polyphagotarsonemus latus* Banks). Cuando se detectó, se aplicó Tetrasan (etoxazole: 5-tert-butil-2 [2-(2, 6-difluorofenil)-4, 5-dihidro-1, 3-oxazol-4-il] fenetol, Grupo 10B, Valent®. México) a una dosis de 0.5-2.5 mL L⁻¹ e Inex A (Aril polietoxietanol, Grupo 28, Cosmocel®, Canadá) 1.0 mL L⁻¹. Además, se monitoreó la presencia de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.), Trips (*Trips* spp.) y picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano). Para ello, se aplicó Confidor (imidacloprid: 1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ilidenamina, Grupo 4A, Bayer®, Alemania), Centurion Ultra (acefate: OS-dimetil acetilfosforamidotoato, Grupo 1B, Versa®, México) y Toretto (sulfoxaflor: [metil(oxo){1-[6-(trifluorometil)-3-piridil]etil}-λ6 - sulfanilidene] cianamida, Grupo 4C, Corteva®, EE.UU.) cuando se encontró un umbral de acción de al menos tres adultos planta⁻¹ (Llamas et al., 2024).

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los bioestimulantes: T1) Universal® 0-0-1 (Algacell®, extracto de algas unicelulares), T2) Nutriplus® 2.5-0-0 (Algacell®, aminoácidos), T3) Stimplex® (Acadian Plant Health, extracto de algas) y Testigo (sin bioestimulante), cada tratamiento contó con 12 repeticiones cada uno. Se aplicó una dosis de 2.5 mL L⁻¹, cuyas aplicaciones se realizaron a los 7, 14, 45 y 60 días después del trasplante vía foliar, empleando un aspersor manual (Guarany®, Brasil) con boquilla tipo cono a una presión de 75 psi (5.2 kg-force-cm²). El producto Universal® contiene 1.0 % de K y 20 % de materia orgánica procedente del extracto de cianobacterias y microalgas, Nutriplus® contiene aminoácidos libres (20.0 %), N (2.5 %) y materia orgánica procedente del extracto de cianobacterias y microalgas, y Stimplex® contiene K (39.0 g/L), carbono orgánico oxidbale total (45.1 g/L) y extracto de *Ascophyllum nodosum* (sin especificar).

Variables agronómicas

Se evaluaron de importancia agronómica como la altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, e índice de clorofila. La altura se midió desde el cuello del tallo hasta el meristemo apical utilizando un estadal o flexómetro (Truper FCN-8M). Para la medición del diámetro de la planta, se tomó el grosor del tallo a cinco cm de la base, considerando la superficie del suelo, y se utilizó un vernier digital (RexQualis®). El índice de clorofila se midió con un medidor de clorofila (FieldScout CM 1000 (EE. UU.), tomando las últimas hojas de la planta entre las 11:00 am y 12:00 pm, respecto al área foliar, se utilizó una regla para medir tres hojas por planta del mismo estrato, midiendo largo y ancho de cada hoja.



Rendimiento

Se cosecharon los frutos a partir de los 80 días después del trasplante (ddt). Se contabilizó el número de frutos por planta en cada corte (frutos planta⁻¹) y se pesó el total de frutos obtenidos por planta (kg planta⁻¹) en cada cosecha. El rendimiento por hectárea se calculó sumando los pesos obtenidos por planta (kg ha⁻¹) y se multiplicó por la densidad de plantación por hectárea. Para el experimento solo se contemplaron las primeras ocho cosechas (una por semana).

Tamaño de fruto Se tomaron 100 frutos por tratamiento, incluyendo el testigo. Se registró el peso del fruto (g) utilizando una balanza digital (Truper, Base5EA), y el largo (cm) y ancho (cm) del fruto se midieron con un vernier digital (RexQualis).

Diseño experimental y análisis de datos

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con un factor (bioestimulante). Se evaluaron 12 plantas por tratamiento, considerando una planta como una repetición. Los datos de las variables de respuesta se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias con Tukey con un valor de $p < 0.05$. Los análisis se realizaron con Statgraphics® (Statgraphics, 1969) y Prism® para Windows.

RESULTADOS

Altura de planta

En los muestreos a 22, 29, 64, 72 y 79 días después del trasplante (ddt) se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la altura de la planta para los tratamientos Universal y Nutriplus, los cuales promovieron un mayor crecimiento en comparación con el testigo. Universal promovió un aumento de entre 7.3 (22 ddt) y 22.3 cm (79 ddt) en la altura de planta; mientras que Nutriplus incrementó entre 4.4 (22 ddt) y 26.3 cm (79 ddt) la altura en *C. chinense* (Tabla 2).

Tabla 2

Altura de plantas (cm) de Capsicum chinense var. Megalodon con diferentes aplicaciones de bioestimulantes.

DDT	Tratamientos				F	P-valor
	Stimplex®	Universal®	Nutriplus®	Testigo		
14	34.16±0.68	35.25±0.98	34.25±0.85	33.0±0.80	1.22	0.3149
22	43.41±0.66 ^a	46.0±0.94 ^a	43.12±0.85 ^a	38.70±1.71 ^b	7.38	0.0004
29	57.41±1.49 ^{ab}	60.58±1.88 ^a	59.58±1.39 ^a	52.37±2.48 ^b	3.86	0.0155
36	72.41±2.50	74.66±1.90	76.33±2.76	69.08±2.77	1.56	0.2117
43	81.54±2.60	84.16±2.03	86.87±2.32	79.5±2.84	1.68	0.1864
50	102.41±3.21	106.75±2.27	107.75±3.13	97.08±4.10	2.26	0.0942
57	116.16±3.20	116.08±3.23	120.79±3.32	109.5±3.91	1.84	0.1531
64	122.58±2.55 ^{ab}	123.58±3.06 ^{ab}	126.5±3.44 ^a	113.75±3.95 ^b	2.78	0.0519
72	126.0±2.79 ^{ab}	128.25±3.32 ^{ab}	132.08±3.14 ^a	108.16±10.55 ^b	3.22	0.0318
79	131.41±3.14 ^{ab}	133.91±3.43 ^{ab}	137.91±3.44 ^a	111.58±10.91 ^b	3.60	0.0206

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). DDT=días después del trasplante.



Diámetro de tallo

En la mayoría de los muestreos (14, 22, 29, 36, 50, 64 y 79 ddt) los bioestimulantes incrementaron el diámetro de tallo de *C. chinense*. El Stimplex® fue el tratamiento que permitió tallos más gruesos en comparación con el testigo con incrementos entre 0.98 (14 ddt) y 2.51 mm (79 ddt) respecto al testigo (Tabla 3).

Tabla 3

Efecto de aplicación de bioestimulantes en el crecimiento del diámetro del tallo (mm) en Capsicum chinense var. Megalodon.

DDT	Tratamientos				F	P-valor
	Stimplex®	Universal®	Nutriplus®	Testigo		
14	5.48±0.16 ^a	5.27±0.19 ^a	5.45±0.17 ^a	4.50±0.16 ^b	7.19	0.0005
22	6.67±0.13 ^a	7.05±0.15 ^a	6.81±0.18 ^a	5.932±0.23 ^b	7.37	0.0004
29	8.60±0.18 ^a	8.45±0.22 ^a	8.23±0.21 ^a	7.23±0.23 ^b	8.01	0.0002
36	10.73±0.17 ^a	10.63±0.34 ^a	10.20±0.33 ^a	9.05±0.38 ^b	6.07	0.0015
43	12.80±0.37	12.90±0.47	13.10±0.43	11.64±0.41	2.34	0.865
50	15.00±0.46 ^a	14.42±0.48 ^{ab}	14.67±0.42 ^a	12.79±0.48 ^b	4.41	0.0085
57	16.31±0.43	15.11±0.53	15.33±0.41	14.47±0.59	2.35	0.0825
64	16.69±0.421 ^a	15.40±0.55 ^{ab}	15.91±0.44 ^{ab}	14.77±0.57 ^b	2.61	0.00635
72	17.04±0.37	15.651±0.54	16.16±0.47	15.16±0.59	2.55	0.0680
79	107.40±0.39 ^a	15.83±0.53 ^{ab}	16.80±0.59 ^{ab}	14.89±0.64 ^b	3.99	0.0134

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). DDT=días después del trasplante.

Área foliar

La tabla 4 muestra los valores de área foliar de *C. chinense* con tratamientos de diferentes bioestimulantes, los cuales no mostraron diferencia estadística en ninguna de las evaluaciones realizadas desde los 14 hasta los 79 ddt.

Tabla 4

Desarrollo del área foliar con la aplicación de diferentes tipos de bioestimulantes en Capsicum chinense var. Megalodon.

DDT	Tratamientos				F	P-valor
	Stimplex®	Universal®	Nutriplus®	Testigo		
14	56.32± 3.20	55.37±3.89	59.37±3.93	59.07±5.25	0.23	0.8745
22	96.51±9.17	90.40±4.12	80.13±5.14	91.70±8.62	0.94	0.4290
29	104.19±5.85	94.57±5.35	96.02±6.05	97.87±6.04	0.53	0.6657
36	94.87±5.90	89.04±5.90	90.05±3.80	88.44±3.02	0.37	0.7764
43	100.41±20.62	73.81±4.22	70.375±3.73	58.52±3.04	2.68	0.0583
50	95.00±6.00	87.90±4.42	89.02±4.00	89.16±3.43	0.50	0.6862
57	86.30±4.24	79.07±2.70	86.22±5.00	85.12±2.40	0.85	0.4748
64	65.40±4.02	61.95±3.60	60.45±3.91	55.54±3.70	1.16	0.3376
72	80.00±2.22	100.41±9.33	86.90±5.09	91.06±2.53	2.35	0.0853
79	94.50±8.80	97.80±5.22	85.60±3.06	88.44±3.02	1.00	0.4013

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). DDT=días después del trasplante.

Índice de clorofila (IC)

La tabla 5 describe los promedios de índice de clorofila en plantas de *C. chinense* var. Megalodon por efecto de la aplicación de bioestimulantes. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los días 14 y 22 ddt. Sin embargo, solo en el muestreo a los 22 ddt se encontró que Nutriplus® mejoró el IC en un 8 %.

Tabla 5

Índice de clorofila de *Capsicum chinense* var. Megalodon con aplicación de bioestimulantes.

DDT	Tratamientos				F	P-valor
	Stimplex®	Universal®	Nutriplus®	Testigo		
14	622.67±22.91 ^b	704.91±3.81 ^a	727.60±8.50 ^a	738.17±6.081 ^a	16.87	0.0001
22	766.83±12.40 ^{ab}	716.08±26.80 ^b	776.08±9.95 ^a	718.08±20.63 ^b	2.87	0.0470
29	680.41±23.85	702.75±23.44	710.58±23.85	646.08±2.70	1.97	0.1323
36	548.17±21.10	575.59±13.44	556.41±9.90	549.17±7.60	0.83	0.4864
43	645.41±8.27	632.16±7.50	634.25±14.33	641.75±11.34	0.34	0.7973
50	586.33±14.53	571.91±10.60	575.67±4.40	583.5±3.00	0.51	0.6767
57	578.5±12.12	598.67±9.12	593.08±11.00	608.25±11.77	1.27	0.2980
64	670.25±11.91	649.17±11.00	662.25±10.08	644.58±10.00	1.20	0.3208
72	637.41± 8.80	643.91± 5.90	654.70± 4.14	641.20± 3.06	1.59	0.2061
79	620.67± 5.70	628.91± 5.91	623.17± 5.81	626.59± 5.80	0.40	0.7569

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). DDT = días después del trasplante.

Rendimiento

La tabla 6 describe el rendimiento de *C. chinense* var. Megalodon por efecto de la aplicación de bioestimulantes. Ninguno de los bioestimulantes incrementó significativamente el rendimiento de *C. chinense* en las ocho cosechas realizadas. En promedio las plantas presentaron 55, 14, 0.64 y 11.93 frutos planta⁻¹, kg planta⁻¹ y t ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 6

Rendimiento final de plantas de *Capsicum chinense* var. Megalodon con diferentes aplicaciones de bioestimulantes.

Tratamiento	Frutos planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	t ha ⁻¹
Stimplex®	53.41±3.52	0.60±0.03	11.03±0.70
Universal®	57.92±3.47	0.67±0.04	12.40±0.78
Nutriplus®	56.83±4.02	0.70±0.04	12.96±0.80
Testigo	52.41±3.60	0.61±0.04	11.33±0.85
F=	0.52	1.30	1.30
P=	0.6705	0.2857	0.2855

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey ($p < 0.05$).

Calidad de frutos

Nutriplus® mejoró el peso y ancho de fruta de *C. chinense*. Los frutos incrementaron 1.56 g de peso y 2.91 mm de ancho cuando fueron producidos aplicando Nutriplus® en comparación con el testigo. Para la variable largo de fruta no se encontró diferencia significativa (Tabla 7).



Tabla 7

Calidad de fruto alcanzado en plantas de *Capsicum chinense* var. *Megalodon* con diferentes aplicaciones de bioestimulantes.

Tratamiento	Peso (g fruto ⁻¹)	Largo (mm)	Ancho (mm)
Stimplex®	12.37±0.41 ^{ab}	45.89±0.73	34.42±0.51 ^{ab}
Universal®	12.85±0.38 ^{ab}	47.36±0.64	35.40±0.49 ^a
Nutriplus®	13.37±0.39 ^a	47.28±0.70	35.68±0.44 ^a
Testigo	11.81±0.43 ^b	45.96±0.86	32.77±0.42 ^b
F=	2.67	1.18	7.84
P=	0.0479	0.3157	0.0001

Medias (± error estándar) con diferente literal son estadísticamente diferentes entre sí, de acuerdo con la comparación de medias Tukey (p < 0.05).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se encontró que los bioestimulantes mejoraron las características agronómicas de *C. chinense* var. *Megalodon* en condiciones de invernadero en el trópico seco. Sin embargo, la aplicación de los bioestimulantes no mejoraron significativamente el rendimiento de *C. chinense*, pero sí incrementaron el peso y largo de fruta. Con relación a la altura de planta, se determinó que Nutriplus®, producto a base de aminoácidos, promovió un crecimiento significativamente superior a partir de los 64 días después del trasplante en comparación con el testigo. Esto se puede atribuir a que los aminoácidos funcionan como activadores metabólicos que benefician la asimilación de nutrientes en plantas de *C. chinense*, ya que, al tener una mayor actividad metabólica la planta puede asimilar mejor y en mayor cantidad los nutrientes disponibles (Trovato et al., 2021). Este resultado concuerda con lo reportado por Paredes et al. (2023), quienes señalaron que los bioestimulantes a base de aminoácidos aumentaron significativamente la altura de *Capsicum annuum* var. Jalapeño, lo que sugiere que estos compuestos influyen positivamente en la elongación celular y el crecimiento apical en la planta.

Con respecto al diámetro del tallo, se demostró un mayor aumento entre los tratamientos, resaltando Stimplex®, producto a base de *Ascophyllum nodosum*, macroalga que actúa como un desestresante natural para las plantas y mejorador del desarrollo vegetativo. Así mismo, por la cantidad de auxinas que posee esta macroalga, estimula la producción de ramas laterales y la distribución de follaje. Resultados similares han sido reportados por Pohl et al. (2019), quienes informaron que la aplicación de extractos de algas en *C. annuum* provocaron el aumento en el diámetro del tallo, peso de las hojas y área foliar. Sin embargo, en este estudio, el desarrollo del área foliar no presentó diferencias estadísticamente significativas; solo se obtuvieron medias superiores en los tratamientos, resaltando Stimplex® sobre los otros bioestimulantes. Esto puede deberse potencialmente a que la acción de auxinas en la planta consiste en regular el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Capsicum* spp. al estimular la división y elongación celular e impulsar el desarrollo del tejido vascular (Mao et al., 2023). Resultados similares fueron reportados por Pohl et al. (2019), quienes mencionan que la aplicación de extractos de algas mejora las condiciones del área foliar en las plantas de la familia *Solanaceae*.

En relación con el índice de clorofila, aunque en las primeras mediciones se observaron algunas diferencias estadísticamente significativas a los 14 y 22 ddt, no se mantuvieron esas medidas



durante el experimento, lo cual indica que los bioestimulantes no tuvieron un efecto sostenido sobre esta variable. Esto coincide parcialmente con lo encontrado por Jiménez-Morejón et al. (2023), quienes mencionaron que los efectos fisiológicos de los bioestimulantes pueden ser más evidentes en condiciones de estrés o deficiencia nutricional, condiciones que no se presentaron en este estudio.

En el rendimiento, aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas, mostró un ligero incremento con los tratamientos Nutriplus® (12.96 t ha⁻¹) y Universal® (12.40 t ha⁻¹) en comparación con el Testigo (11.33 t ha⁻¹). Sin embargo, estos resultados difieren de lo reportado con otros bioestimulantes a base de extractos de *Ecklonia maxima* (Kelpak®, 29.8 t ha⁻¹) y *Streptomyces* spp. (Castell®, 32.36 t ha⁻¹), los cuales mostraron incrementos del 35.4 y 47.1 %, respectivamente, en el rendimiento de *C. chinense* (Testigo = 22.0 t ha⁻¹, Chan-Cupul et al., 2025). Asimismo, en granos básicos Barreto-Macias et al. (2023) en arroz (*Oryza sativa* L.) y por Villanueva-Quispe (2024) en maíz (*Zea mays* L.), han reportado que los bioestimulantes aportaron beneficios al rendimiento de ambos cultivos, aunque la respuesta depende de las condiciones de manejo de cada uno.

Finalmente, en cuanto a la calidad del fruto, Nutriplus® mejoró significativamente el peso y el ancho del fruto, lo cual indica un efecto positivo en la acumulación de biomasa y formación de los frutos. Estos resultados concuerdan con Murillo-Cuevas et al. (2025), quienes reportaron que Genifix®, bioestimulante a microbiano a base de diversas cepas de *Bacillus* spp., incrementó las variables de calidad de fruto en *C. annuum*; los incrementos fueron del 23.8, 18.2 y 11.9 % para el peso, diámetro polar y ecuatorial de fruto, respectivamente. Estos hallazgos refuerzan lo planteado por Botta et al. (2019), quienes mencionan que los aminoácidos pueden estimular el metabolismo de las plantas, favoreciendo la formación de frutos con mejores características en cuanto a rendimiento y calidad. Asimismo, la aplicación de bioestimulantes, incluyendo los que contienen aminoácidos y microorganismos, por pulverizaciones foliares generalmente pueden mejorar el crecimiento vegetativo, rendimiento y mejor calidad del fruto por encima de un testigo (Sarojnee et al., 2009); también, los bioestimulantes pueden incrementar la tolerancia de las hortalizas al estrés abiótico (hídrico, sales y metales pesados) (Aly et al., 2019). Como recomendación experimental se aconseja utilizar a los bioestimulantes dentro de un manejo integrado del cultivo de *C. chinense*, puesto que, si mejoran algunos parámetros agronómicos y calidad de fruta, pero no el rendimiento bajo las condiciones en las que se realizó el estudio.

CONCLUSIONES

Los bioestimulantes Nutriplus® y Stimplex® estimularon el crecimiento vegetal (altura y diámetro del tallo) de *Capsicum chinense* var. Megalodon en ciertos muestreos después del trasplante. Ninguno de los bioestimulantes mejoró el rendimiento de *C. chinense*. Sin embargo, Nutriplus® mejoró el peso (13.20 %) y ancho (8.88 %) de los frutos de *C. chinense*.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los estudiantes de agronomía Omar Gómez y Omar Ávalos por el apoyo brindado en las actividades agronómicas que requirió el cultivo en invernadero.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Aly, A., Eliwa, N., & El Megid, M. H. A. (2019). Improvement of growth, productivity and some chemical properties of hot pepper by foliar application of amino acids and yeast extract. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1), 831–839. <https://doi.org/10.5219/1160>
- Barreto-Macías, A., Jiménez, R., Facuy, J., & Barreto, K. (2023). Efecto de bioestimulantes orgánicos como complemento de la fertilización edáfica en (*Oryza Sativa* L.), variedad SFL-11 zona Santa Lucía – Guayas. *MQR Investigar*, 7(2), 358-380. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.358-380>
- Botta, A., Marín, C., Borda, E., Sierras, N., de la Mata, J. F., & Pascual, A. A. (2019). Bioestimulantes orgánicos: un enfoque a su caracterización y manejo dentro de una estrategia agrícola integrada, sostenible y competitiva. *Phytoma España: La Revista Profesional de Sanidad Vegetal*, 3(13), 45-49.
- Chan-Cupul, W., Novoa-Lizaola, B. Y., Sánchez-Rangel, J. C., Ail-Catzim, C. E., & Ruiz-Sánchez, E. (2025). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* en invernadero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(3), e4252. <https://doi.org/10.19136/era.a12n3.4252>
- Díaz, E., & Guzmán, M. (2004). Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación. *Medios, Agua y Fertilizantes*. Manual para el uso de los fertilizantes en fertirrigación. Departamento de Producción Agrícola CUCBA. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. México. 191 p.
- Du-Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Du-Jardin, P. (2019). ¿Cómo actúan los bioestimulantes para plantas?. *Phytoma España: La Revista Profesional de Sanidad Vegetal*, 31(3), 18-19.



- Ertani, A., Sambo, P., Nicoletto, C., Santagata, S., Schiavon, M., & Nardi, S. (2015). The use of organic biostimulants in hot pepper plants to help low input sustainable agriculture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2(11), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0039-z>
- Estrella-Maldonado, H., Hernández-García, J., Santillán-Mendoza, R., Flores de la Rosa, F. R., Matilde-Hernández, C., Chan-León, A., & Adame-García, J. (2026). Impacto de la fertilización con bioestimulantes microbianos en la morfología, color y acumulación de carotenoides en frutos de chile habanero (*Capsicum chinense*) cultivados en macrotúnel. *Biotecnia*, 28, e2764. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v28.2764>
- Jiménez-Morejón, E., Santana Aragone, D., Cartagena Faytong, M., Rivera Reyes, R., & Bustamante Intriago, E. (2023). Bioestimulantes orgánicos en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Conocimiento Global*, 8(2), 1-17.
- Llamas, R. D. D., Chan, C. W., García, L. F. A., & Hernández, O. H. A. (2024). Rendimiento de dos híbridos de *Capsicum chinense* Jacq. en bolsas de cultivo con fibra de coco. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 28, 43-54. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.24.28.04>
- López-Puc, G., Rodríguez-Rodríguez J. D., Ramírez-Sucre M. O., & Rodríguez-Buenfil I. M. (2020). Manejo agronómico y los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero. En: *Metabolómica y cultivo del chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) de la Península de Yucatán*. CIATEJ. México. pp: 4-23.
- Mao, L., Tian, W., Shen, Y., Huang, Y., Lu, J., Zhang, X., Sun, Y., Dai, Y., Zhou, Y., Yang, B., Ou, L., Zou, X. & Liu, Z. (2023). Auxin-related MYB (CaSRM1) is involved in leaf shape development and reproductive growth in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 322, 112383. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112383>.
- Murillo-Cuevas, F. D., Adame-García, J., Cabrera-Mireles, H., & Fernández-Viveros, J. A. (2025). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) producidos en macrotúnel. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 11:e011015. <https://doi.org/10.30973/aap/2025.10.0111015>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera, M., Adame, J., Vásquez, A., Martínez, A., & Moctezuma, R. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1473-1481. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2900>
- Paredes, I. Diadrix, N. Velasco, V., & Vinicio, E. (2023). Evaluación del efecto de cuatro bioestimulantes orgánicos sobre el crecimiento y producción del cultivo de ají jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*). Tesis Licenciatura en Agronomía, Universidad Técnica Cotopaxi. La Maná, Ecuador. 78 p. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11465>
- Pohl, A., Kalisz, A., & Sekara, A. (2019). Seaweed extracts' multifactorial action: influence on physiological and biochemical status of Solanaceae plants. *Acta Agrobotanica*, 72(1), 1758. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v14i1.4299>



- Rodríguez-Hernández, M. G., Gallegos, M. Á., Rodríguez, L., Fortis, M., Luna, J. G., & González-Salas, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 313-321. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>.
- Sarojnee, D.Y., Navindra, B., & Chandrabose, S.R. (2009). Effect of naturally occurring amino acid stimulants on the growth and yield of hot peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 5, 414-424
- Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S. & Amir, R. (2021). Editorial: Amino acids in Plants: Regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science* 12, 772810. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>
- Villanueva-Quispe, C. (2024). Efecto de bioestimulantes orgánicos en el rendimiento y calidad de maíz choclero (*Zea mays* L.) en condiciones de Huariaca Pasco. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Alcides Carrion, Pasco, Perú. 99 p. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3984>



Desenvolvimento do milho e as perdas de grãos com diferentes armações de coleta em função da velocidade da colhedora

Desarrollo del maíz y pérdidas de granos con diferentes marcos de recolección en función de la velocidad de la cosechadora

Lucas de Oliveira Donaire. Universidade Federal da Grande Dourados. Brasil.

lucas.donaire@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0003-4777-0785>

*Jorge Wilson Cortez. Universidade Federal da Grande Dourados. Brasil.

jorgecortez@ufgd.edu.br

<https://orcid.org/0000-0003-1120-719X>

Dario Alexandre Schwambach. Universidade Federal da Grande Dourados. Brasil.

dario_schwambach@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0001-5738-7902>

Amanda de Oliveira Ribeiro. Universidade Federal da Grande Dourados. Brasil.

amanda-oliveiraribeiro@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0002-6100-3972>

Nayra Fernandes Agüero. Universidade Federal da Grande Dourados. Brasil.

nayra_fa@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4205-7606>

*Autor de Correspondencia: jorgecortez@ufgd.edu.br

Recibido: 06/11/2025

Aceptado: 20/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10099>

RESUMO. Condições similares de semeadura podem resultar em diferentes condições de desenvolvimento e produtividade das culturas, como também de perdas da colheita. Assim, objetivou-se avaliar o estande de plantas e distribuição longitudinal, espigas (comprimento, diâmetro e número) e a produtividade milho juntamente com as perdas de grãos com a colhedora deslocando à $V4 = 4.0 \text{ km h}^{-1}$, $V5 = 5.0 \text{ km h}^{-1}$, $V6 = 6.0 \text{ km h}^{-1}$, $V7 = 7.0 \text{ km h}^{-1}$, $V8 = 8.0 \text{ km h}^{-1}$, em duas fazendas, e utilizando na amostragem armações de coleta de 1, 2 e 3 m². Verificou-se que mesmo em condições similares de semeadura o fator local e clima afetou o estande de plantas, comprimento da espiga, diâmetro da espiga e a produtividade de grãos de milho. A velocidade de deslocamento da colhedora de milho afetou na distribuição da palha sobre o solo como a porcentagem de cobertura vegetal, mas não alteraram as perdas de grãos na colheita. Os níveis de perdas de grãos podem variar de um local para outro, mesmo utilizando a colhedora nas mesmas regulagens. Todas as armações de coleta testadas, de 1, 2 e 3 m², podem ser utilizados para avaliação das perdas. Considerando a agilidade no processo de determinação das perdas de grãos recomenda-se a armação de 1 m².

PALAVRAS CHAVE: áreas de coleta, colheita mecanizada, mecanização agrícola.

RESUMEN. Condiciones similares de siembra pueden resultar en diferentes condiciones de desarrollo y productividad de los cultivos, así como en distintas pérdidas durante la cosecha. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la densidad de plantas y la distribución longitudinal, las mazorcas —longitud, diámetro y número— y la productividad del maíz, junto con las pérdidas de granos, con la cosechadora desplazándose a $V4 = 4.0 \text{ km h}^{-1}$, $V5 = 5.0 \text{ km h}^{-1}$, $V6 = 6.0 \text{ km h}^{-1}$, $V7 = 7.0 \text{ km h}^{-1}$ y $V8 = 8.0 \text{ km h}^{-1}$, en dos fincas, utilizando marcos de muestreo de 1, 2 y 3 m² para la recolección de datos. Se verificó que, aun bajo condiciones similares de siembra, los factores relacionados con el sitio y el clima afectaron la densidad de plantas, la longitud de la mazorca, el diámetro de la mazorca y la productividad de granos de maíz. La velocidad de desplazamiento de la cosechadora de maíz afectó la distribución de la paja sobre el suelo, así como el porcentaje de cobertura vegetal, pero no modificó las pérdidas de granos durante la cosecha. Los niveles de pérdidas de granos pueden variar de un sitio a otro, incluso utilizando la cosechadora con las mismas regulaciones. Todos los marcos de muestreo evaluados, de 1, 2 y 3 m², pueden utilizarse para la evaluación de las pérdidas. Considerando la agilidad en el proceso de determinación de las pérdidas de granos, se recomienda el uso del marco de 1 m².

PALABRAS CLAVE: cosecha mecanizada, marcos de muestreo, mecanización agrícola.



INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é um cereal produzido em grande parte do mundo, tendo os principais produtores os EUA, Brasil, China e Argentina. Os estados do Mato Grosso e Paraná, seguidos de Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais são os principais produtores de milho (Artuzo et al., 2019).

A demanda crescente do produto impulsionou a mecanização do sistema produtivo do milho, principalmente a operação de colheita. Essa etapa é considerada um dos momentos mais importantes do processo de produção da cultura, que consiste na retirada do produto do campo por meio do uso de máquinas de maneira ágil, com máxima rentabilidade e o mínimo de perdas possível (Neves et al., 2020).

Apesar de todo desenvolvimento tecnológico da colhedora e seus componentes internos, a operação de colheita mecanizada do milho envolve perdas, dentre as quais pode-se citar: perda da espiga empalhada; perda de grãos atrás da máquina; perda de grãos nos sabugos; perda de grãos na frente da plataforma de colheita (Bieniek et al., 2017). Após o processo de trilha dos grãos ocorre a fragmentação e distribuição do palhiço/palha sobre o solo, pelo picador de palhas e aletas direcionadoras, posicionadas na traseira da colhedora promovendo a cobertura vegetal do solo.

A velocidade de deslocamento é um fator importante que influencia diretamente nas perdas de grãos após a passagem da colhedora (Ormond et al., 2016). De acordo com Camolese et al. (2015), a variação da velocidade afeta a taxa de alimentação e pode sobrecarregar os mecanismos internos, dependendo da regulagem no momento da operação agrícola. Além disso, a maior velocidade de colheita resulta em menores danos mecânicos (Paixão et al., 2017), pois o incremento de velocidade aumenta a taxa de abastecimento, diminuindo o impacto direto das sementes nas partes metálicas do sistema de trilha além de preencher melhor o espaço.

Sendo assim, é necessário identificar e quantificar as perdas de grãos de milho após a passagem colhedora. Para avaliar essas perdas, existem diversas variações na metodologia empregada, porém as principais modificações encontradas relacionam-se ao tamanho da área da armação utilizada para quantificar as perdas, podendo variar de 1 m² (Mesquita et al., 2001), 2 m² (Mesquita & Gaudêncio, 1982) e 3 m² (Câmara et al., 2007), com comprimento igual ao da plataforma (Loureiro Junior et al., 2014). Câmara et al. (2007), afirmam que a área das armações interfere na quantificação das perdas totais.

Diferentes áreas de coleta das armações podem resultar em distintas estimativas de perdas de grãos durante a colheita. Da mesma forma, o fator local e o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora podem ocasionar variações nas perdas totais. Assim, pressupõe-se que o aumento da velocidade de colheita e a utilização de diferentes áreas de armação de coleta contribuam para maior variação nas perdas de grãos. Além disso, as condições específicas de cada área podem interferir nos componentes de produção do milho, influenciando as condições operacionais da colheita e, conseqüentemente, as perdas observadas.



Portanto, objetivou-se avaliar o estande de plantas e distribuição longitudinal, espigas (comprimento, diâmetro e número) e a produtividade milho juntamente com as perdas de grãos com a colhedora deslocando à $V4 = 4.0 \text{ km h}^{-1}$, $V5 = 5.0 \text{ km h}^{-1}$, $V6 = 6.0 \text{ km h}^{-1}$, $V7 = 7.0 \text{ km h}^{-1}$, $V8 = 8.0 \text{ km h}^{-1}$, em duas fazendas, e utilizando na amostragem armações de coleta de 1, 2 e 3 m^2 .

MATERIAL E MÉTODOS

Foi selecionada duas áreas de produção com características de solo próximas (Tabela 1) em que foi feito a semeadura e posteriormente realizada a colheita mecanizada do milho segunda safra no ano de 2019. A primeira área fica localizada no município de Aral Moreira - MS (A1), coordenadas $22^{\circ}55'S$ e $55^{\circ}37' O$, altitude média de 609 m. A segunda área fica localizada no município de Ponta Porã - MS (A2) com coordenadas $21^{\circ}24' S$ e $55^{\circ}34' O$, altitude média de 384 m. O clima da região é o Cwa e topografia plana. O solo em ambas as localidades foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, sendo muito argiloso em Aral Moreira - MS (A1) e argiloso em Ponta Porã - MS (A2). Nos últimos 20 anos as duas áreas vêm sendo cultivado com o sistema plantio direto, com sucessão das culturas de soja no verão e milho segunda safra no inverno.

Tabela 1

Teores médios dos atributos químicos na profundidade de 0.00 – 0.20 m para as duas localidades.

Área	pH	MO g dm^{-3}	P mg dm^{-3}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	CTC	V	Silte	Areia	Argila
				----- cmol _c dm^{-3} -----								
A1	5.75	20.40	9.06	5.04	2.21	0.28	4.11	11.64	64.04	8.36	28.90	62.12
A2	5.40	38.84	10.94	5.58	1.17	0.18	2.90	6.94	70.74	10.68	46.65	46.25

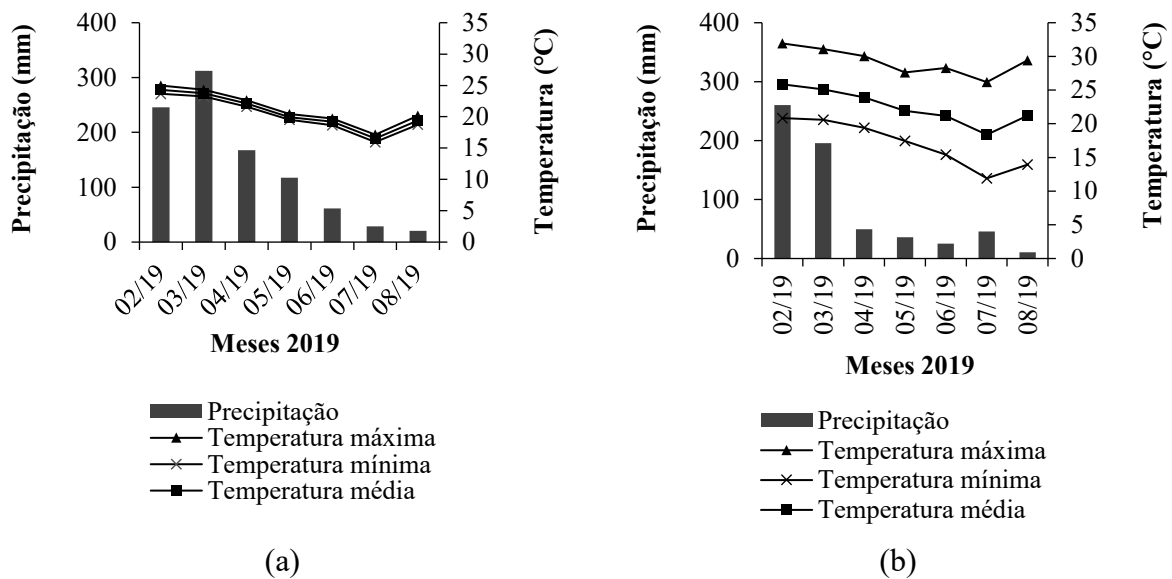
Capacidade de troca de cátions a pH 7.0 (CTC), saturação por bases (V). A1 – Aral Moreira; A2 – Ponta Porã.

Os dados meteorológicos durante a condução do experimento em Aral Moreira – A1 (Figura 1a) são do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) e para a região de Ponta Porã – A2 (Figura 1b), os dados foram adquiridos por meio da estação meteorológica da Embrapa Oeste. Durante o ciclo de desenvolvimento do milho o acumulado de precipitação para a área Aral Moreira - MS (A1) e Ponta Porã - MS (A2) foi de 933 e 363 mm, respectivamente.



Figura 1

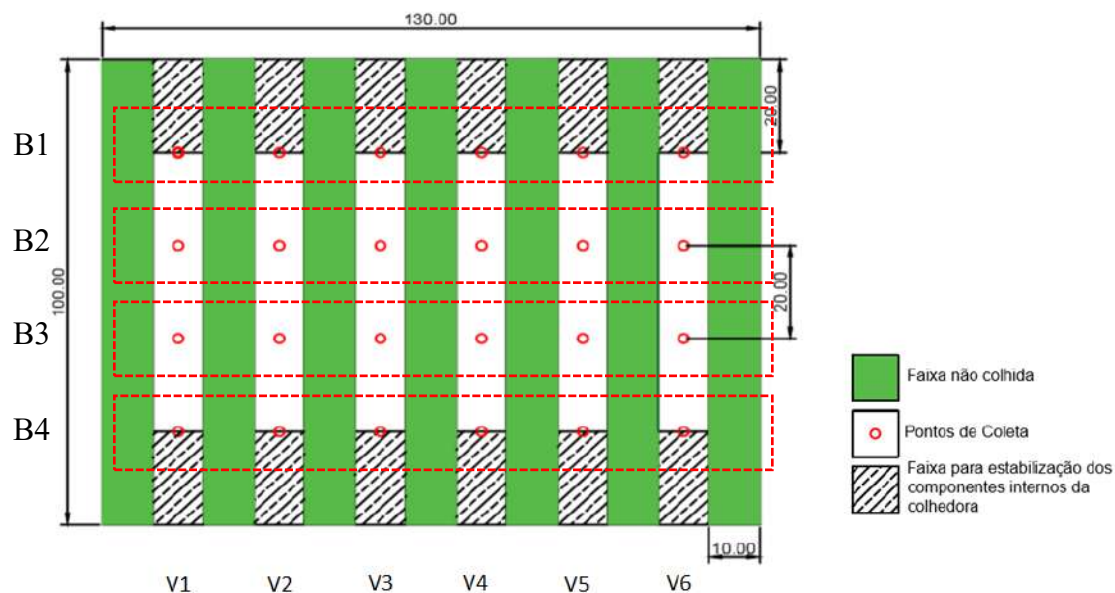
Dados meteorológicos mensais para o município de Aral Moreira (a) e Ponta Porã (b) no estado do Mato Grosso do Sul.



O trabalho foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial com quatro repetições com cinco velocidades de deslocamento da colhedora ($V4 = 4.0 \text{ km h}^{-1}$, $V5 = 5.0 \text{ km h}^{-1}$, $V6 = 6.0 \text{ km h}^{-1}$, $V7 = 7.0 \text{ km h}^{-1}$, $V8 = 8.0 \text{ km h}^{-1}$) aplicado as duas localidades (Figura 2).

Figura 2

Esquema representativo da montagem da área experimental aplicado as duas localidades com suas dimensões em metro (m), com os pontos de coleta e os blocos (B1, B2, B3 e B4).



A operação de colheita foi realizada em faixas alternadas com uma faixa não colhida, buscando evitar interferência entre os tratamentos, totalizando uma área de 0.9 ha (100 m comprimento e 90



m largura). Foram dispensados 20 m das extremidades de cada faixa para a estabilização dos componentes internos da máquina e cada parcela teve comprimento de 20 m tendo um ponto central de coleta.

Foram utilizados diversos equipamentos agrícolas para a condução da cultura sendo a semeadora mecânica de disco horizontal de 24 linhas espaçadas de 0.50 m acoplada a um trator de 10 kW a 2,200 rpm, com velocidade de semeadura de aproximadamente a 6 km h⁻¹. Na semeadura utilizou-se o mesmo híbrido nas duas áreas (Formula Viptera2) com densidade de semeadura de 3 sementes por metro recebendo 260 kg ha⁻¹ de adubo 16-16-16 (N-P-K), sendo a semeadura nas datas de 17 de fevereiro e 01 de março de 2019 para as áreas Aral Moreira - MS (A1) e Ponta Porã - MS (A2), respectivamente. As aplicações de herbicida, inseticida e fungicida seguiram as recomendações agrônômicas conforme a necessidade da área. Na cultura de segunda safra não se faz aplicação de nitrogênio em cobertura, esperando que a planta utilize o residual da cultura anterior.

A colheita do milho foi realizada por colhedora com plataforma de milho da Stara, modelo Brava, de 20 linhas de 0.50 m sendo a colhedora uma NH 9080 de 245 kW de potência no motor trabalhando a 2,100 rpm, em ambas as áreas. Era constituída de sistema de trilha axial de duplo rotor. As regulagens no momento da operação de colheita foram: rotação de rotor 800 rpm, abertura do cilindro e côncavo, abertura do batedor 19 mm, rotação ventilador 900 rpm, abertura peneira superior 14 mm e abertura peneira inferior 12 mm, nas duas áreas. As regulagens foram mantidas iguais para as duas áreas a fim de uniformizar as condições de colheita para o estudo. A colheita foi realizada em 19 de julho e 07 de agosto para as áreas Aral Moreira - MS (A1) e Ponta Porã - MS (A2), respectivamente.

Para avaliação do estande de plantas final, realizado no momento da colheita, utilizou-se uma trena e em duas fileiras por dois metros de comprimento contou-se o número de plantas existente neste intervalo, sendo os resultados expressos em plantas por metro.

Na avaliação de distribuição longitudinal ou uniformidade de espaçamentos entre plântulas foram realizadas leituras com a utilização de uma trena no mesmo local de determinação do estande de plantas. Sendo medido a distância entre plantas em dois metros de duas fileiras. A porcentagem de espaçamentos normais, falhos e duplos foi obtida de acordo com a norma citada por Kurachi et al. (1989), considerando porcentagens de espaçamentos: "duplos" (D): < 0.5 vezes o Xref. (espaçamento de referência), "normais" (A): 5 < Xref. < 1.5, e "falhos" (F): > 1.5 o Xref. O espaçamento médio de referência foi obtido pela média de plântulas de cada área, sendo para a área Aral Moreira - MS (A1) foi de 0.35 m, ou seja, valores menores que 0.17 m foram considerados duplos e valores de espaçamentos acima de 0.52 m foram considerados falhos. Para a área de Ponta Porã - MS (A2), o espaçamento médio de referência foi de 0.39 m, ou seja, valores menores que 0.19 m foram considerados duplos e valores de espaçamentos acima de 0.59 m foram considerados falhos.

Para determinar a produtividade da cultura, foram coletadas todas as espigas em cinco metros de duas linhas, determinando posteriormente o número de espigas por metro. Com a despalha da espiga foi avaliado o diâmetro (DE) e comprimento (CE) com o auxílio de um paquímetro digital e uma régua graduada. Posteriormente realizou-se a trilha das espigas e aferiu-se a massa dos grãos, sendo os valores extrapolados para kg ha⁻¹. A umidade do grão foi determinada no momento

da colheita, sendo de 19.0 % e 20.8 % para Aral Moreira - MS (A1) e Ponta Porã - MS (A2), respectivamente. Posteriormente a umidade foi corrigida para 14 %, para os cálculos de perdas após a colheita.

Para a determinação de perdas de grãos após a passagem da colhedora utilizou-se a armação retangular com largura de 10 m igual da plataforma de corte, tendo a área total de 3 m², que foi subdividida para obter três armações de coleta, resultando nas subáreas A (tamanho 1) + B (tamanho 2) + C (tamanho 3) que representam A = 1 m², A+B = 2 m² e A+B+C = 3 m² (Figura 3). Os grãos de milho coletados foram depositados em saco de papel, e posteriormente determinou-se a massa (kg) utilizando uma balança de precisão, e os valores foram extrapolados para um hectare.

Figura 3

Esquema da armação utilizada para coleta das perdas de grãos.



Nos cordões delimitadores externos da armação de coleta das perdas foram marcados 50 pontos (Figura 3), espaçados em 0.15 m, totalizando 100 pontos, de acordo com a metodologia adaptada de Laflen et al. (1981), sendo cada ponto correspondente a 1 % de cobertura vegetal quando estava na presença de palha. Assim, para determinar a porcentagem de cobertura vegetal sobre o solo após a colheita mecanizada do milho, foram contados os pontos onde havia palha remanescente da colheita, nos pontos demarcados na armação.

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5 % de probabilidade, para comparação de médias com Teste de Scott e Knott, seguindo o proposto por Barbosa (2015). Quando o fator velocidade foi significativo realizou-se a análise de regressão polinomial, verificando qual modelo melhor se ajusta aos dados. Foram aceitas as equações significativas com maior coeficiente de determinação.

RESULTADOS Y DISCUSSÃO

O número de plantas por metro (Tabela 2), estande final de plantas, foi maior para a área Aral Moreira - MS (A1) quando comparada à Ponta Porã - MS (A2). Essa condição interferiu diretamente na quantidade total de plantas de milho por hectare, resultando em 57,000 e 50,600 plantas ha⁻¹ para as áreas Aral Moreira - MS (A1) e Ponta Porã - MS (A2), respectivamente. Segundo Sangoi et al. (2012), a variação do estande de plantas por metro pode ser atribuída a fatores da própria máquina na operação de semeadura e o solo. No entanto, neste trabalho pode-se observar que ocorreram variações significativas de chuva nas áreas sendo em 933 mm em Aral Moreira - MS e 363 mm em Ponta Porã - MS (Figura 1), que pode ter afetado o desenvolvimento das plantas, afetando o estande final.

**Tabela 2***Estande de plantas e distribuição longitudinal de plantas de milho em duas localidades*

Fator	Estande (Plantas por Metro)	Distribuição longitudinal		
		Normal (%)	Falho (%)	Duplo (%)
Área (A)				
A1	2.85 ^a	89.30 ^a	8.74 ^a	1.94 ^a
A2	2.53 ^b	84.72 ^a	11.52 ^a	3.74 ^a
Teste F				
A	31.94 [*]	2.09 ^{ns}	0.89 ^{ns}	1.59 ^{ns}
C.V. (%)	7.35	12.61	100.64	173.61

^{ns}: não significativo ($p > 0.05$); ^{*}: significativo ($p < 0.05$); C.V.: coeficiente de variação. a, b: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo método de Scott-Knott; A1: Aral Moreira; A2: Ponta Porã.

Na distribuição longitudinal de plantas de milho, os indicadores de espaçamento normal foram acima de 60 %, porcentagem definida para máquinas com sistema de distribuição mecânico de sementes. Esses resultados (Tabela 2) dos espaçamentos normais se aproximam do mínimo recomendado para a semeadora pneumática que é de 90 % (Weirich Neto et al., 2015). Assim, segundo os autores considera-se como ótimo o desempenho da semeadora que distribuir de 90 a 100 % das sementes na faixa de espaçamentos aceitáveis, bom desempenho para 75 a 90 %, regular para 50 a 75 %, e insatisfatório abaixo de 50 %. Portanto, é necessário conhecer e buscar soluções para que a semeadura se torne cada vez mais eficiente sendo de extrema importância a limpeza, manutenção preventiva do maquinário a ser utilizado na operação.

Observou-se diferença significativa nos componentes de produção comprimento e diâmetro das espigas, espiga por metro e produtividade (Tabela 3), tendo a área A1 - Aral Moreira - MS apresentado valores superiores em relação a A2 - Ponta Porã - MS. O maior estande de plantas (Tabela 2) na área de Aral Moreira - MS - A1 pode ter contribuído com a maior produtividade nessa área (Tabela 3), além das condições climáticas já observadas anteriormente, com variações de chuva nas áreas, sendo maior em Aral Moreira - MS (Figura 1), o que provavelmente permitiu melhor desenvolvimento da cultura e consequentemente maior produtividade.

Tabela 3*Componentes de produção do milho em cada localidade.*

Área (A)	Comprimento de Espiga (cm)	Diâmetro da espiga (cm)	Número de espigas por metro	Produtividade kg ha ⁻¹
A1	17.2 ^a	5.0 ^a	2.2 ^a	6,503.9 ^a
A2	16.6 ^b	4.8 ^b	2.0 ^a	5,070.2 ^b
Tratamento	12.07 [*]	14.55 [*]	0.55 ^{ns}	19.22 [*]
Bloco	7.25 [*]	0.58 ^{ns}	0.50 ^{ns}	1.72 ^{ns}
CV	2.02	3.07	13.46	7.99

^{ns}: não significativo ($p > 0.05$); ^{*}: significativo ($p < 0.05$); C.V.: coeficiente de variação. a, b: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo método de Scott-Knott; A1: Aral Moreira; A2: Ponta Porã.



Não houve efeito significativo das áreas nem das velocidades de deslocamento (média de 88.95 %) sobre a porcentagem de cobertura vegetal (média de 88.72 %). Entretanto, a interação (Tabela 4) das mesmas foi significativa (Teste de F = 4.52, $p < 0.05$). Os valores médios de cobertura vegetal encontraram-se acima dos encontrados por Cortez et al. (2019a), que verificaram valor médio de 75.75 % de cobertura vegetal para o sistema de plantio direto. O coeficiente de variação foi considerado baixo (4.21 %) para os dados de cobertura vegetal, segundo a classificação de Pimentel-Gomes & Garcia et al. (2002), indica maior uniformidade dos valores de cobertura vegetal após a colhedora de milho. A cobertura vegetal influencia na qualidade do ambiente, como a manutenção de temperatura e da água no solo (Brandeleiro et al., 2015), diferentemente de outros manejos que afetam a quantidade de resíduo sobre a superfície do solo (Cortez et al., 2015). Além disso, de acordo com Dadalto et al. (2015), esse sistema conservacionista de manejo de solo contribui para aumento da biomassa microbiana.

Verificou-se na interação das áreas e velocidade de deslocamento da colhedora (Tabela 4) que a porcentagem de cobertura vegetal na área A2 - Ponta Porã - MS foi maior à 5.0 km h⁻¹. Uma vez que não ocorreu para nenhuma outra velocidade, isso pode ser uma ocorrência eventual ou associada a causas não controladas como maior cobertura por outras espécies vegetais, associadas a variações na microescala de argila, compactação e fertilidade.

Tabela 4

Desdobramento da interação da área (local) para cada velocidade de deslocamento da colhedora, isoladamente, no atributo cobertura vegetal (%) após a colheita.

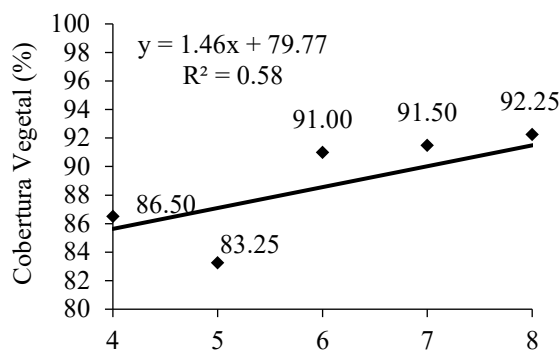
ÁREA	Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)				
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
A1	86.50 ^a	83.25 ^b	91.00 ^a	91.50 ^a	92.25 ^a
A2	84.75 ^a	92.50 ^a	90.50 ^a	89.50 ^a	87.75 ^a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo método de Scott-Knott. A1: Aral Moreira; A2: Ponta Porã.

A porcentagem de cobertura vegetal sobre o solo após a operação de colheita teve efeito linear (Figura 4a) na área de Aral Moreira - MS - A1. Ao contrário, para a área A2 - Ponta Porã - MS a regressão se mostrou quadrática. Isso indica para a área A1 quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora, maior a porcentagem de cobertura sobre o solo, que está associado ao aumento do volume de material vegetal que a máquina processa e conseqüentemente a distribuição sobre o solo. Outros fatores a considerar é o maior estande e produtividade em A1, tendo assim maior massa para a distribuição. Na área de Ponta Porã - MS - A2 com a regressão quadrática (Figura 4b) apresentou um ponto de máximo que corresponde à velocidade de deslocamento de 6.23 km h⁻¹, indicando 91.33 % de cobertura vegetal, e a partir desse ponto, caso a velocidade continue aumentando, a distribuição da cobertura diminui.

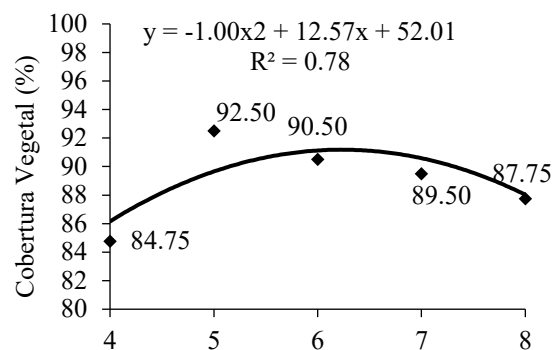
**Figura 4**

Análise de regressão da cobertura vegetal para as áreas Aral Moreira (a) e Ponta Porã (b).



Velocidade de Deslocamento (km h⁻¹)

(a)



Velocidade de Deslocamento (km h⁻¹)

(b)

Os maiores valores de perdas de grãos de milho ocorreram na área de Aral Moreira – MS - A1, comparado a de Ponta Porã - MS - A2, independentemente do tamanho da armação (Tabela 5) que pode estar relacionado a maior quantidade de plantas (Tabela 2) e a maior produtividade (Tabela 3). As perdas ficaram abaixo do limite aceitável de 60 kg ha⁻¹ (Mesquita et al., 2001) nas áreas analisadas.

Tabela 5

Perdas de grãos na colheita mecanizada do milho (kg ha⁻¹ e %) em função da área e da velocidade de deslocamento.

ÁREA (A)	Tamanho da armação (m ²)					
	1.0		2.0		3.0	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
A1	39.22 ^a	0.60 ^a	38.19 ^a	0.58 ^a	47.03 ^a	0.72 ^a
A2	19.83 ^b	0.39 ^b	16.39 ^b	0.32 ^b	16.78 ^b	0.33 ^b
Velocidade (V)						
4.0 km h ⁻¹	30.62	0.51	24.21	0.41	27.77	0.46
5.0 km h ⁻¹	28.27	0.47	22.57	0.37	23.61	0.38
6.0 km h ⁻¹	26.71	0.47	26.32	0.45	27.75	0.47
7.0 km h ⁻¹	21.16	0.35	31.46	0.51	40.81	0.65
8.0 km h ⁻¹	40.88	0.68	31.88	0.53	39.58	0.65
Teste F						
A	16.34*	7.68*	28.95*	15.59*	43.37*	29.05*
V	1.82 ^{ns}	1.90 ^{ns}	0.87 ^{ns}	0.82 ^{ns}	2.29 ^{ns}	2.28 ^{ns}
A x V	1.26 ^{ns}	1.29 ^{ns}	1.43 ^{ns}	1.46 ^{ns}	2.35 ^{ns}	2.37 ^{ns}
C.V. (%)						
	51.37	48.92	46.93	46.19	45.52	43.89

^{ns}: não significativo (p > 0.05); *: significativo (p < 0.05); C.V.: coeficiente de variação. a, b: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo método de Scott-Knott. A1 - Aral Moreira; A2 - Ponta Porã.



O coeficiente de variação das perdas de grãos (Tabela 5) foi classificado como alto (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), que pode ser justificado pela alta variabilidade da amostra à campo. Quando ocorre maior número de plantas por metro, assim como a maior produtividade, podem sobrecarregar os mecanismos internos da colhedora, na qual a máquina não consegue processar todo o material causando perdas após a operação (Alvez et al., 2015). É necessário levar em consideração no momento da operação de colheita a produtividade da cultura de milho tendo em vista a capacidade que a máquina possui para manusear toda massa colhida de grãos (Ormond et al., 2016).

Não se observou diferença das perdas de grãos ao fazer a coleta com várias áreas de coleta das armações. Ao observar os valores das perdas de grãos em porcentagem (%) essa diferença fica ainda menos expressiva. Assim, poder-se-ia utilizar da armação de tamanho de 1 m² a fim de agilizar o processo de determinação das perdas. No entanto, Câmara et al. (2007), verificaram que a armação de 3 m² quantificou valores de perdas maiores do que a armação de 2 m². Mostrando ainda a inconclusão sobre o tamanho adequado da armação de coleta.

As velocidades de deslocamento da colhedora não afetaram as perdas de grãos (Tabela 5), corroborando com Alves et al. (2015), que, ao estudar as perdas na colheita mecanizada do milho em função da velocidade, não verificaram diferenças significativas quanto a velocidade de deslocamento da colhedora. Menezes et al. (2018), ao avaliar a velocidade de 6 e 8 km h⁻¹ verificaram que ocorreu pouco efeito sobre as perdas na colheita da soja, mas as perdas encontradas foram acima dos limites aceitáveis de 60 kg ha⁻¹. Enquanto neste trabalho as perdas ficaram abaixo do limite aceitável.

Em trabalhos realizados por Balada & Redivo (2018), em relação à velocidade de deslocamento da colhedora, foram observadas menores perdas nos sistemas de separação, limpeza e trilha na velocidade de trabalho de 6 km h⁻¹, já as maiores perdas foram observadas quando a colheita foi conduzida na velocidade de 8 km h⁻¹. Bieniek et al. (2017), observaram que as perdas de sementes foram de 3.36 % a 3.86 %, e que a velocidade de deslocamento é um parâmetro significativo para as perdas no campo. Segundo Dario et al. (2018), a menor perda de grãos soltos (4.4 kg ha⁻¹) foi obtido quando a velocidade de trabalho da colhedora axial de milho foi de 8 km h⁻¹.

Portanto, verificou-se que o local de condução do trabalho afetou os componentes de produção do milho, em virtude aqui, provavelmente, da variação climática com maior volume de chuva em uma das áreas. E que apesar de não ter observado efeito da velocidade sobre as perdas neste trabalho, como de outros trabalhos (Câmara et al., 2007; Alves et al., 2015; Menezes et al., 2018), mas a literatura ainda mostra efeitos significativos da velocidade sobre as perdas na colheita (Bieniek et al., 2017; Balada & Redivo, 2018; Dario et al., 2018; Cortez et al., 2019b).

CONCLUSÕES

Mesmo em condições similares de semeadura, o fator local e clima afeta o estande de plantas, comprimento da espiga, diâmetro da espiga e a produtividade de grãos de milho.



A velocidade de deslocamento da colhedora de milho influencia na distribuição da palha sobre o solo como a porcentagem de cobertura vegetal, mas não altera as perdas de grãos na colheita. Os níveis de perdas de grãos podem variar de um local para outro, mesmo utilizando a colhedora nas mesmas regulagens. Todas as armações de coleta testadas, de 1, 2 e 3 m², podem ser utilizados para avaliação das perdas.

Considerado que o estudo foi conduzido em apenas duas áreas comerciais e em uma única safra, recomenda-se ampliar o número de áreas, safras e condições operacionais, incluindo diferentes híbridos, plataformas, regulagens da colhedora e níveis de produtividade para próximas pesquisas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor em Engenharia Agrícola.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não existe conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- Alves, F. B., Lopes Filho, L. C., Gomes, F. H. F., & Delmond, J. G. (2015). Harvest losses in mechanised maize (*Zea mays*) as a function of speed and threshing cylinder rotation. *Cientific@ - Multidisciplinary Journal*, 2(1), 130–142.
- Artuzo, F. D., Foguesatto, C. R., Machado, J. A. D., Oliveira, L., & Souza, A. R. L. (2019). The Brazilian productive potential: A historical analysis of maize production. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2), 515–540.
- Balada, I. J., & Redivo, G. D. R. G. (2018). Monitoramento de perdas em relação a velocidade de trabalho na colheita do milho segunda safra. *Tech & Campo*, 1(1), 3-16, 2018.
- Barbosa, J. C. (2015) *Experimentação agrícola*. Apostila, Funep.
- Bieniek, J., Zarek, L., Romanski, L., Komarnicki, P., & Kobel, P. (2017). Evaluation of New Holland CR 9080 operation. *Agricultural Engineering*, 21(1), 5–17.
- Brandeleiro, E. M., Araújo, A. G., & Ralisch, A. (2015). Coverage mobilisation during sowing and its influence on soil temperature, water content, and maize emergence. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(1), 98–108.



- Câmara, F. T., Silva, R. P., Lopes, A., Furlani, C. E. A., Grotta, D. C. C., & Reis, G. N. (2007). Influence of sampling area in determining total losses in soybean harvest. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(3), 909–913.
- Camolese, H. S., Baio, F. H. R., & Alves, C. Z. (2015). Quantitative and qualitative losses of combines with radial and axial threshing as a function of grain moisture. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 9(1), 21–29.
- Cortez, J. W., Nagahama, H. J., Olszewski, N., Patrocínio Filho, A. P., & Souza, E. B. (2015). Soil moisture content and surface temperature in tillage systems and development stages of maize crop. *Engenharia Agrícola*, 35(4), 699–710.
- Cortez, J. W., Pusch, M., Silva, R. P., Rufino, M. V., & Anghinoni, M. (2019a). Management systems: Soil cover and compaction, longitudinal distribution, and soybean yield. *Engenharia Agrícola*, 39(4), 490–497.
- Cortez, J. W., Syrio, M. G., & Rodrigues, S. A. (2019b). Types of header, operating speed, and geometry of collection frames on the total losses of soybean harvest. *Engenharia Agrícola*, 39(4), 482–489.
- Dadalto, J. P., Fernandes, H. C., Teixeira, M. M., Cecon, P. R., & Matos, A. T. (2015). Tillage influence on soil microbial activity. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(3), 506–513.
- Dario, M. M., Vale, W. G., Demarchi, J., Branco, P. A. C., & Nunes, E. H. (2018). Evaluation of quantitative and qualitative losses in mechanised maize harvesting. *Scientific Electronic Archives*, 11(5), 23–32.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2019). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- Kurachi, S. A. H., Costa, J. A. S., Bernardi, J. A., Coelho, J. L. D., & Silveira, G. M. (1989). Technological evaluation of seeders and/or fertiliser drills: Data processing from trials and regularity of within-row seed distribution. *Bragantia*, 48(2), 249–262.
- Laflen, J. M., Amemiya, A., & Hintz, E. A. (1981). Measuring crop residue cover. *Soil and Water Conservation*, 36(6), 341–343.
- Loureiro Júnior, A. M., Silva, R. P., Cassia, M. T., Compagnon, A. M., & Voltarelli, M. A. (2014). Influence of sampling area on variability of losses in mechanical soybean harvesting. *Engenharia Agrícola*, 34(1), 76–85.
- Menezes, P. C., Silva, R. P., Carneiro, F. M., Girio, L. A., Oliveira, M. F., & Voltarelli, M. A. (2018). Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(10), 732–738.
- Mesquita, C. M., & Gaudêncio, C. A. (1982). *Medidor de perdas na colheita de soja e trigo*. EMBRAPA Soja.



- Mesquita, C. M., Costa, N. P., Pereira, J. E., Maurina, A. C., & Andrade, J. G. M. (2001). Characterisation of mechanised soybean harvesting in Paraná. *Engenharia Agrícola*, 21(2), 197–205.
- Neves, E., Oliveira, B. S., & Oliveira, W. D. A. (2020). Maize grain losses as a function of different harvesting speeds. *Scientific Electronic Archives*, 13(4), 1–5.
- Ormond, A. T. S., Voltarelli, M. A., Paixão, C. S. S., Alcântara, A. S., Kazama, E. H., Furlani, C. E. A., & Silva, R. P. (2016). Harvest quality of mechanised maize sown at different speeds. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(3), 582–593.
- Paixão, C. S. S., Chrispin, C. P., Silva, R. P., Girio, L. A. S., & Voltarelli, M. A. (2017). Physical and physiological quality of soybean seeds at three harvester speeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(3), 214–218.
- Pimentel-Gomes, F., & Garcia, C. H. (2002). *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais*: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. FEALQ.
- Sangoi, L., Schmitt, A., Vieira, J., Picoli Junior, G. J., Souza, C. A., Casa, R. T., Schenatto, D. E., Giordani, W. G., Boniatti, C. M., Machado, G. C., & Horn, D. (2012). Variability in plant spatial distribution within the row and maize grain yield. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11(3), 268–277.
- Weirich Neto, P. H., Fornari, A. J., Justino, A., & Garcia, L. C. (2015). Maize sowing quality. *Engenharia Agrícola*, 35(1), 171–179.

Análisis y selección de modelos para ajuste de crecimiento y rendimientos de canal para pollos Broiler Cobb 500 en Cañita, Chepo

Analysis and selection of models to fitting growth curves and carcass yield to Broiler Cobb 500 chickens in Cañita, Chepo

*Roberto Saavedra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>

Héctor Cedeño. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. hector.cedenov@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

José Binns. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. jose.binns@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0005-2803-942X>

Richard Mudarra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. richard.mudarra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

Marilys Quintero. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. marilys.quintero@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8660-9113>

Kelly Bordones. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. kelly.bordones@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0003-0717-3473>

Mélida Quintero. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. melida.quintero-m@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-0261-4578>

Tamara Pimentel. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica. tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

*Autor de Correspondencia: roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa

Recibido: 16/03/2026

Aceptado: 12/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10100>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue comparar el ajuste de seis funciones no lineales para el peso vivo en pollos Cobb 500 respecto a su edad, para obtener estimaciones de parámetros relacionados al crecimiento de las aves, considerando cuatro estructuras de varianza residual diferentes, y modelar los rendimientos de canal, respecto a la variable peso vivo y a la canal. Se realizó un experimento en 2025, con registros de pesos vivos, a la canal y rendimientos de canal de 65 aves, durante 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días de edad, y se ajustan las funciones de Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logística, Verhulst y Weibull a los pesos vivos, mientras se ajusta rendimientos a la canal mediante modelos de superficie de respuesta lineal, cuadrático y con interacción. La estructura de varianza residual heterocedástica mejora el ajuste de las funciones respecto al escenario homocedástico, pues considera el aspecto biológico del aumento de variación de los pesos ($p < 0.05$) al aumentar la edad de las aves. De las funciones ajustadas, según los AIC y BIC, la función de Weibull tuvo mejor desempeño, con la estructura de varianza potencial. Igualmente, el modelo de superficie de respuesta de grado dos obtuvo mejor ajuste del rendimiento de canal respecto al peso vivo y canal. En conclusión, ajustes de curvas de crecimiento para peso vivo y modelos de superficie de respuesta para modelar el rendimiento a la canal, permite estimar parámetros zootécnicos de importancia para la toma de decisiones en programas avícolas.

PALABRAS CLAVE: heterocedasticidad, iteración, mínimos cuadrados, peso asintótico.

ABSTRACT. The objective of this study was to compare the fit of six nonlinear functions for live weight in Cobb 500 chickens with respect to age, to obtain estimates of parameters related to bird growth, considering

four different residual variance structures, and to model carcass yields with respect to live weight and carcass weight. An experiment was conducted in 2025, with records of live weights, carcass weights, and carcass yields of 65 birds at 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, and 56 days of age. The Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logistic, Verhulst, and Weibull functions were fitted to live weights, while carcass yields were fitted using linear, quadratic, and interaction response surface models. The heteroscedastic residual variance structure improves the fit of the functions compared to the homoscedastic scenario, as it considers the biological aspect of the increased variation in weights ($p < 0.05$) with increasing age of the birds. Of the fitted functions, according to the AIC and BIC, the Weibull function performed best, with the potential variance structure. Similarly, the second-degree response surface model obtained the best fit of carcass yield with respect to live and carcass weight. In conclusion, fitting growth curves for live weight and using response surface models to model carcass yield allows for the estimation of important zootechnical parameters for decision-making in poultry programs.

KEYWORDS: asynthetic weight, heterocedascity, iteration, least square.

INTRODUCCIÓN

La producción avícola en Panamá es fundamental dentro del sector agropecuario local, pues según INEC (2024), en Panamá existen cerca de 4,030 productores de pollos de carne, y esto representa un sacrificio aproximado de 112 millones pollos anualmente en 2024, según la FAO (2024), representando 198,283.91 toneladas cárnicas. Aunado a esto, la carne de pollo representa la mayor fuente proteica de los panameños, ya que según datos de las FAO (2024), hubo un consumo aproximado de 50.01 kg per cápita anual.

Dentro de los sistemas productivos en Panamá, una de las razas más populares y utilizadas es la raza Cobb 500, dado que es una de las más populares mundialmente como raza de engorde, por su eficiencia en conversión alimenticia, lo que otorga una ventaja para cualquier productor, porque su precocidad disminuye los altos costos de producción, en especial respecto a la alimentación (Marcu et al., 2013). Varios estudios destacan las bondades productivas de esta raza (Rosero +i., 2012; Pascalau et al., 2017) respecto a su alta ganancia de peso y eficiente conversión alimenticia.

Un aspecto importante para cualquier producción avícola es el estudio de las variables morfológicas (entre ellas el peso vivo) y su relación con su edad, y una forma de cuantificar esta relación es a través del ajuste de curvas de crecimiento, en el cual, mediante funciones matemáticas, se pueden estimar valores de variables de respuesta, como lo es el peso vivo, respecto a su edad, para un o un conjunto de aves. Para el propósito de ajustar las curvas de crecimiento, se han generado funciones basadas en soluciones de ecuaciones diferenciales, que permiten obtener parámetros importantes en el ciclo de en el que se relaciona la tasa de crecimiento con la edad del individuo y ciertos parámetros productivos y cuya solución permite establecer una ecuación para el peso vivo en función de su edad y de valores fijos, conocidos como parámetros, los cuales en muchas veces son desconocidos, por lo que deben estimarse mediante métodos numéricos. Es común observar un aumento en la variación de los pesos a lo largo de la edad del animal, que va desde una baja variación en la fase inicial del animal, y va incrementando a medida que aumenta la edad (Mazucheli et al., 2011; Demuner et al., 2017).

Estas curvas parten de un peso inicial correspondiente a la fecha de nacimiento, el cual va aumentando a medida que avanza la edad hasta llegar a un tiempo donde la tasa de crecimiento se va ralentizando (tiempo de inflexión) hasta llegar a una estabilización de su peso, la cual corresponde a su edad adulta (peso de madurez), los cuales se definen en función de los parámetros estimados de α (peso de madurez), β (parámetro de edad), κ (parámetro de madurez) y m . Mediante estos parámetros, se pueden estimar indicadores de importancia acerca del crecimiento de las aves, como son el peso asintótico, la tasa de crecimiento, la tasa de maduración, el tiempo y el peso de inflexión.

El peso asintótico o de madurez de cada animal se refiere al peso que tendrá cada ave cuando tiene su edad de mayor expectativa de vida ($t \rightarrow \infty$), y matemáticamente expresado como la asíntota horizontal de la función no lineal dado los parámetros del modelo estimados, expresado como el límite al infinito del tiempo t para la función y ; $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t; \beta) = \alpha$. La tasa de crecimiento se refiere a la ganancia de peso de cada animal respecto a un intervalo de tiempo dado. Matemáticamente, para una función se define su tasa de cambio como la primera derivada de dicha función, en la que se suele encontrar expresada con la notación y' , $f'(t)$ o dy/dt .

El tiempo de inflexión se refiere al punto en el intervalo de tiempo en la función referente a la tasa de crecimiento, en el que hay un cambio de tendencia, y la que la función debe pasar de ser creciente a decreciente, teniendo una forma cóncava hacia abajo. Matemáticamente, se determina mediante el criterio de la segunda derivada, en el cual se toma el punto de inflexión cuando tiene una pendiente igual a cero. El peso de inflexión se refiere al peso en el punto de tiempo de inflexión, en donde la curva de la tasa de crecimiento para de ser creciente a decreciente. La tasa de maduración se refiere al nivel de madurez que tiene el ave en determinada edad, respecto a su edad madura, calculada como el coeficiente entre el valor de peso estimado en el tiempo t entre el peso asintótico α .

Funciones no lineales como Brody (Brody, 1945), von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957), Logística (Nelder, 1961), Gompertz (Winsor, 1932), Weibull (Maruyama et al., 2001) y Verhulst (Verhulst, 1847) son muy utilizadas para ajustar el crecimiento en especies de interés zootécnico, como lo son los pollos (Demuner et al., 2017; Mouffok et al., 2019; Galán et al., 2023).

El objetivo de este estudio es evaluar el ajuste de seis funciones no lineales para describir las curvas de crecimiento del peso vivo respecto a su edad, para registros de n pollos de la raza Cobb 500, desde los siete hasta los cincuenta y seis días de edad, considerando cuatro estructuras de varianza residual diferentes.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en un galpón convencional del Centro de Investigación Agropecuario de Panamá Este (CEIAPE), de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicado

en el corregimiento de Cañita, distrito de Chepo, provincia de Panamá, localizado a los 9°21'80.26" de Latitud norte y 78°84'87.41" de Longitud oeste y con una elevación de 26 msnm.

Animales de Estudio

Se utilizaron 65 pollos de engorde, machos y hembras de aproximadamente siete años de edad (40.68 ± 0.45 gr), de la línea Cobb 500. Todos los pollos fueron sometidos al mismo plan nutricional, basado en un alimento tipo harina formulado para suplir o exceder los requerimientos nutricionales establecidos por las tablas brasileras para aves y cerdos (Rostagno et al., 2017) según las siguientes etapas: Pre-inicio (F1: 1-7 días), Inicio (F2: 8-21 días), Crecimiento (F3: 22-33 días), y Engorde (F4: 34-42 días). Todos los pollos bajo experimentación fueron sometidos al mismo protocolo de sanitario y condiciones micro ambientales. Se midieron sus pesos semanalmente, a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días de edad, utilizando una balanza digital electrónica de plataforma Lithium-Ion Scale (S12).

Curvas de Crecimiento

Para el ajuste de las curvas de crecimiento, se ajustaron cuatro diferentes modelos de regresión no lineal, correspondientes a los modelos de Brody, Weibull, von Bertalanffy, Logística, Gompertz y Verhulst, donde ajusta cada modelo para este grupo muestral de la raza estudiada, cuyas formas algebraicas están enunciadas en la tabla 1.

Tabla 1

Funciones de crecimiento no lineales

Función	Modelo
Brody	$y_i = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa t_i})$
Von Bertalanffy	$y_i = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa t_i})^3$
Gompertz	$y_i = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t_i}}$
Logística	$y_i = \alpha(1 + e^{-\kappa t_i})^{-m}$
Weibull	$y_i = \alpha - (\alpha - \beta) e^{-\left(\frac{m-1}{m}\right)\left(\frac{t_i}{t_{inf}}\right)^c}$
Verhulst	$y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa t_i}}$

Para las funciones de Brody, von Bertalanffy, Gompertz y Verhulst se expresan en función de los parámetros $\theta = [\alpha, \beta, \kappa]$, en el cual α es el parámetro de peso asintótico del animal, β es la constante de integración (sin interpretación biológica) y κ es la tasa de madurez. Mientras que, para la función logística, se incluye el parámetro m (sin interpretación biológica), y para la función de Weibull, se incluye el parámetro m (sin interpretación biológica) y el parámetro t_{inf} (tiempo de inflexión). Los parámetros tasa de crecimiento para cada función correspondientes a su primera derivada, así como sus respectivos tiempos y pesos de inflexión, están presentes en la tabla 2.

Tabla 2

Funciones de tasa de crecimiento, tiempo y peso de inflexión de las funciones ajustadas.

Función	Tasa de Crecimiento
Brody	TC : $y'_i = \alpha\beta\kappa e^{-\kappa t}$; TI : No tiene ; PI : No tiene
von Bertalanffy	TC : $y'_i = 3\alpha\beta\kappa(1 - \beta e^{-\kappa t})^2 e^{-\kappa t}$; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(3\beta)}{\kappa}$; PI : $y_{inf} = \frac{8\alpha}{27}$
Gompertz	TC : $y'_i = \alpha\beta\kappa e^{-(\kappa t, -\beta e^{\kappa t})}$; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(\beta)}{\kappa}$; PI : $y_{inf} = \frac{\alpha}{e}$
Logística	TC : $y'_i = \alpha\kappa m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)}$; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(m)}{\kappa}$; PI : $y_{inf} = \alpha \left(\frac{m}{m+1} \right)^m$
Weibull	TC : $y'_i = (\alpha - \beta) \left[\frac{(m-1)}{m} \left(\frac{m}{t_{inf}} \right) \left(\frac{t}{t_{inf}} \right) \right] e^{-\left(\frac{m-1}{m} \right) \left(\frac{t}{t_{inf}} \right)^m}$; TI : $t_{inf} = t_{inf}$; PI : $y_{inf} = \alpha - (\alpha - \beta) e^{-\left(\frac{m-1}{m} \right)}$
Verhulst	TC : $y'_i = \frac{\alpha\beta\kappa e^{-\kappa t}}{(1 + \beta e^{-\kappa t})^2}$; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(\beta)}{\kappa}$; PI : $y_{inf} = \frac{\alpha}{2}$

TC: Tasa de Crecimiento; TI: Tiempo de inflexión; PI: Peso de inflexión.

Los modelos no lineales se ajustan mediante el siguiente modelo estadístico, $y = f(t, \beta) + e$, donde y es la variable de respuesta (Peso vivo en kilogramos), $f(t, \beta)$ se denomina la función media del modelo con variable aleatoria t correspondiente al tiempo definido en días y e es el error aleatorio. Se asume que el vector de observaciones está distribuido de forma independiente e independiente (*iid*) normal con media $f(t, \beta)$ y varianza V , ($y \sim N(f(t, \beta), V)$), y el vector residual e están idéntica e independientemente distribuido de manera normal de la forma $e \sim N(0, V)$. Para efectos de ajuste de estos modelos, consideramos cuatro diferentes estructuras de varianza respecto a la matriz V : El primero se asume una estructura homocedástica, en el que cada residual tiene una distribución $e_i \sim N(0, \sigma^2)$, de modo que, de manera matricial, representamos $V = I\sigma^2$, donde I es una matriz identidad de orden n . Los otros tres escenarios consideran para V , una estructura de varianza heterocedástica, y el primero asume que la varianza residual es directamente proporcional a la edad del animal (variación producto), y para cada residual tiene una distribución $e_i \sim N(0, t_i \sigma^2)$. El segundo escenario de estructura de varianza residual heterocedástica asume que cada residual es directamente proporcional a la edad del animal elevado a un hiperparámetro (varianza potencial) y tiene una distribución $e_i \sim N(0, t_i^{2\delta} \sigma^2)$. Y el tercer escenario corresponde a una estructura de varianza heterocedástico de carácter exponencial, donde cada residual tiene una distribución $e_i \sim N(0, e^{2\delta t} \sigma^2)$.

Rendimientos de Canal

Los rendimientos de canal (porcentaje) se determinan mediante el cociente entre el peso al canal del ave (retirando partes del animal como patas, cuello, vísceras, cabeza y plumas)

respecto al peso del ave al momento del sacrificio. Se modela la variable rendimientos de canal respecto a los pesos vivos al momento de sacrificio y peso al canal, mediante modelos de superficie de respuesta, asumiendo tres escenarios: el primero asume un modelo de primer orden (P1), de la forma $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + e_i$, donde y_i es el rendimiento de canal, β_0 es el parámetro de intercepto, β_1 y β_2 son los parámetros de pendientes de las variables pesos vivos y peso de la canal respectivamente, x_1 y x_2 son las variables aleatorias de los pesos vivos y al canal respectivamente, y e_i es el error aleatorio. El segundo escenario incorporamos un parámetro de interacción (P1I) al modelo de primer orden, quedando la ecuación del modelo de la forma $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + \beta_{12} x_1 x_2 + e_i$. Y el tercer escenario asume un modelo de segundo orden (P2I), en el que la ecuación del modelo incorpora parámetros para variables elevadas al cuadrado, quedando de la forma $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} x_i^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + e_i$. Los modelos se ajustan mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

Análisis de Datos

La estimación de los parámetros $\hat{\theta}$ de cada modelo no lineal ajustado se hace mediante el método iterativo de Gauss – Newton con patrón de convergencia de $\text{tol} = 0.0001$. Para el caso de la estimación de los parámetros de los modelos lineales de regresión polinómica, se estiman mediante la metodología de mínimos cuadrados, ya sea ordinarios (OLS) para el caso del supuesto de errores homocedásticos e independientes, y generalizados (GLS) para el caso de errores con varianza heterocedástica (heterogeneidad de varianza). Para los modelos de superficie de respuesta para los ajustes de los rendimientos al canal, se estiman mediante la metodología de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

Para evaluar al modelo de mejor ajuste en cada subgrupo, se considera el Criterio de Información de Akaike (AIC), el Criterio de Información Bayesiano (BIC), donde estos criterios denotan que el modelo con menor valor dentro de los modelos evaluados es el de mejor ajuste. Como valor de bondad de ajuste, se considera el coeficiente de determinación (R^2). La significancia de los parámetros se obtiene mediante el estadístico t con una significancia de $\alpha = 0.05$, mientras que la normalidad residual se verifica mediante la prueba de Shapiro-Wilks ($\alpha = 0.05$). Finalmente se calculan los gráficos respecto a sus intervalos de predicción al 95% de confianza, mediante la forma $IP_{95\%} = \hat{y} \pm t_{0.975, n-p} \cdot \sqrt{\mathbf{p}}$, donde $t_{0.975, n-p}$ es el cuantil de la distribución t , \mathbf{p} es el vector de precisión, resultante de la diagonal de la operación $\mathbf{R} + \mathbf{Z}_0(\mathbf{Z}_0' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Z}_0)^{-1} \mathbf{Z}_0'$, donde \mathbf{R} es la matriz de varianza de las observaciones y \mathbf{Z}_0 es la matriz de derivadas parciales.

Tanto el trabajo de manejo de datos, ajuste de los modelos propuestos y confección de gráficos se realiza en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023), en el que específicamente se ajustan los modelos heterocedásticos con el paquete nlme (Pinheiro y Bates, 2000) y los gráficos mediante el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de los pesos observados en gramos y sus respectivos desvíos estándares, están presentes en la tabla 3, las cuales ven un incremento en los pesos medios, con significancia estadística ($p < 0.05$), a medida que aumentaba la edad de los pollos, con la excepción de los valores medios registrados en las edades entre 49 y 56 días, en la que no se encuentran diferencias significativas. Se puede observar incrementos de peso desde el día 14 de edad, respecto al día anterior, siendo los más considerables, a los 14 días de edad, con un aumento de peso de 166.96 % respecto a su registro anterior; a los 21 días, con un incremento de 125.46 % respecto a su registro anterior, y a los 28 días, con un incremento de peso de 111.98 % respecto a su edad anterior. Posterior a estas edades, si bien sigue observando ganancias de peso respecto a su edad anterior, esta ganancia se va ralentizando, llegando a ser de un 9.85 % a los 56 días de edad.

Tabla 3

Valores medios de los pesos vivos \pm desvíos estándar.

Días	Peso vivo (g) \pm DE
7	79.90 ^g \pm 4.70
14	213.30 ^f \pm 40.05
21	480.90 ^e \pm 56.66
28	1019.40 ^d \pm 153.05
35	1703.70 ^c \pm 132.58
42	2277.20 ^b \pm 259.92
49	3170.70 ^a \pm 331.49
56	3483.00 ^a \pm 316.65

Letras diferentes indica diferencias significativas de Tukey ($p < 0.05$) entre grupos, asumiendo heterocedasticidad por edad.

Resultados mostrados por Saavedra et al. (2024), indican que, en un experimento con la misma raza, en la provincia de Chiriquí, Panamá, se encontraron valores medios de 681.61 \pm 66.16 gr a los 21 días, y de 2179.53 \pm 186.92 gr a los 42 días, mostrando cierta similitud entre ambos experimentos. Además, se puede observar un aumento de la variación de los datos obtenidos a medida que avanza la edad de las aves, con significancia estadística ($p < 0.05$) según la prueba de Levene, algo similar a lo encontrado por Mazucheli et al. (2011), Demuner et al. (2017) y Saavedra et al. (2024).

Luego de ajustar las funciones no lineales descritas en la tabla 1, y si bien es cierto, para todas las funciones se encontraron valores de R^2 superiores a 0.95, según los resultados presentes en la tabla 4, en todos los ajustes asumiendo las diferentes estructuras de varianza residual considerados en este estudio, se puede observar, para cada función, variaciones marcadas entre los diferentes escenarios de estructura de varianza residual utilizados en los ajustados, basados en los resultados de los estadísticos AIC y BIC encontrados y presentes en la tabla 4, señalando que utilizar estructura de varianzas residual heterocedásticas mejora el ajuste, respecto a los ajustes asumiendo estructuras de varianza residual homocedásticas, lo cual es cónsono con la variación ascendente a medida que aumenta la edad de las aves

descrita en la tabla 3. Se destaca que los valores de AIC y BIC tienen mayor diferencia visibles entre los diferentes ajustes, y suelen ser mejor referencia como criterio de selección de modelos, respecto a los valores de R^2 , cuyas diferencias se pueden visualizar en el tercer decimal, en este estudio, como lo señala Spiess y Neumeyer (2010).

Se destaca que, para cada función, los ajustes mediante una estructura de varianza residual heterocedástica potencial, fueron los que proporcionaron mejores ajustes para cada función. Además, es una ventaja el ajuste de modelos mediante estructuras de varianza heterocedásticas directamente proporcional al valor cuantitativo de su edad, ya que permite reducir la cantidad de parámetros a estimar respecto a estimar una varianza por edad muestreada, y ayudando a la eficiencia computacional del algoritmo de estimación paramétrica.

Dentro de las funciones evaluadas, basados en los resultados de AIC y BIC, se destaca que la función de Weibull tuvo mejor ajuste, para cada escenario de estructura de varianza residual utilizado en los ajustes, y particularmente en el ajuste mediante una estructura de varianza potencial, que fue la que mostró mejor ajuste en el estudio. Además, mostró mejor eficiencia computacional, al requerir menos iteraciones para lograr la convergencia del algoritmo de estimación, requiriendo cuatro iteraciones para converger bajo este escenario de varianza residual. Estudios realizados por Vitezica et al. (2010), en líneas de patos Mulard (híbridos infértiles producto del cruce de patos hembras Pekín y patos machos de Muscovia) con fin de localizar QTL en siete líneas de abuelos diferentes, encontró que, en cada línea, la función de Weibull ajustada mediante modelos no lineales mixtos con parámetros especializados por pato estudiado fue la de mejor ajuste respecto a otras funciones ajustadas.

Por otro lado, se observan que las funciones de von Bertalanffy y de Brody muestran un desempeño menor que el resto de las funciones, ya que presentan mayor variación, basados en la tabla 4, y sus valores de AIC y BIC son mayores al encontrado en las otras funciones, para cada escenario de estimación bajo estructuras de varianza residual. Cabe destacar que, bajo una estructura de varianza residual exponencial, el algoritmo no convergió. Estas funciones presentaron valores paramétricos atípicos y que no representan una sintonía con características zootécnicas de las aves, pues para el parámetro de peso asintótico, la función de Brody estima valores negativos, mientras que la función de von Bertalanffy estima valores de peso asintótico superiores a los 6,000 gramos, muy abultados para ser un peso de un ave Cobb 500, similar a lo reportado por Demuner et al. (2017) y Saavedra et al. (2024).

Tabla 4

Criterios de comparación entre modelos (AIC y BIC), números de iteraciones para convergencia, desvío estándar residual y R², y los hiperparámetros δ , para cada función ajustada bajo su respectiva estructura de varianza, para la variable peso vivo.

Función	$\hat{\sigma}_e$	θ	AIC	BIC	R ²	No. Iteración
Modelo No Lineal – Estructura Homocedástica						
Brody	249.20	---	1114.89	1124.41	0.9620	8
von Bertalanffy	213.18	---	1089.91	1099.74	0.9720	9
Gompertz	208.31	---	1086.22	1095.74	0.9730	6
Logística	207.34	---	1085.47	1095.00	0.9740	14
Weibull	206.59	---	1085.47	1097.76	0.9740	8
Verhulst	207.10	---	1085.28	1094.81	0.9740	4
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Producto						
Brody	40.95	---	1087.67	1097.19	0.959	2
von Bertalanffy	33.06	---	1053.41	1062.93	0.972	4
Gompertz	31.44	---	1045.40	1054.93	0.973	2
Logística	31.14	---	1043.87	1053.40	0.974	4
Weibull	30.94	---	1043.81	1055.73	0.974	2
Verhulst	31.49	---	1045.64	1055.17	0.971	2
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Potencial						
Brody	0.12	2.2053	1048.04	1059.95	0.896	18
von Bertalanffy	0.19	1.9791	1006.41	1018.32	0.954	14
Gompertz	0.18	1.9569	985.10	997.01	0.968	10
Logística	0.17	1.9600	979.31	991.22	0.971	8
Weibull	0.17	1.9602	975.13	989.43	0.974	4
Verhulst	0.15	2.0072	982.59	994.50	0.968	10
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Exponencial						
Brody			No converge			
von Bertalanffy			No converge			
Gompertz	17.16	0.0627	1005.00	1016.91	0.970	9
Logística	16.21	0.0638	1001.30	1013.21	0.972	10
Weibull	15.25	0.0652	999.50	1013.80	0.974	3
Verhulst	14.03	0.0689	1003.80	1015.71	0.967	12

AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano, R² = Coeficiente de Determinación del modelo, $\hat{\sigma}_e$ = Desvío estándar residual.

Por otro lado, los parámetros estimados para cada función, bajo los diferentes escenarios de estructura de varianza residual asumidos para la estimación paramétrica, están descritos en la tabla 5. Bajo estos parámetros estimados, podemos obtener los pesos predichos, así como los parámetros de peso asintótico, tiempo y peso de inflexión, así como la tasa de crecimiento. Destacando la función de Weibull, estimada bajo una estructura de varianza residual potencial, con $\hat{\alpha} = 4,186.85$ gramos, y se puede determinar según las expresiones presentes en la tabla 2, el tiempo de inflexión en TI = 38.59 días, y con un peso de inflexión de PI = 2,020.31 gr, y de manera similar, Saavedra et al., (2024) reporta para aves Cobb 500, un peso asintótico estimado de 4,527.98 gr, con peso de inflexión de PI = 1,665.75 gramos en un tiempo de inflexión de TI = 39.98 días, lo cual sugiere que las mayores ganancias diarias de peso en las aves se encuentran hasta los 38-40 días, y luego estas empiezan a decrecer. Además, se encuentra una correlación positiva entre los parámetros α y t_{inf} estimados ($\rho_{\alpha, t_{inf}} =$

0.996), indicando que a medida que se estimen altos valores de tiempo de inflexión, indica un aumento en el peso asintótico estimado para las aves.

Basados en la función de Weibull presente en la tabla 1, con parámetros estimados mediante una estructura de varianza residual potencial, presentes en la tabla 4, obtenemos pesos estimados, cuya curva está esbozada en la figura 1, en el que se puede determinar 80.01 ± 7.71 gr a los 7 días, 208.29 ± 30.00 gr a los 14 días, 996.05 ± 116.73 gr a los 28 días, $1,649.49 \pm 180.77$ gr a los 35 días y $3,113.39 \pm 349.60$ gr a los 49 días, valores con cierta similitud con los promedios observados en este estudio, mostrados en la tabla 3. Además, para estos valores estimados de pesos promedios, su tasa de madurez correspondiente es de 1.91 % a los 7 días, 4.97 % a los 14 días, 23.79 % a los 28 días, 39.40 % a los 35 días, 74.36 % a los 49 días y 89.05 % a los 56 días, indicando que, en este estudio, las aves estaban cerca de alcanzar su peso de madurez al momento del sacrificio, mostrando que el manejo general del sistema productivo logró que las aves alcanzaran una precocidad en sus ganancias de peso.

Figura 1

Gráfico Box-Plot de los pesos observados (en gramos) y curva de crecimiento ajustada mediante la función de Weibull, con parámetros estimados asumiendo una estructura heterocedástica residual potencial y su respectivo intervalo de predicción al 95%.

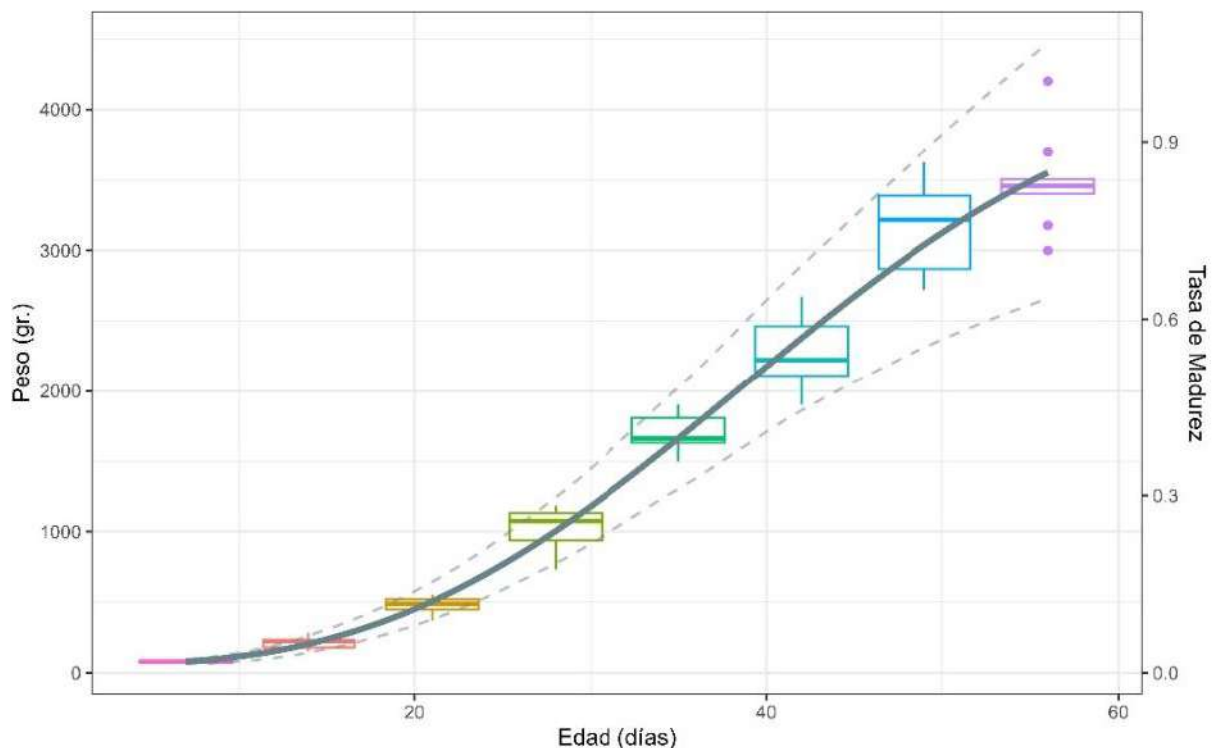




Tabla 5

Parámetros estimados ± desvíos estándares estimados de los modelos estimados bajo diferentes estructuras de covarianzas, tiempo de inflexión y peso de inflexión estimados, para la variable peso vivo (gramos).

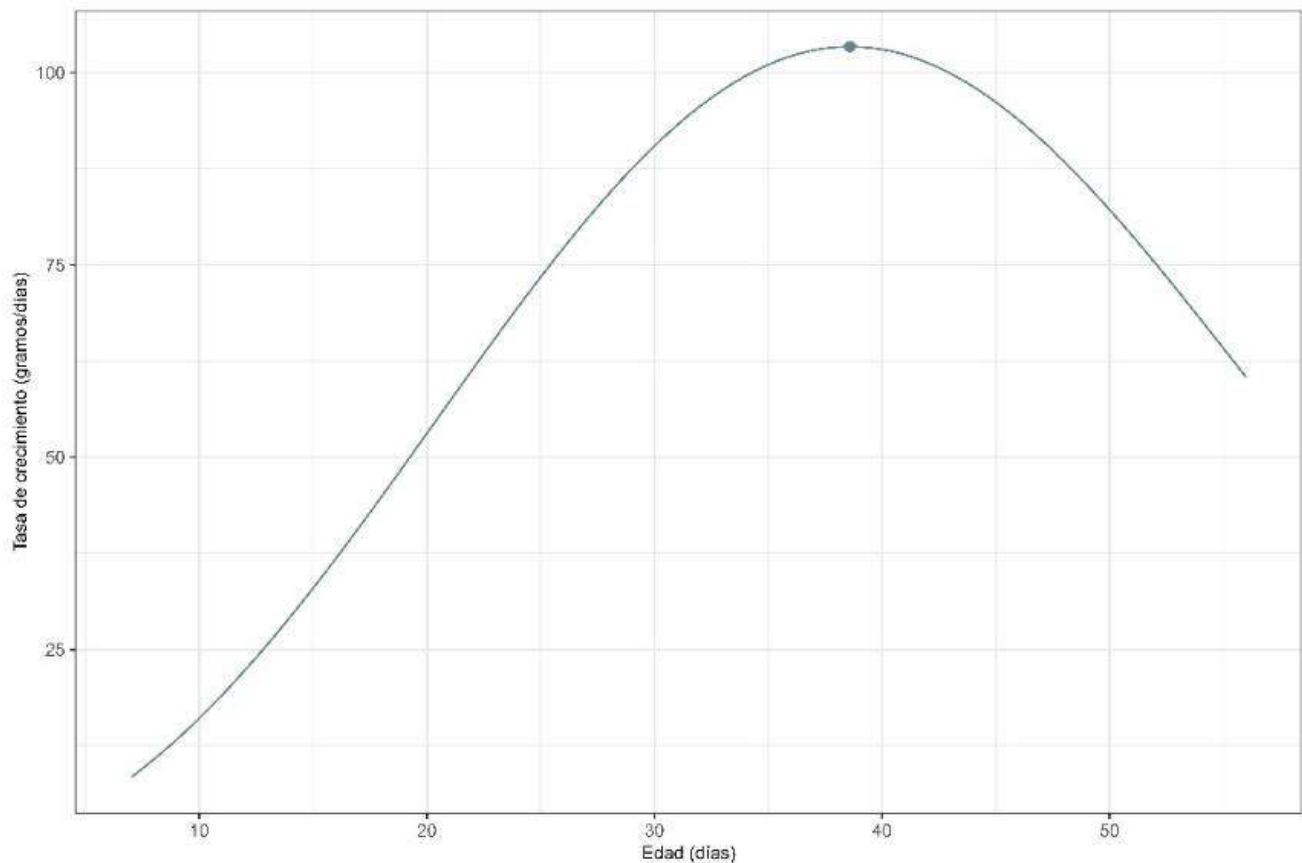
Función	α	β	κ	m	TI (días)	PI (gramos)
Modelo No Lineal – Estructura Homocedástica						
Brody	-2715.145** ± 774.304	0.852** ± 0.020	-0.018** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	6482.474** ± 883.989	1.145** ± 0.098	0.033** ± 0.005	---	37.394	1920.733
Gompertz	5125.572** ± 419.303	7.055** ± 0.758	0.053** ± 0.005	---	36.863	1885.593
Logística	4881.333** ± 336.428	---	0.059** ± 0.005	9.015** ± 0.832	37.269	1890.977
Weibull	3989.051** ± 268.419	73.298 ± 58.241	---	2.988** ± 0.269	37.931** ± 1.077	1975.943
Verhulst	3983.674** ± 153.710	72.178** ± 13.853	0.112** ± 0.007	---	38.207	1991.837
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Producto						
Brody	-1491.940** ± 298.586	0.843** ± 0.016	-0.026** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	8145.488* ± 1286.518	1.028** ± 0.046	0.026** ± 0.004	---	43.316	2413.478
Gompertz	5450.112** ± 425.456	6.579** ± 0.416	0.049** ± 0.004	---	38.447	2004.984
Logística	5059.106** ± 323.548	---	0.057** ± 0.004	8.638** ± 0.478	37.828	1963.957
Weibull	4044.686** ± 269.026	64.462* ± 27.156	---	2.929** ± 0.195	38.034** ± 1.139	1984.592
Verhulst	3902.299** ± 133.073	80.665** ± 11.047	0.117** ± 0.005	---	37.524	1951.149
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Potencial						
Brody	-372.896** ± 48.689	0.864** ± 0.009	-0.048** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	45213.040* ± 19835.219	0.940** ± 0.006	0.008** ± 0.002	---	129.592	13396.440
Gompertz	7486.669** ± 700.011	5.990** ± 0.066	0.039** ± 0.002	---	45.900	2754.192
Logística	6026.076** ± 435.969	---	0.050** ± 0.002	8.133** ± 0.084	41.919	2346.577
Weibull	4186.852** ± 360.653	59.533** ± 4.144	---	2.850** ± 0.108	38.593** ± 1.654	2020.312
Verhulst	3501.910** ± 125.849	105.376** ± 4.349	0.133** ± 0.002	---	35.019	1750.955
Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Exponencial						
Brody			No converge			
von Bertalanffy			No converge			
Gompertz	6714.428** ± 691.912	6.193** ± 0.128	0.042** ± 0.003	---	43.415	2470.100
Logística	5698.379** ± 471.947	---	0.052** ± 0.002	8.337** ± 0.160	40.783	2216.110
Weibull	4099.523** ± 393.742	62.176** ± 9.396	---	2.895** ± 0.128	38.239** ± 1.726	2001.468
Verhulst	3473.737** ± 153.537	95.366** ± 6.319	0.130** ± 0.004	---	35.059	1736.869

*Significancia estadística (P<0.05), **Significancia estadística (P<0.0001).

Los valores de la tasa de crecimiento estimado para la función de Weibull, cuya expresión está descrita en la tabla 2, y cuya curva esta esbozada en la figura 2, reflejan un rápido incremento en su fase inicial de crecimiento, ya que se estiman valores de ganancias diarias de pesos correspondientes a 8.37 gr/día a los 7 días de edad, en 57.23 gr/día a los 21 días, 84.25 gr/días a los 35 días, hasta llegar a su mayor ganancia diaria de peso promedio a los 38 días aproximadamente (tiempo de inflexión), siendo de 103.38 gr/día. Luego de llegar a este punto, las ganancias diarias de peso empiezan un ritmo descendente, pues se determinan ganancias diarias de peso estimadas en 101.03 gr/día a los 42 días, 85.40 gr/día a los 49 días y llega hasta los 60.38 gr/día a los 56 días. Saavedra et al. (2014), reporta una ganancia de peso diaria máxima estimada mediante la función de Gompertz de 95.36 gr/diarios, a los 39 días, guardando cierta similitud con lo reportado en este estudio. Esto sugiere que, para efectos de alimentación, se debe procurar un suministro óptimo y de buena de calidad, de niveles de proteína y minerales como calcio y magnesio, ya que es la etapa de crecimiento de mayor aceleración.

Figura 2

Gráfico de función de tasa de crecimiento de la función de Weibull, con parámetros estimados asumiendo una estructura de varianza residual potencial.



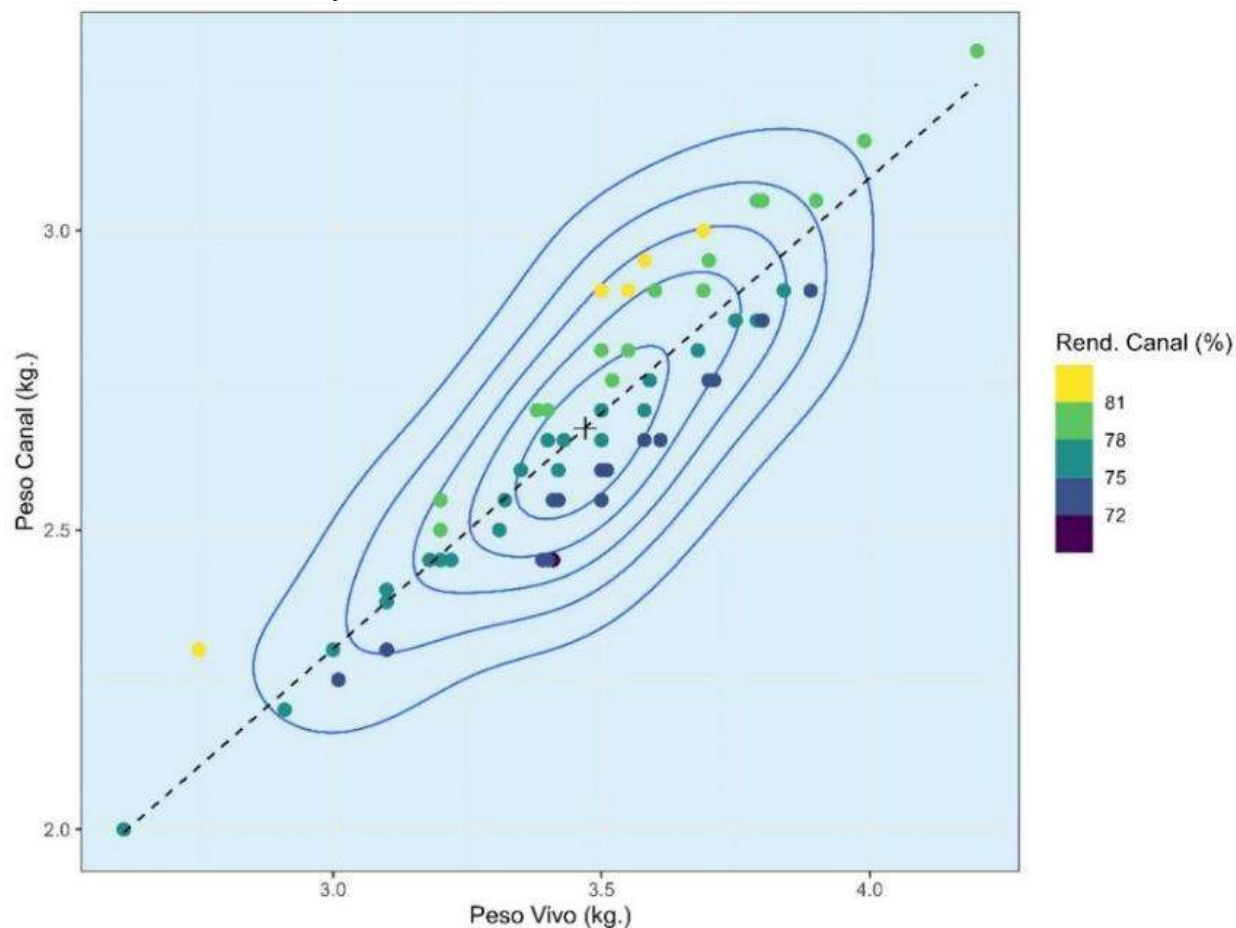
Al momento de sacrificio de las aves, se reportan valores medios de peso vivo de $3,483.00 \pm 316.65$ gr, valores de pesos de canal en $2,670.35 \pm 253.96$ gr y rendimientos de canal promedios de 76.97 ± 2.76 %, lo cual indica que más de tres cuartas partes de las aves sacrificadas correspondieron a carne blanca, lo cual indica un buen rendimiento de carne logrado en este estudio. De manera similar, en un estudio en pollos Cobb 500 alimentados con alimento harinizado en Ecuador, Cedeño Jerez (2019) reportó rendimientos a la canal de 73 %, con pesos vivos al momento del



sacrificio a los 42 días de edad promedio de 2,863.3 gr y pesos a la canal de 2,090.0 gr. Según lo observado en la figura 3, vemos que la mayoría de los resultados se conglomeraron en un intervalo entre los 3.2 y 3.7 kg de peso vivo, y en un intervalo entre 2.7 y 3.1 kilogramos de peso a la canal, y se observa que los rendimientos a la canal superiores al 81 % se encuentran en el área comprendida entre 2.8 y 3.0 kg de peso a la canal, y entre 3.5 hasta 3.6 kg de peso vivo al momento de sacrificio.

Figura 3

Gráfico de densidad 2D (dos dimensiones) de las observaciones de los pesos al canal y los pesos vivos al momento de sacrificio de las aves.



Basados en la tabla 6 como referencia para determinar el modelo lineal de mejor ajuste para la variable rendimiento de canal respecto a las variables peso vivo al momento de sacrificio y peso a la canal, encontramos que los tres modelos ajustados tienen buen ajuste, en base a los R^2 encontrados, ya que son superiores a 0.99, pero se destaca el modelo de superficie de respuesta de orden 2 (P2I), de orden dos y con interacción, ya que muestra el mayor R^2 y muestran los menores valores de varianza residual (σ^2), así como de AIC y BIC, lo cual nos sugiere que es modelo que muestra mejor ajuste para esta variable en este estudio. Para el modelo P2I, se encuentra significancias estadísticas para sus parámetros estimados ($p < 0.05$).



Tabla 6

Tabla de valores de estadísticos y parámetros referentes a modelos de superficie de respuesta para ajuste de variable rendimiento de canal (%).

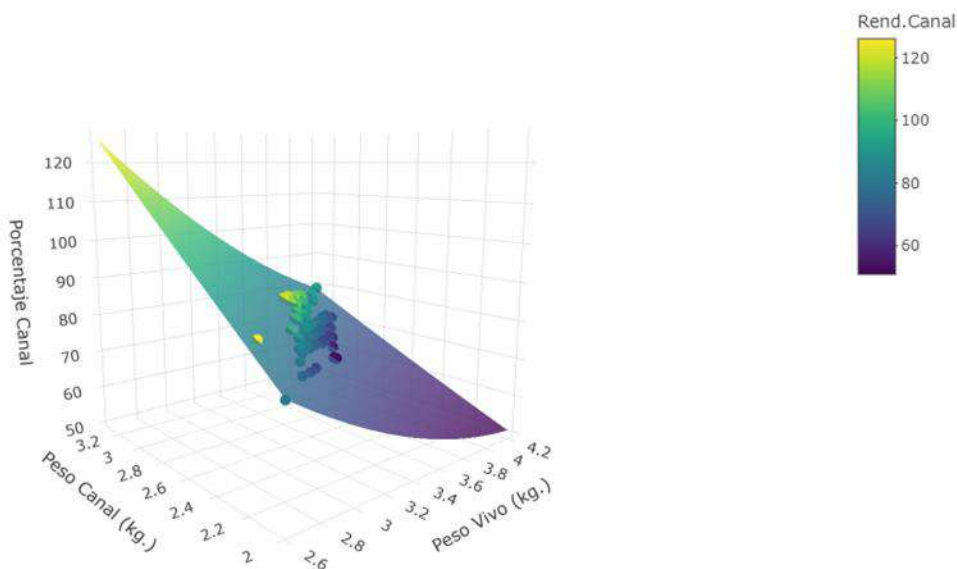
Valores	Modelo		
	P1	P11	P2I
σ^2	0.2319	0.2317	0.0270
R^2	0.9932	0.9933	0.9999
AIC	-0.0058	0.8321	-246.6502
BIC	8.3260	11.1342	-232.2271
β_0	77.6239** \pm 0.3580	74.9214** \pm 2.6098	78.1243** \pm 0.3111
β_1	-22.3497** \pm 0.2730	-21.6123** \pm 0.7563	-47.3623** \pm 0.4234
β_2	28.7893** \pm 0.3216	29.9034** \pm 1.1131	60.6463** \pm 0.5165
β_{12}	---	-0.3033 \pm 0.2901	-10.5162** \pm 0.5506
β_{11}	---	---	7.6591** \pm 0.2312
β_{22}	---	---	0.9035* \pm 0.3567

σ^2 = Varianza residual, R^2 = Coeficiente de determinación, AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano, β_0 = parámetro de intercepto, β_1 = parámetro de pendiente lineal de la variable peso vivo, β_2 = parámetro de pendiente lineal de la variable peso a la canal, β_{12} = parámetro de pendiente de la interacción entre la variable peso vivo y peso a la canal, β_{11} = parámetro de pendiente cuadrática de la variable peso de canal, β_{22} = parámetro de pendiente cuadrática de la variable peso vivo al momento de sacrificio.

Finalmente, con los valores de los parámetros estimados descritos en la tabla 6, se esboza la superficie de respuesta estimada en la figura 4, y basados en la tendencia gráfica allí mostrada, se ve una tendencia decreciente respecto a los pesos vivos, ya que se encuentra un punto de intercepto de 78.12 %, y luego se observa una tendencia decreciente respecto al peso vivo al momento de sacrificio, mientras que se ve una tendencia creciente a medida que aumentan los pesos al canal. Para este modelo, se estima los valores críticos, con fin de encontrar posibles valores máximos o mínimos, mediante el criterio de derivadas parciales, de modo que $\frac{\partial y}{\partial x_i} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$. En este estudio no se encuentran puntos máximos y mínimos, ya que utilizando el criterio de derivadas parciales, se determina los puntos críticos en $x_1 = 6.66$ kg de peso vivo y $x_2 = 5.20$ kg de peso a la canal, resultando en un rendimiento estimado de 78.04 %. Sin embargo, utilizando el criterio del hessiano con los parámetros presentes de β_{11} , β_{22} y β_{12} en la tabla 6, el determinante del sistema arroja un resultado negativo ($D = -82.91$), lo cual indica que este punto es un punto silla, ya que los rendimientos de canal estimados en el plano aumentan a medida que aumentan los pesos a la canal, pero disminuyen a medida que aumenta los pesos vivos.

Figura 4

Gráfico 3D de las variables peso vivo al momento de sacrificio (kg.), peso a la canal (kg.) y rendimiento a la canal (%), con el plano de estimación de un modelo de superficie de respuesta de orden 2.

**CONCLUSIONES**

El ajuste de modelos de curvas de crecimiento considerando estructuras de varianza residual heterocedásticas permite obtener estimaciones más precisas de los parámetros asociados al peso vivo en pollos Cobb 500. Este enfoque tiene en cuenta el comportamiento biológico del crecimiento de las aves, donde la variabilidad del peso tiende a incrementarse a medida que aumenta la edad. En general, las funciones evaluadas presentaron un mejor ajuste cuando se asumió una estructura de varianza residual de tipo potencial, la cual ofrece ventajas prácticas al establecer una relación directamente proporcional entre la varianza y la edad del animal. Entre los modelos analizados, la función de Weibull mostró el mejor desempeño de ajuste, permitiendo además estimar de forma directa parámetros biológicamente relevantes como el peso asintótico y el tiempo de inflexión de la curva de crecimiento.

Asimismo, se determinó que un modelo de superficie de respuesta de segundo orden con interacción lineal presenta un buen ajuste para explicar la variable de rendimiento de canal en función del peso vivo al momento del sacrificio y el peso de la canal. No obstante, para los fines de este estudio no se identificó un punto máximo o mínimo estimado dentro del rango de datos analizados. Por otra parte, el manejo general del sistema de producción avícola evaluado permitió alcanzar valores promedios de peso vivo de 3.84 kilogramos y un rendimiento promedio de canal superior al 76%. Estos resultados evidencian que los pollos de la línea Cobb 500 presentan un elevado y precoz potencial productivo para la obtención de carne.



AGRADECIMIENTO

Se expresa un sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de este estudio. En especial, a la empresa MELO y CÍA. por su valioso apoyo mediante el suministro de la alimentación utilizada durante el experimento. Asimismo, se reconoce el esfuerzo y la colaboración de todos los trabajadores del Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE), quienes contribuyeron de manera significativa en la construcción de la galera y en el manejo de las aves durante el proceso experimental.

De igual manera, se agradece a la secretaria administrativa Betzaida Jaén y al Decano Eldis Barnes, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por el apoyo administrativo brindado durante la ejecución de este estudio, facilitando los procesos necesarios para el desarrollo de la investigación. También se expresa un especial agradecimiento a los estudiantes de labor social de la Escuela de Ciencias Pecuarias y Desarrollo Agropecuario, quienes brindaron su valiosa colaboración durante las diferentes actividades del proyecto, contribuyendo al manejo de las aves y al desarrollo de las labores realizadas en el sistema de producción.

Su apoyo, compromiso y dedicación fueron fundamentales para la correcta ejecución de las actividades y el logro de los resultados obtenidos en este trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Brody, S. 1945. Bioenergetics and Growth. Rheinhold Pub. Corp., N.Y.

Cedeño Jeréz, L. S. (2019). Rendimiento de la canal de pollos Broilers de la línea Cobb 500 con diferentes sistemas de manejo en la época de invierno en Ecuador [Tesis de ingeniería no publicada]. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.

Demuner, L. F., Suckeveris, D., Muñoz, J. A., Caetano, V. C., Lima, C. G. D., Faria, D. E. D., & Faria, D. E. D. (2017). Adjustment of growth models in broiler chickens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 1241-1252.

Galán, I., Arando, A., González, A., Navas, F. J., Salgado, J. I., Díaz, E., Camacho, M. E. (2023). Caracterización de las curvas de crecimiento biológico de la gallina Andaluza Azul, una raza local amenazada. *Archivos de Zootecnia*, 72(279), 172-177. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v72i279.5730>

INEC (2024). Censo Nacional Agropecuario. Volumen VI. Características de la Actividad Pecuaria. Recuperado de <https://www.inec.gob.pa/archivos/P053342420250711101534Cuadro%2023.pdf>



- FAO (2024). FAOSTAT. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Marcu, A., Vacaru-opri, I., Dumitrescu, G., Petculescu, L., Marcu, A., Nicula, M., Pe, I., Dronca, D., Kelciov, B., Mari, C. (2013). The Influence of Genetics on Economic Efficiency of Broiler Chickens Growth. 46(2), 339–346.
- Maruyama, K., Vinyard, B., Akbar, M. K., Shafer, D. J., Turk, C. M. (2001). Growth curve analyses in selected duck lines. *British Poultry Science*, 42(5), 574-582.
- Mazucheli, J., Souza, R. D., Philippsen, A. S. (2011). Modelo de crescimento de Gompertz na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Biometria*, 29(1), 91-101. Recuperado de: https://biometria.ufla.br/antigos/fasciculos/v29/v29_n1/A7_mazucheli.pdf
- Mouffok C, Semara L, Ghoualmi N, Belkasmi F. 2019. Comparison of Some Nonlinear Functions for Describing Broiler Growth Curves of Cobb500 Strain. *Poultry Science Journal*. 7(1): 51-61.
- Nelder, J. A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/2527498>
- Pascalau, S., Cadar, M., Raducu, C., Marchis, Z. (2017). Evaluation of productive performances in Ross 308 and Cobb 500 hybrids. *Animal Biology & Animal Husbandry*, 9(1), 22-27. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Mirela-Cadar-2/publication/332497136_Evaluation_of_productive_performances_in_Ross_308_and_Cobb_500_hybrids/links/5cb85ab492851c8d22f352e5/Evaluation-of-productive-performances-in-Ross-308-and-Cobb-500-hybrids.pdf
- Pinheiro J. C., Bates D. M. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, New York.
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <https://www.R-project.org/>.
- Rosero, J. P., Guzman, E. F., Lopez, F. J. (2012). Evaluación del comportamiento productivo de las líneas de pollos de engorde Cobb 500 y Ross 308. *Bioteconología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 8-15.
- Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Juarez, D., Sakomura, N., Perazzo, F., Saraiva, A., Teixeira, M., Rodrigues, P., Oliveira, R., Barreto, S., Brito, C. (2017). *Tablas Brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. (4a ed.). Rostagno. Universidad Federal de Viçosa. <https://bitly.ws/UP9f>
- Saavedra, R., Mudarra, R., Cedeño, H., Pimentel, T. (2024). Comparación de Modelos No Lineales para el ajuste de Curvas de Crecimiento y estimación de parámetros productivos en pollos Cobb 500. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 6(2), 97-119.



- Spiess, A. N., Neumeyer, N. (2010). An evaluation of R^2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC Pharmacology*, 10(1), 1-11. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/1471-2210-10-6>
- Verhulst, P. F. (1847). Deuxième mémoire sur la loi d'accroissement de la population. 269. Hayez.
- Vitezica, Z. G., Marie-Etancelin, C., Bernadet, M. D., Fernandez, X., & Robert-Granié, C. (2010). Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. *Poultry Science*, 89(8), 1778-1784.
- von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Winsor, C. P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 18(1), 1-8.



Efecto del tiempo de calentamiento sobre el contenido de 5-Hidroximetilfurfural (HMF) y la actividad de diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) en Costa Rica

Effect of heating time on 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) content and diastase activity in honey from bees (*Apis mellifera*) in Costa Rica

*Tamara Pimentel. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

María del Rocío Alfaro Avendaño. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

maria.alfaro.avendano@una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0006-0555-8101>

Eduardo Umaña. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

eduardo.umana.rojas@una.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-1872-4571>

*Autor de Correspondencia: tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr

Recibido: 15/03/2026

Aceptado: 05/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10102>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento térmico a 55 °C aplicado durante distintos tiempos sobre la calidad química de la miel de abejas (*Apis mellifera*), mediante la determinación del contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la diastasa. Se analizaron 45 muestras en total y cinco tratamientos correspondientes a distintos tiempos de exposición al calor: 0 h (testigo), 24, 48, 72 y 96 horas. Cada tratamiento se evaluó con diez repeticiones, con excepción del testigo con (cinco muestras). Los análisis químicos se realizaron antes y después de los tratamientos, en el Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), siguiendo los métodos armonizados de la Comisión Internacional de la Miel. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey y un análisis de correlación de Pearson entre ambas variables. Los resultados mostraron el incremento del tiempo de exposición al calor, lo cual provocó un aumento significativo ($p < 0.05$) en los niveles de HMF y una disminución de la diastasa. La prueba Tukey permitió identificar los tratamientos con comportamiento similar y el análisis de correlación reveló una relación alta y negativa ($r = -0.70$) entre el contenido de HMF y la diastasa, lo cual indica que el deterioro térmico de la miel afecta simultáneamente ambos indicadores. En conclusión, los tratamientos de 24 y 48 horas a 55 °C presentaron menores alteraciones en ambos parámetros, por lo que se consideran las condiciones más adecuadas para preservar la calidad de la miel.

PALABRAS CLAVE: apicultura, calidad de miel, tratamiento térmico.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the effect of heat treatment at 55 °C applied for different durations on the chemical quality of honey (*Apis mellifera*), by determining the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and diastase. A total of 45 samples were analyzed, representing five treatments with different heat exposure times: 0 h (control), 24, 48, 72, and 96 hours. Each treatment was evaluated with ten replicates, except for the control (which had five samples). Chemical analyses were performed before and after the treatments at the Tropical Apicultural Research Center (CINAT), following the harmonized methods of the International Honey Commission. The data obtained were analyzed using an analysis of variance. Subsequently, Tukey's multiple comparison test and Pearson's correlation analysis were applied between the two variables. The results showed that increased heat exposure time led to a significant increase ($p < 0.05$) in HMF levels and a decrease in diastase. Tukey's test identified treatments with similar behavior, and correlation analysis revealed a strong negative relationship ($r = -0.70$) between HMF content and diastase, indicating that thermal deterioration of honey simultaneously affects both indicators. In conclusion, the 24 and 48 hour treatments at 55 °C showed less alteration in both parameters, so they are considered the most suitable conditions to preserve the quality of the honey.

KEYWORDS: beekeeping, honey quality, heat treatment.



INTRODUCCIÓN

La miel de abejas (*Apis mellifera*) es de composición compleja, formada principalmente de carbohidratos (60-80 %), y agua (12-23 %) (De-Melo et al., 2017). Además, contiene proteínas, minerales, vitaminas, enzimas y productos de la reacción de Maillard, compuestos volátiles y varias sustancias bioactivas (fenoles y flavonoides), entre otros, nutrientes en pequeñas cantidades. Estos parámetros contribuyen en la vida útil junto con otros factores como el aroma, palatabilidad, color, textura e higroscopia y pueden variar según su origen fitológico y geográfico (Cano et al., 2001; Muradian et al., 2013; De-Melo et al., 2017).

Los componentes presentes en la miel pueden deteriorarse cuando el producto se somete a almacenamientos prolongados con temperaturas inapropiadas mayores de 27 °C o a tratamientos térmicos superior a 75 °C. Estas condiciones pueden provocar una disminución de la actividad enzimática, pérdida de la actividad antimicrobiana y alteraciones en las características sensoriales, como el sabor y el aroma, debido a la degradación de sus compuestos naturales. Además, se favorece el aumento del contenido del 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la reducción de la actividad de diastasa (Hernández et al., 2012).

La miel es uno de los productos principales en la apicultura moderna, por lo tanto, por ser de consumo humano (alimenticio), debe cumplir con reglamentos o normas estipuladas que permitirán verificar la calidad de la miel, como las propiedades organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas. Algunos de los parámetros que permiten verificar la calidad de la miel son el contenido de HMF, junto con la actividad de la diastasa, siendo algunos de los principales indicadores de mieles viejas, sobrecalentadas y adulteradas (Ureña et al., 2007).

Es importante determinar las condiciones de temperatura adecuadas que se utilizan en los procesos térmicos de la miel, ya que este producto es muy comercializado y consumido como un alimento muy bondadoso por su composición e inocuidad, por lo tanto, es indispensable determinar de manera correcta las temperaturas en los procesos evitando la pérdida de componentes beneficiosos, preservando su calidad, olor, sabor y otros (De-Melo et al., 2017).

Algunos de los indicadores principales que permiten conocer la calidad y frescura de la miel es el HMF permitido no superior de 40 mg/kg de climas fríos y templados y en zonas de ambiente tropical el HMF no debe exceder los 80 mg/kg. La actividad de la diastasa no debe ser inferior a 8 unidades Schade según el decreto N° 43180 de Costa Rica (Decreto N° 43180, 2022) para mieles multiflorales.

Por consiguiente, en este estudio se pretende explicar la influencia de distintos tiempos de calentamiento a 55 °C sobre el contenido de HMF y la actividad de diastasa, lo cual es fundamental para orientar a los técnicos y productores de miel de abejas (*Apis mellifera*), sobre las condiciones adecuadas de calentamiento (temperatura y tiempo) para mantener las cualidades beneficiosas de la miel, acorde con la normativa nacional e internacional vigente para este producto.



MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Apícola del Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales, de la Universidad Nacional (UNA), ubicada en el Campus Benjamín Núñez, provincia de Heredia, Costa Rica (9°58'22" N; 84°07'46"O).

Análisis de muestras

Para el desarrollo del experimento se analizaron 45 submuestras de miel de abejas (*Apis mellifera*), las cuales fueron sometidas a diferentes tratamientos térmicos con el objetivo de evaluar el efecto del calentamiento sobre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la diastasa. Las muestras fueron expuestas a una temperatura constante de 55 °C, variando únicamente en el tiempo de tratamiento. Los niveles evaluados correspondieron a 0 horas (testigo), 24, 48, 72 y 96 horas de exposición al calor. El tratamiento T0 (0 horas) consistió en cinco muestras sin tratamiento térmico, utilizadas como referencia para comparar los efectos del tiempo de calentamiento.

Para la preparación de las muestras experimentales, inicialmente se recolectaron cinco muestras de miel de 500 ml de productores locales costarricenses, las cuales fueron analizadas para determinar su contenido inicial de HMF, diastasa, humedad y acidez libre, con el fin de verificar que las mieles utilizadas en el ensayo se encontraban inicialmente en condiciones adecuadas de calidad. Posteriormente, a partir de estas cinco muestras (testigo), se obtuvieron las 10 submuestras de 30 ml para cada tratamiento térmico, generando el conjunto de 45 observaciones experimentales utilizadas para el análisis estadístico.

La determinación del contenido de HMF y la diastasa se realizó utilizando los métodos armonizados de la Comisión Internacional de la Miel, según descrito por Bogdanov et al. (2002).

En la Tabla 1 se muestra el análisis químico para verificar que las mismas se encuentren dentro de los límites establecido en la miel, manteniendo niveles aceptables de diastasa y HMF. Además, se determinó la humedad y acidez libre, como otros indicadores de referencias en la calidad del producto.

Tabla 1

Análisis químico de las muestras de miel de abejas (Apis mellifera) utilizadas en el ensayo antes del tratamiento térmico.

Muestra 500 ml	Diastasa UGothe/g	HMF mg/Kg	Humedad %	Acidez libre meq/kg
Límites	8 Min	80 Max	21 Max	50Max
1	19	0	19,0	29,77
2	26	6	20,3	25,32
3	9	45	17,1	37,97
4	20	13	18,0	24,06
5	24	22	15.6	33.53

Límites: son valores de referencia permitidos para garantizar la calidad de miel descritas por el Codex Alimentarius (2001).



Posteriormente, los datos obtenidos de cada análisis químico correspondiente a cada tratamiento fueron organizados en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel de forma ordenada y compatible para su posterior procesamiento y análisis.

Diseño y Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un factor (tiempo), empleando el siguiente modelo estadístico lineal utilizado para el análisis de varianza:

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = valor observado de las variables de respuesta (HMF y Diastasa), en el tratamiento i y su repetición j .

μ = media general del experimento.

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento térmico de 55°C (i = 0, 24, 48, 72 y 96 horas).

e_{ij} = error experimental asociado a cada observación.

Para verificar el supuesto de normalidad se usó la prueba de Shapiro-Wilk y para verificar la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Levene. Posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para las variables HMF y diastasa. Además, se empleó la comparación de media múltiple Tukey, para comparar los tratamientos. Finalmente, se realizó la correlación de Pearson entre ambas variables del estudio. Para representar los promedios se elaboraron gráficas de cajas. La significancia considerada para las evaluaciones estadísticas fue el 5 % de error ($p < 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS

5-Hidroximetilfulfural HMF (mg/kg)

El análisis de varianza (ANOVA) presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p = 0.0174$), lo que confirma que el tiempo de calentamiento influye significativamente en la formación de HMF en la miel. Asimismo, la prueba de comparación múltiple de Tukey indicó que los tratamientos de 72 y 96 horas presentaron los valores más altos de HMF, mientras que los tratamientos 0 y 24 horas mostraron los valores más bajos, reflejando un incremento asociado al tiempo de exposición térmica (Figura 1).

Al comparar el tratamiento testigo (0 h) con los tratamientos térmicos aplicados, se observó un incremento progresivo en la concentración de HMF conforme aumentó el tiempo de calentamiento. En relación con el testigo, el tratamiento de 24 horas presentó un aumento promedio de 44.80 %, mientras que los tratamientos de 48, 72 y 96 horas registraron incrementos de 104.02%, 177.29% y 233.83%, respectivamente. Esto indica una relación consistente entre el tiempo de exposición al calor y la formación del HMF, mostrando la acumulación continua durante el tratamiento térmico utilizado.

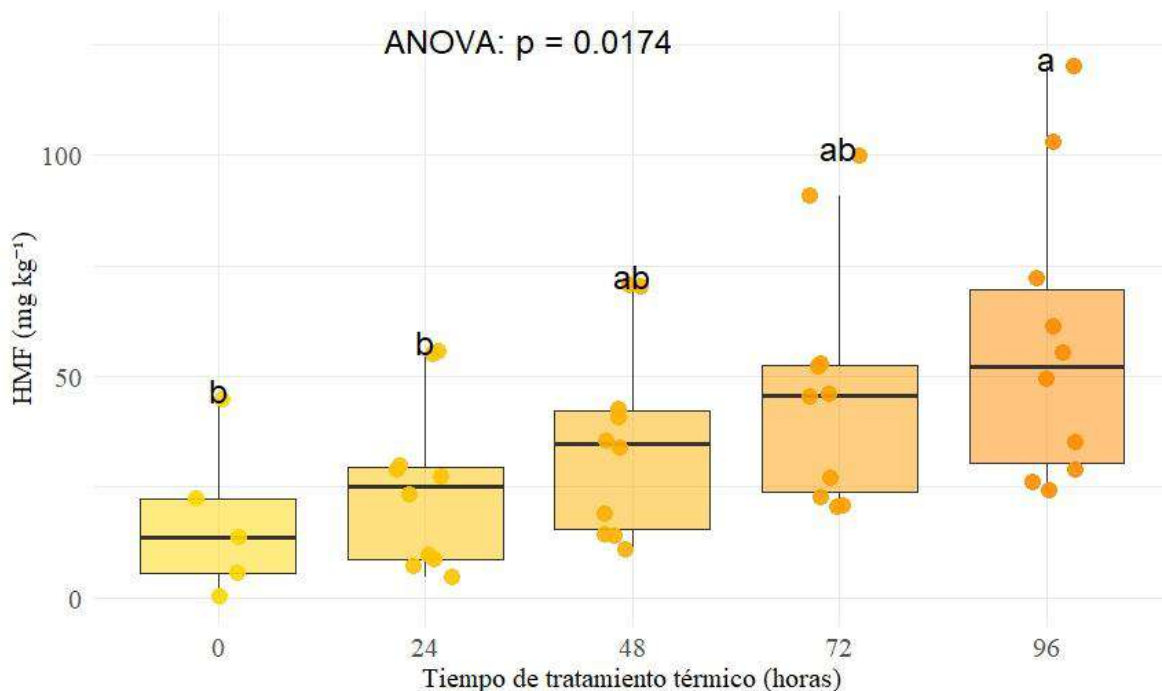


Asimismo, al evaluar el porcentaje de incremento entre tratamientos consecutivos, se observó que el aumento entre 24 y 48 horas fue de 40.9%, mientras que los incrementos entre 48 y 72 horas y entre 72 y 96 horas fueron de 35.9 % y 20.4%, respectivamente. Aunque la concentración de HMF continuó incrementado, la magnitud del aumento entre intervalos sucesivos fue disminuyendo progresivamente. Este comportamiento sugiere que la formación de HMF ocurre con mayor rapidez durante las etapas iniciales del calentamiento y posteriormente continúa acumulándose, pero a una tasa menor conforme avanza la exposición térmica.

En conjunto, estos resultados confirman que el HMF es un indicador sensible del deterioro térmico de la miel, ya que su concentración aumenta progresivamente con el tiempo de calentamiento.

Figura 1

*Efecto del tiempo de calentamiento a 55 °C sobre el contenido de 5-hidroximetilfurfural HMF (mg/kg) en miel de abeja (*Apis mellifera*) de Costa Rica (n = 45). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), mediante la prueba Tukey.*



Diastasa (UGothe/g)

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0.00226$), lo que confirma que el tiempo de tratamiento térmico influye significativamente en el contenido de la diastasa en la miel. La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que los tratamientos con mayor tiempo de exposición térmica presentaron las menores actividades enzimáticas (Figura 2).

Los niveles de diastasa mostraron una disminución progresiva conforme aumentó el tiempo de tratamiento térmico a 55 °C. El tratamiento testigo (0 horas) presentó los valores más altos de



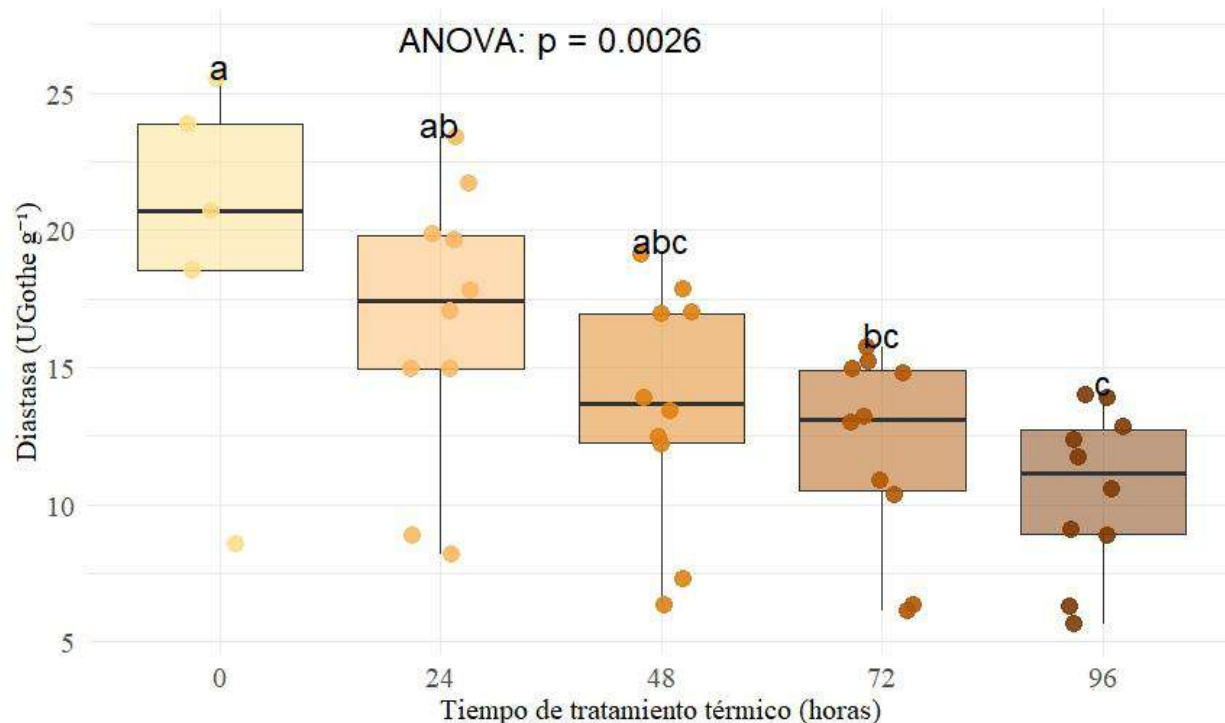
diastasa, con una mediana cercana a 21 UGothe/g, indicando que la miel mantenía su actividad enzimática original antes de ser sometida al calentamiento del estudio.

En comparación con el testigo, el tratamiento de 24 horas mostró una reducción aproximada de (14.38 %) de diastasa, con valores cercanos a 17 UGothe/g. Posteriormente, el tratamiento de 48 horas presentó una disminución más marcada, alcanzando aproximadamente 14 UGothe/g, lo que corresponde a una reducción cercana al (29.71 %), mientras que el tratamiento de 72 horas presentó reducción de (37.92 %), y el tratamiento de 96 horas presentó los valores más bajos de diastasa, alrededor de 11 UGothe/g, representando una disminución aproximada del 45.83% en comparación con el tratamiento testigo.

En conjunto, estos resultados indican que la actividad de la diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) disminuye progresivamente con el aumento del tiempo de calentamiento a 55 °C, lo que confirma que este parámetro de calidad es un indicador sensible del deterioro térmico de la miel, complementando la información proporcionada por el contenido de HMF.

Figura 2

Efecto del tiempo de calentamiento a 55 °C sobre la actividad de diastasa (UGothe/g) en miel de abeja (*Apis mellifera*) de Costa Rica, (n = 45). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) mediante la prueba Tukey.



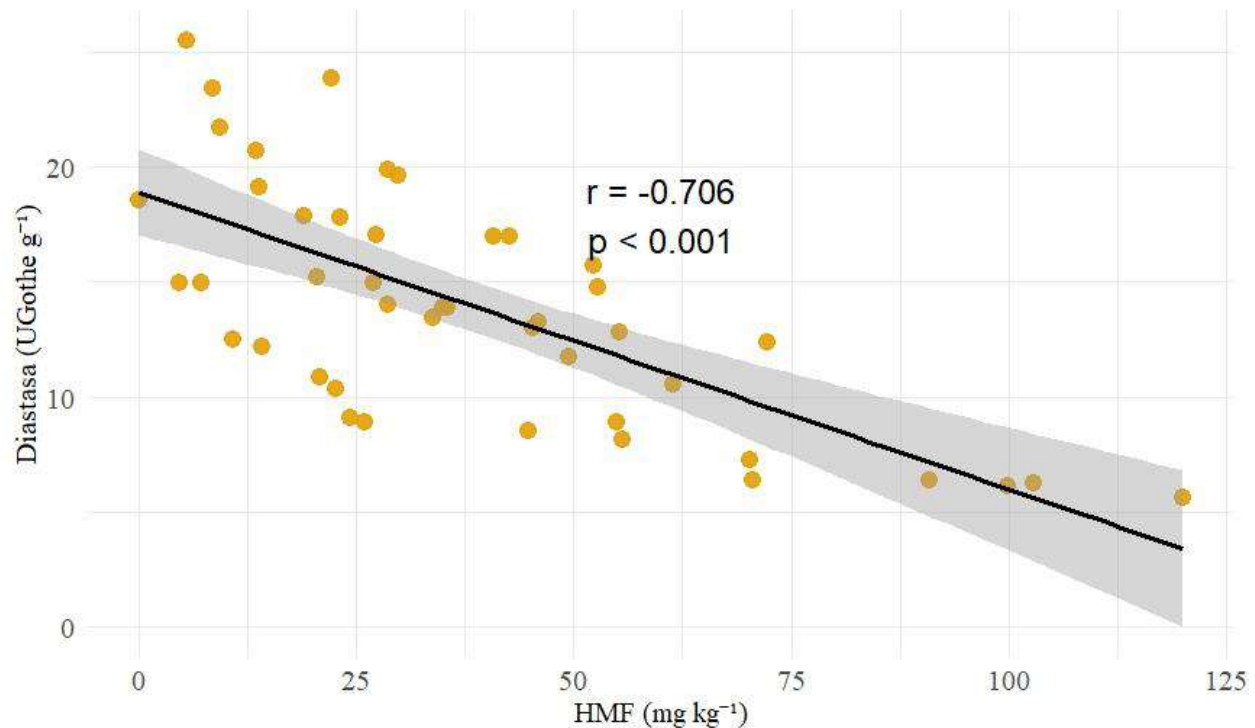
Correlación entre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y diastasa

El análisis de correlación evidenció una relación altamente significativa ($p = 5.89 \times 10^{-8}$) entre el contenido de HMF y la diastasa de la miel. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = -0.706$)

indicó una correlación negativa fuerte, lo que significa que a medida que aumenta la concentración de HMF, la diastasa tiende a disminuir. Este resultado confirma que el incremento de HMF está estrechamente asociado con la pérdida de actividad enzimática en la miel (Figura 3).

Figura 3

Correlación de Pearson entre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la actividad de diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) de Costa Rica ($n = 45$), sometidas a tratamientos térmicos de 55 °C, durante (0-96 horas).



Desde el punto de vista tecnológico, este comportamiento se explica porque el HMF es un producto de degradación que se forma durante el calentamiento o almacenamiento prolongado de la miel, principalmente por reacciones de deshidratación de azúcares como la fructuosa. Paralelamente, la diastasa es una enzima naturalmente presente en la miel que es sensible a las altas temperaturas, por lo que su actividad disminuye cuando el producto es sometido a tratamientos térmicos prolongados.

La pendiente negativa observada en el modelo de regresión lineal confirma esta tendencia: muestras con mayor concentración de HMF presentan sistemáticamente menores valores de diastasa. Esto sugiere que ambos parámetros actúan como indicadores complementarios de deterioro térmico de la miel.

En términos prácticos, estos resultados indican que el incremento del HMF puede utilizarse como un indicador indirecto de la pérdida de la calidad enzimática de la miel, mientras que la disminución de la diastasa refleja la degradación de las enzimas naturales del producto. Por ello, la evaluación conjunta de HMF y diastasa es ampliamente utilizada en los estándares



internacionales de calidad de miel para detectar procesos de sobrecalentamiento o almacenamiento prolongado.

DISCUSIÓN

Determinar el comportamiento de estos parámetros de calidad de miel permitió identificar el grado de tolerancia al tratamiento térmico de 55 °C entre los periodos utilizados en este ensayo (0, 24, 48, 72 y 96 horas). Por lo tanto, se evidenció el efecto del calentamiento y el tiempo de exposición sobre los dos indicadores HMF y diastasa.

Los dos indicadores fundamentales de calidad en la miel presentaron comportamientos opuestos y complementarios, ya que a medida que el HMF aumentaba progresivamente en los diferentes tratamientos, la diastasa se redujo de forma significativa, mostrando la degradación enzimática por el efecto del calor. Estos resultados fueron similares a los encontrados por (Bogdanov et al., 1999; Fallico et al., 2004; Sawarkar, 2024) quienes mostraban que el incremento del HMF y la disminución de la diastasa son indicadores puntuales y efectivos del envejecimiento y deterioro térmico de la miel de abejas (*Apis mellifera*).

El *Codex Alimentarius* (2001), indica que los valores de diastasa deben mantenerse por arriba de 8 UGothe/g, mientras que el HMF debe estar por debajo de 80 mg/kg. En este estudio la media obtenida por cada tratamiento se mantuvo en estos rangos indicados. Sin embargo, es importante destacar que los tratamientos térmicos con 24 y 48 horas mantuvieron menores alteraciones de estos parámetros, por lo que se consideran más eficiente para conservar la calidad de la miel. Adicional al tratamiento térmico, es necesario informar que el comportamiento de estos parámetros puede ser afectados por las prácticas de cosecha, transporte, almacenado, origen floral y geográfico entre otros, (Zappalà et al., 2005; Al-Waili et al., 2012).

Bajo este escenario, el efecto del tiempo de calentamiento sobre los resultados del contenido del HMF y la diastasa, justifica el comportamiento progresivo de estas variables dentro del intervalo de tiempo evaluado (0 a 96 horas). En este rango, la actividad de estas dos variables muestra la relación directa con el HMF e indirecta con la diastasa, en el tiempo de calentamiento prolongado en este estudio.

Estos resultados mostrados anteriormente son adecuados, ya que el comportamiento de estas dos variables ocurre de forma progresiva (Turhan et al., 2008). Por lo tanto, este ensayo es una herramienta práctica para comparar la sensibilidad térmica entre diferentes muestras de mieles, permitiendo estimar tasas de pérdida enzimática en el caso de la diastasa o la formación del HMF para proyectar comportamientos similares (Bogdanov et al., 1999; Escudero et al., 2014).

En cuanto al análisis de correlación de Pearson entre las variables diastasa y HMF la correlación fue negativa significativa, confirmando el efecto destructivo sobre las enzimas termolábiles presentes en la miel. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado, ya que durante el calentamiento las reacciones de degradación de los azúcares, principalmente la fructosa, genera el HMF, mientras que la diastasa se desnaturaliza progresivamente por acción térmica (Fallico et al., 2004; Sousa et al., 2016).



En general, los resultados encontrados muestran que la formación de HMF se ve potenciada por las condiciones térmicas y químicas que impulsan la pérdida de agua y la descomposición de carbohidratos reductores. Esto consolida al HMF como un parámetro térmico confiable del detrimento de la calidad de la miel, dado que su incremento refleja tanto la intensidad como la duración del tratamiento térmico y las características iniciales en la miel (Tertrab et al., 2008; Rybak-Chmielewsk & Szczesna, 2018).

Por otro lado, la diastasa, presenta una relación inversa con el grado de calentamiento y con el contenido de azúcar, sugiriendo su pérdida en la actividad relacionándola con la desnaturalización proteica provocada por el calor, la evolución de reacciones de oxidación y caramelización que alteran el contenido de la miel de abejas (Sousa et al., 2016).

CONCLUSIONES

El tiempo de calentamiento a 55 °C influyó significativamente en la calidad de la miel de abejas (*Apis mellifera*), aumentando el contenido de 5-hidroxi-melfurfural (HMF), y reduciendo la actividad de diastasa. En este contexto, los tratamientos térmicos moderados de (24 y 48 horas a 55 °C) permitió mantener mejores condiciones para preservar la calidad de la miel durante su procesamiento.

El análisis de correlación mostró una relación negativa entre el HMF y la diastasa, evidenciando que a mayor formación de HMF, menor es la actividad enzimática de la miel; por tanto, el análisis conjunto de ambos indicadores fortalece la evaluación del deterioro térmico, lo cual es fundamental para garantizar la calidad de la miel para el consumo.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT) por el apoyo brindando durante el desarrollo de esta investigación y por las facilidades proporcionadas para la obtención y análisis químico de las muestras de miel usadas en este ensayo. De manera especial, se reconoce el valioso acompañamiento académico de los profesores del Programa de Maestría en Apicultura Tropical, cuya orientación y aportes científicos contribuyeron significativamente al desarrollo y fortalecimiento de este estudio. También se agradece al personal técnico y a los productores apícolas que facilitaron las muestras de miel en esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.



REFERENCIAS

- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J. (2012). Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: Human health hazards. *The Scientific World Journal*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1100/2012/930849>
- Bogdanov, S., & Martin, P. (2002). Honey authenticity: A review. *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 93, 232–254.
- Bogdanov, S., Martin, P., & Lüllmann, C. (1999). *Harmonised methods of the European Honey Commission*. *Apidologie*, Extra Issue, 1–59. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19980200248>
- Cano, C. B., Felsner, M. L., Matos, J. D. R., Bruns, R. E., Whatanabe, H. M., & Almeida-Muradian, L. D. (2001). Comparison of methods for determining moisture content of citrus and eucalyptus Brazilian honeys by refractometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(1), 101–109. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0951>
- Codex Alimentarius Commission. (2001). *Revised Codex standard for honey (CODEX STAN 12-1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2 (2001))*. FAO/WHO Food Standards Programme. fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B12-1981%252Fcx_012e.pdf
- De Melo, A. A., Almeida-Muradian, L. B. de, Sancho, M. T., & Pascual-Maté, A. (2017). Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 5–37. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>
- Decreto N.º 43180-MEIC-MAG, del 20 de enero del 2020. (2020). *Resolución RTCR 500: 2020. Productos apícolas. Miel de abejas. Especificaciones*. Ministerio de Economía, Industria y Comercio & Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://vlex.co.cr/vid/decreto-ejecutivo-n-43180-882943407>
- Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2014). Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food Chemistry*, 149, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.097>
- Fallico, B., Zappalà, M., Arena, E., & Verzera, A. (2004). Effects of conditioning on HMF content in unifloral honeys. *Food Chemistry*, 85(2), 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.006>
- Hernández, M. A. L., Moreno, O. P., Pereira, D. S., & Téllez, A. L. R. (2012). Determinación de propiedades termofísicas en diferentes mieles de abeja recolectadas en el estado de Puebla. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, 7(4), 41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7422276>.



- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado en 22 de junio de 2022, URL <https://www.R-project.org/>.
- Rybak-Chmielewska, H., & Szczęśna, T. (2018). Changes in diastase activity, hydroxymethylfurfural content and invertase activity in Polish honeys during storage at different temperatures. *Journal of Apicultural Science*, 62(2), 189–199. <https://doi.org/10.2478/jas-2018-0017>
- Sawarkar, A. B. (2024). Effect of Different Storage Conditions on HMF, Diastase and Invertase Activity in A. florea Honey from Jalgaon District, North Maharashtra, India. Uttar Pradesh *Journal of Zoology*, 45(21), 273-282. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i214636>
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: Effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>
- Sousa, J. M. B., Souza, E. L., Marques, G., Benassi, M. T., Gullón, B., Pintado, M. M. E., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.058>
- Terrab, A., Recamales, Á. F., Hernanz, D., & Heredia, F. J. (2008). Influence of botanical origin on the physicochemical parameters and antioxidant activity of honeys from the southwestern Iberian Peninsula. *Food Chemistry*, 106(3), 1106–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.047>
- Turhan, I., Tetik, N., Karhan, M., Gurel, F., & Tavukcuoglu, H. R. (2008). Quality of honeys influenced by thermal treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 41(8), 1396–1399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.008>
- Ureña Varela, M., Arrieta Bolaños, E., Umaña, E., Zamora, L. G., & Arias Echandi, M. L. (2007). Evaluación de la posible adulteración de mieles de abeja comerciales de origen costarricense al compararlas con mieles artesanales provenientes de apiarios específicos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(1), 63–69. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222007000100009&script=sci_arttext
- Yupangui, D. A. R., Castelo, G. A. I., Capus, C. P., & Navarrete, E. V. F. (2020). Afectación térmica de la miel de abeja en una metodología alternativa, monitoreando hidroximetilfurfural, número de diastasa y vitamina C. *Conciencia Digital*, 3(2.1), 41–63. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1.1219>



Zappalà, M., Fallico, B., Arena, E., & Verzera, A. (2005). Methods for the determination of HMF in honey: A comparison. *Food Control*, 16(3), 273–277.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.03.006>



Comparación de dos granjas agroecológicas en la transformación de sabanas de la Orinoquia (Colombia): afinidades y contrastes

Comparison of agroecological farms in the transformation of the savannahs of Orinoquia (Colombia): affinities and contrasts

*Amanda Silva Parra. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Colombia.

asilvap@unillanos.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-9872-790X>

Pedro Júlío Gómez Bilbao. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Colombia.

pbilbao@unillanos.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-6095-2044>

Jorge Alberto Rangel Mendoza. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Colombia.

jorge.rangel@unillanos.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-2563-2544>

*Autor de Correspondencia: asilvap@unillanos.edu.co

Recibido: 09/03/2026

Aceptado: 07/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10103>

RESUMEN. El artículo tiene por objetivo analizar dos Granjas agroecológicas: La Granja Agroturística Aula Viva Tropical y Agroecológica La Pelusa de Piedemonte Llanero (Lejanías) y Altillanura (Pto. Gaitán) respectivamente, en su rol en la transformación de sabanas de la Orinoquia. La investigación es de carácter exploratorio y deductivo que sigue la ruta del diagnóstico socio ecológico, se realizó entrevista a informante clave. La Granja Aula viva Tropical es un sistema agro-energético que integra la sostenibilidad y el aprovechamiento de los bienes y servicios locales, el agua, la oferta del suelo, y los modelos de negocios rentables agroindustriales y ambientalmente sostenibles. La Pelusa es agroecológica productiva con un enfoque regenerativo y de aprovechamiento de los recursos locales permitiendo mejorar la fertilidad del suelo, la cobertura vegetal, la diversificación de actividades productivas, entre agrícolas, pecuarias, y el aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas como la solar. Son dos tipos de apuestas agroturísticas, que imparten formación en innovación campesina, siendo actores de cambios sociales, económicos y productivos para la transformación sostenible de las sabanas en la región.

PALABRAS CLAVE: agroturismo, desarrollo rural, diversificación, educación informal, recursos, sostenibilidad, suelo.

ABSTRACT. This article aims to analyze two agroecological farms: the Aula Viva Tropical Agrotourism Farm and the La Pelusa Agroecological Farm, located in the Llanero Piedmont (Lejanías) and the Altillanura region (Puerto Gaitán), respectively, focusing on their role in the transformation of the Orinoco savannas. The research is exploratory and deductive, following a socio-ecological diagnostic approach, interview was conducted with key informant. The Aula Viva Tropical Farm is an agroenergy system that integrates sustainability and the use of local goods and services, water, soil resources, and profitable, environmentally sustainable agro-industrial business models. La Pelusa is a productive agroecological farm with a regenerative approach that utilizes local resources, improving soil fertility, vegetation cover, and diversifying productive activities, including agriculture, livestock, and the use of alternative energy sources such as solar power. These are two types of agritourism initiatives that provide training in peasant innovation, acting as agents of social, economic and productive change for the sustainable transformation of the savannas in the region.

KEYWORDS: agrotourism, diversification, informal education, resources, rural development, soil, sustainability.



INTRODUCCIÓN

El artículo tiene como objetivo analizar las tendencias de dos granjas agroecológicas incrustadas en las sábanas de Piedemonte y Altillanura, se pretende identificar las bases conceptuales en torno a los modelos agroecológicos, estrategias implementadas y destacar afinidades y contrastes que emergen entre ellas, lo que permite comprender el alcance del enfoque agroecológico en un contexto particular como son la transformación de las sábanas en modelos sostenibles.

A nivel mundial, las sabanas son un ecosistema importante, cubriendo una sexta parte de la superficie terrestre y representando el 30% de la producción primaria de toda la vegetación terrestre (Grace et al., 2006). En América del Sur la sabana cubre más de 2,1 millones de km². La extensión aproximada de las sabanas en Colombia es de 18 millones de hectáreas, la altillanura plana de la Orinoquia, ocupa una extensión de 3.4 millones de hectáreas en sabanas (Delgado-Huertas et al., 2018), las cuales vienen siendo transformadas a monocultivos de palma de aceite, semestrales, caucho y pastos introducidos como *Brachiaria* sp. para ganadería intensiva y extensiva, que han incrementado los procesos de degradación del suelo y el ambiente (Silva-Parra, 2018), como también han impactado el ámbito social y económico (Carriazo et al., 2020).

Por su parte, discutir sobre el enfoque de la agroecología a contextos de sabanas (Chimi et al., 2025), ha sido un tema relevante en zonas tropicales, desde su fundamentación teórica (Altieri & Toledo, 2011), para llevar los conceptos a la implementación de modelos agroecológicos productivos con el fin de solucionar problemas relacionados con la deforestación, la quema recurrente de sabanas (Huertas-Herrera et al., 2021; Bernardino et al., 2022), la degradación de los suelos (Abreu et al., 2017), la baja productividad de las sábanas, la producción agrícola y animal, como los problemas sociales y económicos a los cuales se enfrentan las regiones (Altieri, 2009).

De ahí que, en entornos rurales de sabanas nativas, la implementación de enfoques agroecológicos dirigidos a una transformación sostenible es una tarea que viene siendo reconocida en diversos contextos (Rizzo et al., 2024), porque valoriza el conocimiento tradicional de los productores en los sistemas locales, los conceptos de sinergia, reciclaje e integración de los recursos con el medio ambiente (Guodaar et al., 2021), elementos determinantes para enfrentar de una forma holística el agotamiento de los recursos naturales, la falta de alimento sano, y el cambio climático, entre otros (Dooley & Grady Roberts, 2020), donde las nuevas tecnologías se plantean desde la gestión del suelo, el agua, el aire y la biodiversidad (Carriazo et al., 2020), asociados a costos y beneficios (Woroniecki et al., 2019).

En este contexto, los productores de las sabanas, ven la necesidad de buscar alternativas sostenibles de producción con un enfoque agroecológico que permitan planificar el uso del suelo (Cleves et al., 2017). La agroecología surge como una respuesta a la búsqueda de una actividad productiva sustentable. Las decisiones que toman los agricultores para la transición hacia una producción agroecológica dependen no solo de la tecnología y de los recursos locales disponibles, sino también de numerosos aspectos del sistema social, económico e institucional circundante (Cevallos-Suarez et al., 2019), para una gobernanza ecosistémica (Tengö et al., 2014).

En relación con lo anterior, este artículo de investigación de tipo documental analiza las afinidades y contrastes de dos modelos agroecológicos de sabana del Meta. Para el análisis se establecieron



tres preguntas de investigación, 1) ¿Como son los contextos geográficos donde se insertan las granjas? 2) ¿cuáles son los aspectos teóricos de los enfoques agroecológicos que se destacan en las dos granjas y qué metodologías se emplean para su implementación? y 3) ¿Cuáles son los principales resultados y proyecciones de la aplicación del enfoque agroecológico en la transformación de las sabanas?

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación

La Granja Agroturística Aula Viva Tropical se encuentra en la Vereda Angosturas del Guape del municipio de Lejanías, a 7 y 132 kilómetros del casco urbano y de Villavicencio, con 12.550 habitantes y una densidad poblacional de 0,15 personas/ha (DNP, 2018). El nombre Granja Agroturística Aula Viva Tropical fue asignado por el propietario, José Paulino Zarate, y su hermano, Juan Pablo Zárate, fundamentados en que la única forma de aprender es viviendo, haciendo y enseñando. Según el IGAC (2021) el predio no tiene nombre. La Finca Agroecológica La Pelusa, se encuentra entre las veredas Puerto Tejada y el Corregimiento de Cumaribo, municipio de Puerto Gaitán, a 21 y 212 kilómetros del casco urbano y de Villavicencio, con 46127 habitantes, el 32% son indígenas; densidad poblacional de 0,03 personas/ha (DNP, 2018b; Alcaldía de Puerto Gaitán, 2018). Fue fundada por iniciativa del señor Carlos Almanza y su esposa, Martha Díaz, hace 12 años. La finca tiene el nombre de Parcela 9 (IGAC, 2021), el desarrollo agroturístico se encuentra en la parte oriental del predio.

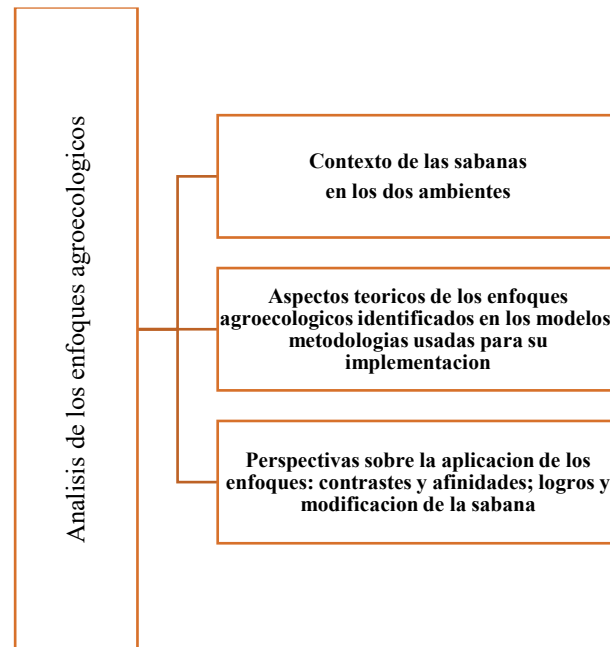
Tipo de investigación

El enfoque epistemológico de esta investigación es de tipo cualitativo desde lo racionalista-deductivo reconociendo que ambos enfoques transcurren entre la objetividad, subjetividad e intersubjetividad de los sistemas y subsistemas (holístico-deductivo) (De Berríos & Briceño de Gómez, 2009), y recurriendo a la perspectiva de base de evidencia múltiple frente a la conexión de los sistemas de conocimiento (Tengö et al., 2014), con la sostenibilidad.

Para dar respuesta a las preguntas de investigación, metodológicamente la investigación es de carácter exploratorio y deductivo que sigue la ruta del diagnóstico socio ecológico (Berrouet et al., 2018) y se aborda desde las dimensiones ambiental, social y económica (Banos-González et al., 2018), de ahí que la metodología seleccionada responde a identificar los enfoques teóricos y la implementación de los enfoques en el contexto de sabanas nativas de Piedemonte y Atillanura (Figura 1).

Figura 1

Metodología usada para el análisis de los enfoques agroecológicos.



Fuente. Los autores

El desarrollo de este trabajo se plantea desde un escenario general de diagnóstico rápido a partir de información disponible suministrada por las Granjas y sus actores, las técnicas de investigación utilizadas son las entrevistas informales dirigidas a informantes claves, como los productores de ambas granjas y el análisis de tipo documental.

Análisis de los datos

El análisis de los datos es de tipo cualitativo y descriptivo, usando herramientas de sistematización de datos, análisis e interpretación de los resultados. La información se sistematizó de tal forma que se identificaron los enfoques teóricos, los modelos agroecológicos, metodologías usadas en su implementación, contrastes y afinidades entre ambos sistemas agroecológicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto de las sabanas en los dos ambientes**Generalidades de la Orinoquia**

Las transformaciones sociales en territorios de sabana de la Altillanura, proviene de acontecimientos de tipo social, con la presencia de Jesuitas Franciscanos y Agustinos desde 1664, y una doctrina religiosa (Banco de la República, 2022) que lograron conformar grandes haciendas (Hacienda Caribabare), y la transferencia de sus tradiciones culturales a los indios, negros, mulatos y cimarrones, que aprendieron la vaquería y actividades como “*mayordomos, labradores, ordeñadores, albañiles hiladores; y bajo esta conducción convirtieron la región en una zona capaz*



de abastecer gran parte del Nuevo Reino de Granada” (Centro de Investigación La Palmita, 2022). Según Samper (1861), el llanero se describe como “*Pastor de inmensos y libres rebaños, jinete, toreador y nadador insigne, soldado fabuloso de caballería, poeta de las pampas y de las pasiones candorosamente salvajes, artista a su modo, fanfarrón y chistoso*”. La ganadería y la vaquería son actividades del llanero y las actividades agrícolas inician con la destrucción y quema de las sabanas, las cuales fueron fortalecidas con la presencia de los Jesuitas (Cabrera-Becerra, 2021).

Puerto Gaitán estuvo durante muchos años bajo dominio de Víctor Carranza, y la industria de hidrocarburos; luego de su fallecimiento, se gestó una transición en la industria de los hidrocarburos y de las sábanas nativas a la empresarización con la llegada de conglomerados empresariales como La Fazenda y Los Menonitas, sin menoscabo, de otros grupos empresariales agroindustriales regionales y locales. Hoy en día, la colonización es dirigida por el favorecimiento de normas asociadas a las cadenas productivas y la Ley Zidres. Es una zona ganadera y minero energético, con resguardos indígenas, alto flujo de recursos públicos derivados de la explotación de hidrocarburos y presencia de grupos armados. El Índice de Incidencia de Conflicto Armado en Lejanía es alto, y en Puerto Gaitán medio-bajo (DNP, 2018; 2018b).

Lo geográfico y ambiental

En la Orinoquia se puede encontrar dos unidades fisiográficas principales divididas por el Río Meta: el piedemonte andino hacia el norte, y la altillanura hacia el sur. En lo geográfico la Granja Aula Viva Tropical y La Pelusa presentan condiciones geográficas diferenciales, Aula Viva Tropical y La Pelusa, se encuentran en el Bioma de la Macarena de Piedemonte y la Altillanura respectivamente, esta última insertada en ecosistemas de sabanas y morichales, y ecotonos o ecosistemas de transición.

Condiciones edafoclimáticas

Las condiciones climáticas de Lejanías y Puerto Gaitán son de naturaleza tropical. La clasificación del clima en ambos de acuerdo con Köppen-Geiger es Am. Lejanías latitudinalmente se encuentra entre los 500 m, hasta los 3500 m s. n. m., se encuentra caracterizado en un clima superhúmedo, precipitaciones entre 2800 y 3750 mm, temperaturas entre 22.3°C y 25.1°C, presenta déficit de agua durante los meses de febrero y marzo, y excesos de agua entre abril y diciembre. Por su parte, la temperatura media anual en Puerto Gaitán se encuentra en 26.3 °C y la precipitación en 2257 mm, es una zona dominada por sabanas nativas que vienen siendo sometidas a quemas para la siembra de pastos mejorados y mecanizadas para semestrales (Huertas Herrera et al., 2020).

Aspectos Fisiográficos

En la Tabla 1 se muestra un resumen de algunas características fisiográficas de ambas zonas.

**Tabla 1**

Comparación de los aspectos de paisaje, suelos y aptitud productiva de las zonas de Lejanías (Aula Viva Tropical) y Puerto Gaitán (La Pelusa).

	LEJANÍAS	PUERTO GAITÁN
PAISAJE	Piedemonte mixto	Altiplanicie estructural
CLIMA	Cálido húmedo y muy húmedo	Cálido húmedo
RELIEVE	Colinas y lomas, Erosión laminar moderada. Afectados por reptación, patas de vaca y deslizamientos puntuales	Mesas y superficies onduladas, afectadas por escurrimiento difuso generalizado, fenómenos de sufusión que originan zurales
LITOLOGÍA	Arcillas y conglomerados	Arcillas con cobertura discontinua de limos eólicos
CARACTERÍSTICAS SUELOS	Profundos a moderadamente profundos, texturas moderadamente finas a finas, bien drenados, ácidos, fertilidad baja, muy susceptibles a la erosión	Profundos a superficiales, texturas finas a moderadamente finas, bien a pobremente drenados, muy fuerte a fuertemente ácidos, fertilidad baja; toxicidad por aluminio
FUENTES DE AGUA	Fluvial y de escorrentía	Acuíferos
USOS RECOMENDADOS	Actividades silvopastoriles, conservación de la vegetación natural, para la protección de las microcuencas y la fauna regional.	Sistemas agroforestales protectores y silvopastoriles
APTITUD DE USO	Alta: Avicultura, piscicultura en estanques, cerdos. Media: caucho, maíz, palma de aceite, pastos (humidícola, común, basilik, estrella y guinea) caprinos. Baja: Maracuyá, gulupa, granadilla; Ovino, ganado de carne, búfalos.	Alta: Caucho y maíz; cerdos Media: Ají tabasco, cacao, cebolla bulbo, forestales, palma de aceite, piña, soya y pastos (braquiaria, humidicola, común, basilik, estrella, guinea) avicultura, búfalos, caprinos, bovinos en pastoreo. Baja: arroz, mango, maracuyá, papaya y pimentón; ovinos, ganado de leche.

Fuente: IGAC (2020).

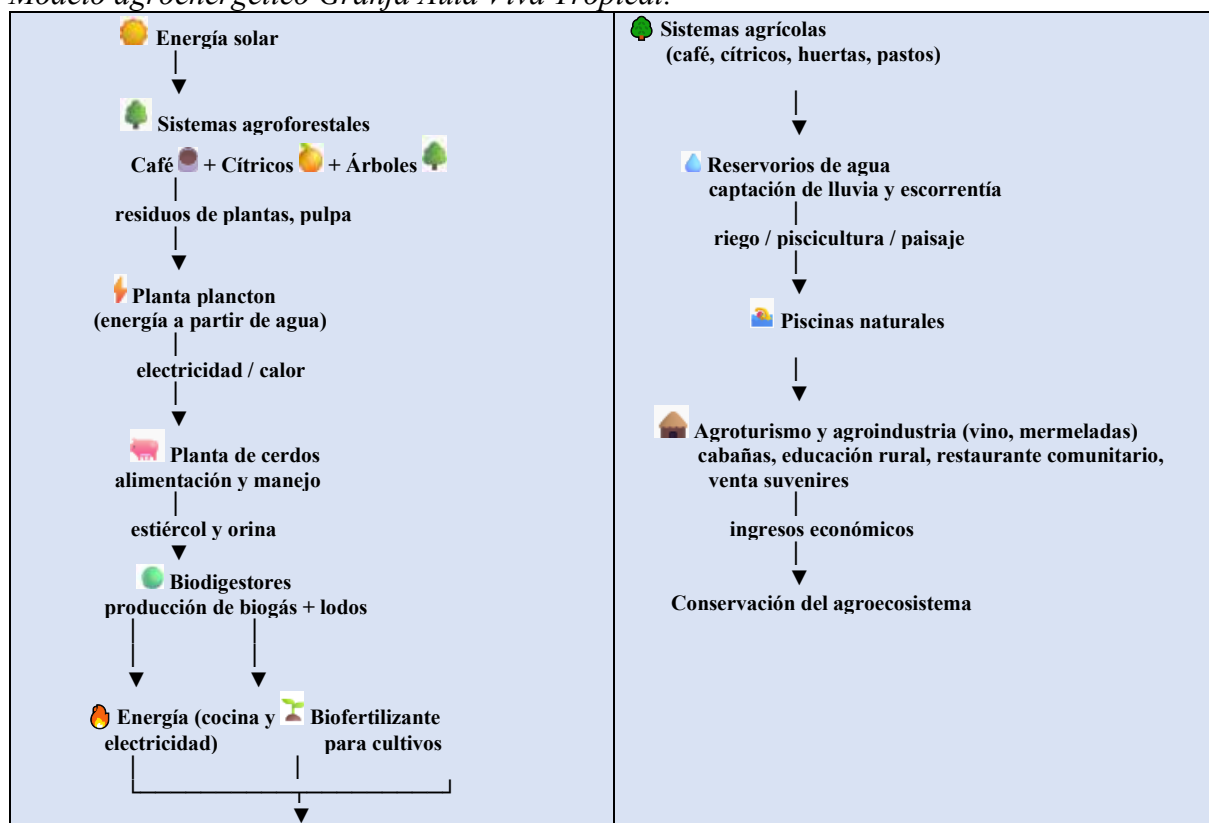
El sector primario es el más importante en ambas zonas, la participación de la agricultura en Lejanías es del 41 % y en Puerto Gaitán del 2,2 %. En Lejanías en la producción pecuaria se destaca el inventario aviar y bovino en 28000 y 19287 animales respectivamente, mientras que, en Puerto Gaitán, el inventario bovino y porcino es de 154503 y 143748 animales respectivamente (DNP, 2018). Frente al turismo, en Lejanías se encuentran tres establecimientos turísticos con registro, mientras que en Puerto Gaitán existen 96 establecimientos registrados (DNP, 2018b).



Aspectos teóricos de los enfoques agroecológicos de las Granjas y metodologías usadas para su implementación

En la Granja Aula Viva Tropical, actualmente se aplica la energía eléctrica con la planta Pelton, realiza el reúso de residuos y subproductos del café y los cerdos, que se convierten en abonos y en gas metano en biodigestores, aprovechamiento de los residuos y subproductos del café a través de procesos de compostaje y fermentación, y aprovechamiento de lixiviados, aplicación de la energía solar para compensar el crecimiento en infraestructura, intentando lograr la sostenibilidad ambiental, social y económica, y contribuyendo a la cultura local y generación de conocimientos. En este sentido, se define como un sistema agroecológico energético, que se sustenta en la optimización de los flujos de energía y aborda conceptos como la entropía y neguentropía (Giraldo, 2015; Corning, 2021). Los conceptos de entropía y neguentropía sirven para saber que el monocultivo dependiente de fertilizantes y agroquímicos tóxicos incrementa inexorablemente la degradación entrópica, mientras que la agroecología contribuye a compensar la irreversibilidad de la entropía natural mediante la productividad neguentrópica de biomasa (Giraldo, 2015). Por otra parte, Aula Viva incorpora a los productores de la región en la adopción de prácticas agroecológicas basadas en lógicas colaborativas y recíprocas como la producción agroindustrial de vinos y mermeladas (Figura 2). Estas prácticas, perfectamente adaptadas a las condiciones locales, mejoran la resiliencia de las comunidades rurales, como lo soportado por Antwi-Agyei et al. (2021).

Figura 2
Modelo agroenergético Granja Aula Viva Tropical.

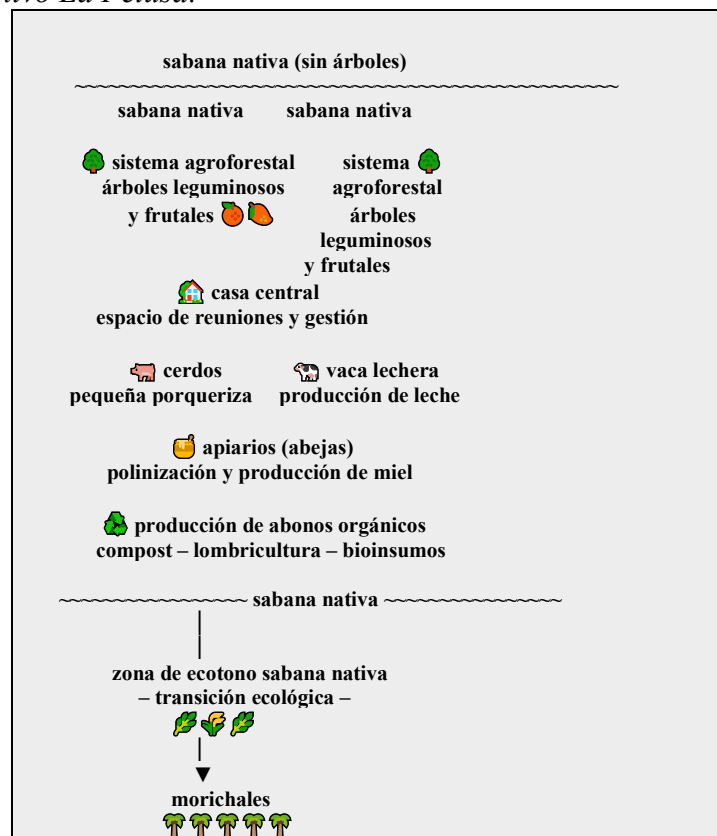


Fuente. Los autores



Para la implementación del modelo agroenergético en la Granja Aula Viva Tropical, los procesos de capacitación informal son una estrategia fundamental para su divulgación y adopción, lo que la ha venido posicionando desde lo político e institucional como una empresa agroecológica a escala territorial, regional y nacional, con una dimensión eco-estructural, que aplica elementos de sostenibilidad y el aprovechamiento de los bienes y servicios locales, y el conocimiento tradicional de los recursos. Por su parte, La Granja de la Pelusa es un modelo agroecológico productivo, que se ha gestado desde la transformación de la sabana nativa a sistemas productivos con enfoque ecológico como los sistemas agroforestales. En este sentido, este sistema integra un nuevo paradigma de la productividad ecológica y cultural, en una productividad sistémica que integra el dominio de la naturaleza y el mundo de vida de sujetos culturales en las perspectivas abiertas por la complejidad ambiental y la racionalidad económica campesina (Landini, 2011), que asume una posición neocampesina y de la nueva ruralidad, en el marco de la globalización (Babilonia-Ballesteros, 2014). La Pelusa involucra actividades agrícolas con la cría de abejas y los cerdos. A futuro pretende implementar la cría de peces (modelo Biofloc), y energía solar a mayor escala. Subyace en un ambiente hostil marcada por la explotación de hidrocarburos, rodeada de sabanas poco productivas, se visualiza como un parche verde en el paisaje, donde las zonas de ecotono entre las sabanas y morichales vienen reduciendo aceleradamente el margen de estos ecosistemas estratégicos (Figura 3). Reconocer las diversas perspectivas de los agricultores, condicionadas por su experiencia, cultura, género, educación y acceso a los recursos, es crucial para la elaboración de estrategias agroecológicas eficaces (Romero et al., 2025).

Figura 3
Modelo agroproductivo La Pelusa.



Fuente: Los autores



En este sentido, ambos enfoques se consolidan en un modelo de transición social agroecológico como el propuesto por Calle Collado et al. (2006). Estos modelos abordan lo ecológico y lo social; es decir: a) la dimensión micro-socio-cultural o de dinámicas de cooperación; b) la dimensión socio-política relacionada con los tipos de instituciones involucradas, bien sea sociales (informales, autoorganizadas) o públicas que formulan políticas públicas; y c) la dimensión eco-estructural vinculada a los circuitos de manejo de recursos naturales y de las tecnologías que están asociadas al manejo de las unidades productivas.

Perspectivas sobre la aplicación de los enfoques: contrastes y afinidades

Es así, como para transitar hacia la implementación de estos dos modelos agroecológicos, estas vienen siendo impulsadas desde lo tecnológico hacia lo turístico, siendo una afinidad encontrada entre ellas.

El desempeño turístico de ambas granjas está relacionado con la perspectiva con la que se reconocen los modelos productivos agroecológicos en la sociedad y el comercio. Ambas granjas abordan el turismo como una estrategia comercial y de visibilidad social en redes de búsqueda de Google Earth y Google Maps, y redes sociales (Facebook, TiK ToK, Instagram, Youtube), insertadas en conceptos de agroturismo, el ecoturismo, el turismo verde, el turismo rural-cultural y el turismo científico. La Granja Aula Viva Tropical posee alojamiento rural, y La Pelusa desarrolla el componente productivo y comercial principalmente con las abejas. Ambas granjas satisfacen sus necesidades económicas con actividades productivas, de capacitación y venta de bienes y servicios, están legalmente constituidas, y no requieren generar trabajo remunerado o asalariado fuera de la finca, actualmente han fortalecido la instalación de un centro de acopio para la región.

En el seno de los movimientos agroecológicos, entre enfoques más ecológicos y/o productivos (Bommarco et al., 2013) versus enfoques más sociales y políticos (Dumont et al., 2016), el concepto de múltiples transiciones, a diferentes escalas y en diferentes dimensiones, permite visualizar con claridad que ambos enfoques no deberían ser antagónicos, ya que convergen en fines comunes, es así como las Granjas agroecológicas de estudio, ven como en la formación a nivel de fincas, los temas agroecológicos tienen un gran potencial para una transformación de la sabana de manera sostenible y sustentable.

No obstante, ambas Granjas están adscritas a un modelo de tipo agroecológico, que desde la FAO (2010), se concibe como una disciplina científica, con un conjunto de prácticas y un movimiento social, a partir de 10 elementos principales: 1) la diversidad; 2) las sinergias; 3) la eficiencia; 4) la resiliencia; 5) el reciclaje; 6) la creación conjunta y el intercambio de conocimientos; 7) los valores humanos y sociales; 8) la cultura y tradiciones alimentarias; 9) la economía circular y solidaria; y 10) la gobernanza responsable (que tratan el entorno favorable).

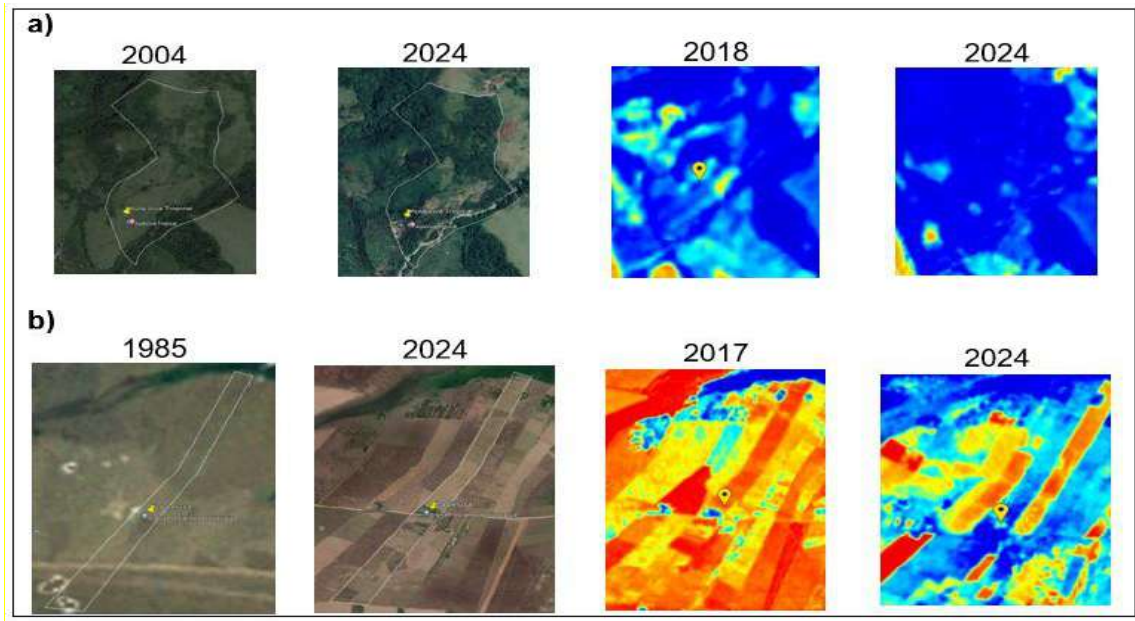
Modificaciones de la sabana logradas con los enfoques agroecológicos

El sistema agroecológico de la Granja Aula Viva Tropical ha modificado el paisaje de sabana, y ha aumentado la cobertura vegetal como se observa en la Figura 4a, también se ha dado un aumento en el recurso hídrico. Por su parte, en La Pelusa, los cambios en la cobertura vegetal no se visualizan de una manera significativa, debido a que las experiencias agroecológicas en ella y su

entorno son distantes una de otra, sin embargo, las prácticas agroecológicas de manejo del ecosistema de sabana han permitido que se aumente el potencial del agua en los acuíferos (Figura 4b).

Figura 4

Mapas Geográficos y satelitales de cobertura y agua. a) Granja Aula Viva Tropical, b) La Pelusa. Las dos primeras en ambas representan la cobertura. Las dos últimas en ambas contenido de agua. (El color azul representa alta humedad, el color rojo, baja humedad).



Fuente. Google Earth y Sentinel Hub, IGAC (2020).

El aumento de la cobertura en la Granja Aula Viva Tropical como sistema agroecológico energético, ha incluido sistemas agroforestales de café, donde se da el reciclaje de nutrientes y la producción de materia orgánica (Rangel-Mendoza & Silva-Parra, 2020) y aumento del secuestro de Carbono en biomasa y suelo, como lo soportado por Silva-Parra (2018), en sistemas productivos de la Orinoquia.

Por su parte, el predio de La Pelusa es un modelo agroecológico que ha transformado el paisaje de sabana bajo un enfoque regenerativo y de aprovechamiento de los recursos locales que ha permitido mejorar la fertilidad de los suelos, la cobertura vegetal, la diversificación de actividades productivas, entre agrícolas, pecuarias, de meliponas (Las meliponinas son abejas sociales con aguijón atrofiado, habitan principalmente bosques tropicales entre los 0 y los 3.400 msnm), y el aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas como la solar. Sin embargo, la transformación de las sabanas de la Altillanura aplicando el modelo agro productivo en el mediano y largo plazo implica una mayor adopción de los sistemas agroforestales como los silvopastoriles (Zuluaga et al., 2021; González-Orozco et al., 2023), y la conservación de las franjas de los ecotonos como lo son los morichales por su alta capacidad de fijar Carbono en suelo y biomasa (Orozco-Hueje et al., 2022).



En este sentido, los sistemas agroecológicos de ambas Granjas coinciden en que para llegar a esa transformación de las sabanas se ha transitado por sucesivas etapas en su transición a la agroecología, como lo propuesto por Tiftonell (2014), (a) etapa de aumento de ecoeficiencia, (b) etapa de sustitución de insumos y (c) etapa de rediseño del sistema.

De acuerdo con Altieri (2009), el propósito finalmente es mantener una lógica proscriptiva que permita la creatividad altamente específica “al lugar”, pero que se inhiba de romper los flujos y ciclos propios de los ecosistemas.

CONCLUSIONES

Aula Viva Tropical se suscribe como un sistema agroecológico energético y La Pelusa como un sistema agroecológico productivo, que vienen transitando hacia un modelo agroecológico para transformar la sabana de una manera más sostenible y sustentable, que garantice la seguridad alimentaria, y los efectos negativos del cambio climático global, son afines en el agroturismo, y los procesos de capacitación para reducir la dependencia externa de insumos, encontrando afinidades en el aprovechamiento de la energía, de la biomasa y de otras fuentes de energía alternativa. El uso de estos modelos en los territorios rurales de sabana sería beneficioso para mitigar la agricultura de subsistencia, al diversificar los ingresos, proteger el medioambiente y mejorar la calidad de vida de los agricultores.

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos a la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos con el proyecto de Investigación “Transformación de sabanas nativas en sistemas de pasturas y su Impacto en el recurso suelo, económico y social en zona de piedemonte y Altillanura (Meta)” código ID C01-01-2025-001. La presente investigación fue desarrollada en el marco del proyecto: de proyección social “Agroecología y Agricultura Campesina Familiar Étnica y Comunitaria en Puerto Gaitán”, código 401002644.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Abreu, R. C., Hoffmann, W. A., Vasconcelos, H. L., Pilon, N. A., Rossatto, D. R., & Durigan, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science Advance*, 3, e1701284. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701284>

ALCALDIA DE PUERTO GAITÁN (2018). *Monografía de Puerto Gaitán*. Recuperado el 23 de junio de 2024, de Puerto Gaitán y sus Orígenes. <https://www.puertogaitanmeta.gov.co/historia-316684/puerto-gaitan-y-sus-origenes>



- Altieri, M. A. (2009). Agroecology, small farms and food sovereignty. *Monthly Review*, 61(3), 102-111. <https://monthlyreview.org/articles/agroecology-small-farms-and-food-sovereignty/>
- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution of Latin America: Rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- Antwi-Agyei, P., Abalo, E. M., Dougill, A. J., & Baffour-Ata, F. (2021). Motivations, Enablers and Barriers to the Adoption of Climate-Smart Agricultural Practices by Smallholder Farmers: Evidence from the Transitional and Savannah Agroecological Zones of Ghana. *Regional Sustainability*, 2, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2022.01.005>.
- Babilonia Ballesteros, R. I. (2014). Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Estudios e investigaciones: nueva ruralidad; enfoques y propuestas para América Latina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 189-193. <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281829103006.pdf>
- BANCO DE LA REPÚBLICA. (2022). *Pueblos de doctrina jesuita en los Llanos, siglos XVII-XVIII*. Obtenido de <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-354/pueblos-de-doctrina-jesuita-en-los-llanos>
- Banos-Gonzalez, I., Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. Á., & Esteve-Guirao, P. (2018). Sensitivity analysis in socioecological models as a tool in environmental policy for sustainability. *Sustainability*, 10(8), 2928. <https://doi.org/10.3390/su10082928>
- Bernardino, P. N., Dantas, V. L., Hirota, M., Pausas, J. G., & Oliveira, R. S. (2022). Savanna–Forest coexistence across a fire gradient. *Ecosystems*, 25, 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00654-4>
- Berrouet, L. M., Machado, J., & Villegas-Palacio, C. (2018). Vulnerability of socio-ecological systems: A conceptual framework. *Ecological Indicators*, 84, 632-647. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051>
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Cabrera-Becerra, G. (2021). Las relaciones entre misioneros en la zona fronteriza del Vaupés Colombo-Brasileño (1914 - 1982). *Franciscanum. Revista de las Ciencias del Espíritu*, 63(175). <http://orcid.org/0000-0002-9772-7542>
- Calle Collado, Á., Vara Sánchez, I., & Cuéllar, M. (2006). *La transición social agroecológica*. 2006. Barcelona, España: Icaria. https://base.socioeco.org/docs/la_transicion_social_agroecologica.pdf



- Carriazo, F., Labarta, R., & Escobedo, F. J. (2020), Incentivizing sustainable rangeland practices and policies in Colombia's Orinoco region. *Land Use Policy*, 95, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104203>
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN LA PALMITA (2022). *Hacienda Caribabare, vida y leyenda para la conservación en Tame - Arauca*. Obtenido de <https://www.lapalmita.com.co/single-post/hacienda-caribabare-vida-y-leyenda-para-la-conservaci%C3%B3n>
- Cevallos-Suarez, M., Uraneta-Ortega, F., & Jaimes, E. (2019). Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 25(3), 172-185. <https://www.redalyc.org/journal/280/28060161012/>
- Cleves, J. A., Toro, J., Martínez, L. F, and León, T. (2017). La Estructura Agroecológica Principal (EAP): novedosa herramienta para planeación del uso de la tierra en agroecosistemas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11, 441-49. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7350>
- Corning, P. A. (2021). Systems theory and the role of synergy in the evolution of living systems. *Systems Research and Behavioral Science*, 31(2), 181-196. <https://doi.org/10.1002/sres.2191>
- Chimi, P. M., Mala, W. A., Tchonang Djoumbi, B. L. *et al.* (2025). Indigenous agroecological knowledge and practices for climate change adaptation in the forest-savanna transition zone at Batchenga in the Centre Region of Cameroon. *Discover Environment*, (3)16. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00192-z>
- De Berríos, O. G., & Briceño De Gómez, M. I. (2009). Enfoques epistemológicos que orientan la investigación de 4to. nivel. *Visión Gerencial*, 47-54. <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545882009.pdf>
- Delgado-Huertas, H., Rangel, J. A., & Silva-Parra, A. (2018). Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la altillanura plana, Meta, Colombia. *Luna Azul*, 46, 54-69. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.5>
- Dooley, K E., & Grady Roberts, T. (2020). Agricultural education and extension curriculum innovation: the nexus of climate change, food security, and community resilience. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(1), 1-3. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2019.1703507>.
- DNP. (2018). *Lejanías. Terridata fichas y tableros*. Colombia. Obtenido de https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_50400.pdf
- DNP. (2018b). *Puerto Gaitán. Fichas y Tablero*. Recuperado el 23 de junio de 2024, de Terridata. Fichas y Tableros.: https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_50568.pdf



- Dumont, A. M., Vanloqueren, G., Stassart, P. M., & Baret, P. V. (2016). Clarifying the socioeconomic dimensions of agroecology: between principles and practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(1), 24-47. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1089967>
- FAO (2010). Situación mundial de la agroecología. Discurso del director general de la FAO en la ceremonia celebrada en la sede de la FAO en ocasión del día mundial de la alimentación de 2010. Disponible en <http://www.fao.org/spanish/dg/2010/>
- Giraldo, O. F. (2015). Agroecología y complejidad. Acoplamiento de la técnica a la organización ecosistémica. *Ciencias sociales: desafíos y perspectivas*, 41. <https://journals.openedition.org/polis/11045>
- González-Orozco, C. E., Diaz-Giraldo, R. A., & Rodríguez-Castañeda, C. (2023). An early warning for better planning of agricultural expansion and biodiversity conservation in the Orinoco high plains of Colombia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1192054. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1192054>
- Grace, J., José, J. S., Meir, P., Miranda, H. S., & Montes, R. A. (2006). Productivity and Carbon Fluxes of Tropical Savannas. *Journal of Biogeography*, 33, 387-400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01448.x>
- Guodaar, L., Bardsley, D. K., & Suh, J. (2021). Integrating local perceptions with scientific evidence to understand climate change variability in northern Ghana: a mixed-methods approach. *Applied Geography*, 130, 102440. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102440>
- Huertas Herrera, A. H., Baptiste Ballera, B. L. G., Toro-Manríquez, M. D. R., Lencinas, M. V., Martínez Pastur, G. J., & Huertas Ramírez, H. (2021). Changes in vegetation of flooded savannas subject to cattle grazing and fire in plains of Colombia. *Land*, 10, 108. <https://doi.org/10.3390/land10020108>
- IGAC (2020). *Consulta clases agrológicas*. Obtenido de Colombia en Mapas: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- IGAC (2021). *Consulta catastral*. Recuperado el 23 de Junio de 2024, de Colombia en Mapas: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- Landini, F. (2011). Racionalidad económica campesina. *Mundo Agrario*, 12(23), 21-45. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.5045/pr.5045.pdf
- Orozco-Hueje, D., Barreto-Rojas, D., Trujillo-González, J. M., Silva-Parra, A., Serrano-Gómez, M., Castillo-Monroy, E., & Torres-Mora, M. (2022). Sumideros naturales de carbono: un estudio de caso en morichales de la altillanura colombiana. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 14(1), 178-199. <https://doi.org/10.22490/21456453.5531>



- Rangel-Mendoza, J. A., & Silva-Parra, A. (2020). Agroforestry systems of *Theobroma cacao* L. affects soil and leaf litter quality. *Colombia Forestal*, 23(2), 75-88. <https://doi.org/10.14483/2256201x.16123>
- Rizzo, G., Migliore, G., Schifani, G., & Vecchio, R. (2024). Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda. *Organic Agriculture*, 214(1), 57–84. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00440-7>.
- Romero, M. H., Gallego-Polania, S. A., & Sánchez, J. A. (2025). Natural Savannah Systems Within the "One Welfare" Approach: Part 1-Good Farmers' Perspectives, Environmental Challenges and Opportunities. *Animals (Basel)*, 15(5), 677. <https://doi.org/10.3390/ani15050677>.
- Silva-Parra, A. (2018). Modelación de los stocks de carbono del suelo y las emisiones de dióxido de carbono (GEI) en sistemas productivos de la Altillanura Plana. *Orinoquia*, 2018, 22(2), 158-171. <https://doi.org/10.22579/20112629.525>
- Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Marja, S., & Pelnillar, M. (2014). Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach. *AMBIO*, 43, 579–591. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3>.
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification – sustainable by nature. *Current opinion environmental sustainability*, 8, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>
- Woroniecki, S., Wamsler, C., & Boyd, E. (2019). The promises and pitfalls of ecosystem-based adaptation to climate change as a vehicle for social empowerment. *Ecology and Society*, 224. <https://doi.org/10.5751/ES-10854-240204>.
- Zuluaga, A., Etter, A., Nepstad, D., Chará, J., Stickler, C., & Warren, W. (2021). Colombia's pathway to a more sustainable cattle sector: a spatial multi-criteria analysis. *Land Use Policy*, 109, 105596. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105596>



Observaciones sobre el establecimiento de Cocobolo, *Dalbergia retusa* Hemsí en asocio con pasto Zuri *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri

Observations on the establishment of Cocobolo *Dalbergia retusa* Hemsí in association with Zuri grass *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri

*Noé Aguilar. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

naguilarvaldes@gmail.com

<https://orcid.org/000-003-4973-8199>

Juan M. Osorio. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

juanmig640@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6859-5763>

Jesús Barria. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

jbarria020@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9895-0907>

*Autor de Correspondencia: naguilarvaldes@gmail.com

Recibido: 18/03/2026

Aceptado: 13/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10104>

RESUMEN. En una parcela silvopastoril de *Dalbergia retusa* Hemsí, con *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri de seis años bajo pastoreo se realizaron observaciones de los componentes arbóreos, la pastura y el suelo. La sobrevivencia (67 %), y el diámetro DAP (10.7 cm) resultaron similares para ambientes húmedos e infértiles del neotrópico, mas no la altura total (7.3 m) la cual fue superior. Se encontró incremento medio anual (IMA) para altura total de 1.0 m/año y 1.5 cm/año para el diámetro. La frecuencia de fustes cilíndricos fue de 36 %, con un sector menor al 20 %, con mayor presencia de troncos torcidos (más de 50 %). El resto de los árboles calificaron con fustes inclinados, bifurcados y suprimidos. La producción de materia seca (11.50 ton/ha/año) resultó un 60% menor que el potencial reportado para el cultivar, resultado asociado a la baja fertilidad del suelo y al posible efecto de la sombra de los árboles. Los valores de proteína cruda oscilaron entre 8.25 y 11.35 %, dentro del rango de valores para el cultivar. A nivel de suelo, el pH, así como el calcio, magnesio y la materia orgánica presentaron valores superiores a la condición original especialmente en los primeros 5 cm de profundidad, mientras que el fósforo resultó ligeramente menor. El asocio de árboles de cocobolo con pasto mejorado resultó exitoso, tanto en el establecimiento y crecimiento inicial de los árboles, así como el aprovechamiento de la pastura mediante el pastoreo de bovinos y el mejoramiento de características importantes del suelo.

PALABRAS CLAVE: especie forestal nativa, pastura mejorada, reforestación, sistema silvopastoril.

ABSTRACT. Observations of the tree, pasture, and soil components were conducted on a six-year-old silvopastoral plot of *Dalbergia retusa* Hemsí, with *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri under grazing. Survival (67%) and DBH (10.7 cm) were similar to those found in humid, infertile Neotropical environments, but total height (7.3 m) was higher. The mean annual increment (MAI) for total height was 1.0 m/year and 1.5 cm/year for diameter. The frequency of cylindrical trunks was 36%, with less than 20% having a cross-sectional area of less than 20%, and a higher prevalence of twisted trunks (more than 50%). The remaining trees were classified as having slanted, forked, or suppressed trunks. Dry matter production (11.50 tons/ha/year) was 60% lower than the reported potential for the cultivar, a result attributed to low soil fertility and the possible effect of tree shade. Crude protein values ranged from 8.25% to 11.35%, within the range of values for the cultivar. At the soil level, pH, as well as calcium, magnesium, and organic matter, showed values higher than the original condition, especially in the top 5 cm of depth, while phosphorus was slightly lower. The combination of cocobolo trees with improved pasture proved successful, both in terms of tree establishment and initial growth, as well as the utilization of the pasture through cattle grazing and the improvement of important soil characteristics.

KEYWORDS: improved pasture, native tree species, reforestation, silvopastoral system.



INTRODUCCIÓN

El mundo enfrenta hoy el reto de alimentar a una población creciente en el contexto del cambio climático y con mayores presiones sobre los ecosistemas naturales. En particular, las proyecciones indican que el consumo de carne a nivel mundial se duplicará en los próximos 20 años y en los países en desarrollo seguirá incrementando a una tasa del 5 % anual por el incremento de la población, del ingreso y por cambios en los patrones de consumo, por lo que se espera que la presión sobre los bosques no desaparecerá (Martínez, 2021).

El desarrollo de la ganadería representa una fuente de ingreso, alimentos y recursos económicos para miles de familias rurales del país, y los beneficios y retos de la actividad ganadera para muchos campesinos en condiciones de pobreza y deterioro del medio ambiente, requiere de alternativas, que incrementen la productividad y a la vez conservar los recursos productivos (MIDA, 2014).

En este contexto, se reconoce la necesidad de transitar hacia nuevos esquemas de producción ganadera climáticamente inteligente, así denominada en los últimos años, a través de la promoción de los sistemas silvopastoriles como alternativas productivas social y ambientalmente viables, que además de ser rentables, repercutan en el bienestar a nivel local y contribuyen al cumplimiento de metas globales de desarrollo sostenible (Galindo, 2011).

El interés por estudiar las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático es cada día más urgente, dado que sus efectos tanto directo como indirectos en la producción ganadera se manifiestan por las variaciones en la disponibilidad de forraje, agua y bienestar animal, y que en última instancia repercuten en menos ingreso para el productor y su familia y menos producción de alimentos para el país (Murgueitio et al., 2010).

A fin de optimizar la capacidad productiva de los recursos naturales con que dispone el productor, se propone incrementar y recuperar el componente arbóreo en el esquema productivo ganadero en las diferentes fincas, juntamente con el mejoramiento de pasturas y la construcción de pequeñas obras que ayudan a aprovechar y proteger las fuentes de agua manteniendo su calidad y disponibilidad en quebradas, manantiales y ojos de agua (Zapata et al., 2022).

A final, se pretende que los conceptos tales como: ganadería climáticamente inteligente, buenas prácticas ganaderas, manejo integral del paisaje y los sistemas silvopastoriles, sean comprendidos y aplicados por el productor.

Los sistemas silvopastoriles se caracterizan por una combinación natural o una asociación deliberada de uno o varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos) dentro de una pastura, cuyas ventajas han sido ampliamente documentadas en la literatura contribuyendo a incrementar la eficiencia productiva en los sistemas de producción animal en el trópico (Musalem, 2001).

El asocio de pasturas con árboles como alternativa se ha promocionado con el apoyo de reportes científicos diversos que reconocen el papel del árbol en la sostenibilidad de la explotación (López, 2007; Galindo, 2014; Montagnini et al., 2015). Sin embargo, cuando se trata de establecer árboles en un potrero donde no los hay, debe considerarse el beneficio a corto plazo del área plantada y al



mismo tiempo la protección de los árboles en crecimiento, del pisoteo, ramoneo y pérdidas. Esta operación se traduce en un mayor costo para la finca o tener que dejar de aprovechar la pastura durante cierto tiempo, opciones que la mayoría de las veces no acepta el propietario, por tratarse de pequeños y medianos productores que requieren de uso intensivo de la parcela.

Algunas desventajas que han sido reportadas en los sistemas silvopastoriles están la competencia de la cobertura arbórea con la pastura asociada, dificultad para el manejo y la necesidad de proteger los árboles jóvenes recién plantados de incendios y pisoteo del ganado. Esta condición ha representado un freno para el éxito de proyectos que en el pasado han fomentado esta práctica.

La Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá ha presentado la alternativa de promocionar las prácticas silvopastoriles de árboles asociados con pasto, de forma que aporten al mejoramiento tanto de la producción de pasturas, como de las características de infiltración y mejoramiento del suelo, por medio del establecimiento de árboles de cocobolo y pasto mejorado en un sitio sin cobertura arbórea, con aprovechamiento inmediato del forraje.

En este proyecto se han desarrollado actividades anuales de extensión con pequeños y medianos productores del área, en la promoción de los sistemas silvopastoriles en sus fincas y los beneficios en la productividad y conservación de los recursos de suelo y agua.

El árbol de cocobolo es una especie nativa en peligro de extinción, con una altura entre 10 y 20 metros y diámetro de 10 a 40 centímetros que presenta una asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno en las raíces, que ayudan a mejorar las condiciones de fertilidad del suelo. Su madera, muy codiciada, presenta un hermoso pulimento siendo útil en la confección de muebles, artesanías y un sinnúmero de usos (Hall et al., 2016). El tronco tiene crecimiento irregular (retorcido) y ramas a una altura baja. La copa es completamente abierta y tiene pocas ramas delgadas. Debido a la alta tasa de ramificación la especie requiere ser podada para mantener la forma deseable, produciendo con buenos resultados si esta labor se inicia desde los dos años. La regeneración natural de la especie es escasa; sin embargo, árboles jóvenes y juveniles de hasta 4 m pueden ser encontrados en áreas periódicamente expuestas al fuego. Algunos de ellos sobreviven y continúan creciendo después del fuego (Marín & Flores, 2017).

De Camino Velozo (2018), recomienda la reforestación con cinco especies emblemáticas para mantener un activo maderable de alto valor, dada las ventajas comparables y competitivas de los países tropicales y el aumento de mercados emergentes como los países árabes y asiáticos con demanda de productos suntuosos que, en el caso forestal, son consumidores de maderas finas. El cocobolo (*Dalbergia retusa* Hemsl) es la especie de mayor valor comercial del bosque de los neotrópicos usada en esculturas, mueblería y artesanía fina. El precio es proporcional a la cantidad de duramen presente en la madera, el cual oscila entre 1,000 y 4,000 por USD/m³ en trozas.

MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se desarrolló en el Centro del Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí, en un área de 5,969 m² de plantación de cocobolo *Dalbergia retusa* Hemsl con seis años y con procedencia del vivero del Instituto Nacional de Agricultura en Divisa. El sitio se localiza a 30 m s. n. m., es de topografía plana y precipitación de 2,850 mm/año con cinco meses secos. El



suelo es baja fertilidad natural del orden ultisol con textura franco-arcillo-arenoso, pH de 4.8 y con niveles bajos en fósforo, potasio, materia orgánica, calcio y magnesio. No presenta problemas de acidez y ni aluminio. La zona de vida de Holdridge pertenece al bosque húmedo tropical basal. En la tabla 4 se presenta los resultados del análisis del suelo al año 2016, al inicio del proyecto.

Al momento de la plantación se aplicó fertilizante completo a razón de 100 g de 12-24-12 (N P K) al fondo del hoyo, además de 12 kg de fertilizante orgánico compost, alrededor del árbol a los tres meses. Desde el primer año, la plantación fue sometida a un régimen de podas debido a la tendencia hacia la ramificación excesiva de los árboles.

El pasto zuri *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri fue establecido en el mes de julio del año 2016 a base de semilla gámica, con el método de cero labranzas, y previo control de malezas mediante la aplicación de glifosato 35.6 SL, a razón de 4 litros/ha de producto comercial. La fertilización de la pastura se realizó a con Nutrical G (61 % CaCO_3 ; 29 % MgCO_3 ; 4 % S) más Fosfato de Amonio (18 % N, 46 % P_2O_5) a razón de 90 kg/ha de cada uno, mezclado con la semilla. Al inicio de la estación lluviosa del año 2021 se aplicó una fertilización general a base de 10-30-10 (N P K) + elementos menores en dosis de 400 g por árbol y 135 kg/ha a la pastura.

Durante el primer año la pastura fue aprovechada como pasto de corte y en los años siguientes mediante el pastoreo de bovinos con peso entre 100 y 200 kg y de mayor peso en los últimos años. Esta parcela también fue objeto de dos visitas técnicas durante los años 2017 y 2018 como parte de las actividades de extensión de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

En el componente arbóreo se evaluó el porcentaje de sobrevivencia, así como la altura total, la altura comercial, y el diámetro a la altura del pecho (DAP a 1.30 m de altura), las características del fuste y el ancho de copa. Esta medición se realizó al total de los árboles de la plantación con el instrumental de cinta diamétrica, regla alimétrica y pistola haga. Cada árbol fue calificado como muerto, suprimido y fuste torcido, bifurcado, semicilíndrico y cilíndrico (Alvarado & Juergens, 2014).

El diámetro de copa se midió tomando como referencia la proyección de los extremos de la copa sobre el suelo en dos direcciones, norte-sur y este-oeste, siendo el valor final el promedio de las dos medidas (Celeforestal, 2018).

Los árboles de cocobolo fueron podados durante el mes de octubre de 2021, operación silvicultural obligada para sanear y mejorar la forma del árbol y sobre todo aumentar la cantidad de luz solar que alcanza el pasto. El procedimiento para esta operación consistió eliminar hasta el primer tercio en altura del tronco libre de ramas y eliminar ejes múltiples, dejando solo el mejor. A los árboles podados se aplicó un control fitosanitario a base de oxiclورو de cobre (272 g/l) + sevín XLR 48SC en el sitio de corte.

La pastura fue evaluada a partir del mes de mayo de 2021, hasta noviembre de 2022 mediante la producción de forraje verde, alcanzado el periodo óptimo de aprovechamiento. Para esta labor se ubicaron nueve puntos al azar de 4 m² en cada medición, en donde se procedió a cortar el follaje y tallos hasta una altura de 30 cm simulando el aprovechamiento de los vacunos. Todo el material



colectado fue pesado individualmente y luego de picado y homogenizado la porción, se enviaron sendas muestras al laboratorio para análisis bromatológico (Beer & Somarriba, 1984).

Culminada la medición de la pastura, se permitió el ingreso de un lote de animales vacunos con peso promedio de 250 kg, y una vez consumido el pasto su egreso. A partir de este momento se inició un periodo de recuperación de la pastura, hasta la siguiente medición, y así sucesivamente hasta completar información para las estaciones seca y lluviosa de los años 2021 y 2022. Se realizó muestreo del suelo de la parcela y su correspondiente análisis de fertilidad para tres estratos (0-5, 5-15 y 15-40 cm) y textura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los árboles de cocobolo inicialmente plantados con espaciamiento de 5 x 5 m presentaron alta sobrevivencia a un incendio el segundo año y falta de manejo durante el año 2020. El resultado de la medición realizada a siete años, en mayo de 2022, se presenta en la tabla 1 para tres sectores de la parcela. La sobrevivencia, al igual que el diámetro resultaron muy similar a lo reportada por Hall & Ashton (2016), para ambientes húmedos e infértiles del neotrópico, mas no la altura total la cual fue mayor en más de 2 metros. Los resultados también son comparables con los reportes de Marín & Flores (2017), quienes indican un potencial de crecimiento de 10 m en altura en 15 años, con un diámetro (DAP) de hasta 20 cm mientras que los árboles de diecisiete años pueden alcanzar 13 cm de diámetro y 8 m en altura.

Tabla 1

Resumen de las características silviculturales árboles de cocobolo de siete años en tres sectores de la plantación.

N° árboles 2015	N° árboles 2022	% Sobre-vivencia	DAP, cm	Altura total, m	Altura comercial, m	% Fustes cilíndricos	% Fustes torcidos	Ancho de copa, m	Sector
62	50	81	10.8	7.0	2.3	16	52	9.2	Norte
77	41	53	10.0	7.2	2.3	34	41	7.1	Centro
91	62	68	11.3	7.6	2.9	53	26	8.4	Sur
230	153	67	10.7	7.3	2.5	36	35	8.2	

La frecuencia de fustes cilíndricos fue de 36 % y muy baja en un sector (menos de 20 %) y con mayor presencia de troncos torcidos (más de 50 %). El resto de los árboles calificaron con fustes inclinados, bifurcados y suprimidos. Esta condición, sumada a la anchura de copas, obligó a realizar un primer raleo con la finalidad de reducir la sombra a la pastura y seleccionar aquellos árboles con mejor apariencia fenotípica. El sector sur de la parcela presentó mejor la relación de fustes cilíndricos con 53 %, y la parcela central resultó intermedia.

En cuanto a crecimiento inicial de los árboles, se encontró incremento medio anual (IMA) para altura de 1.0 m/año y 1.5 cm/año para diámetro, valores superiores a los reportados por Cordero & Boshier (2003), para el Pacífico Seco de Costa Rica en cinco años, de 0.6 m/ año para altura y 1.0 cm/ año para diámetros, aun así, la especie es calificada como de crecimiento lento.



En la tabla 2 se presenta los resultados de la producción de forraje verde, contenido de materia seca y período de descanso durante los años 2021 y 2022. Los valores encontrados para la producción de materia seca resultaron en 60 % menor que el potencial reportado para la especie por Da Fonte (2018), (11.50 versus 30 ton/ha/año), resultado asociado a la baja fertilidad del suelo y al posible efecto de la sombra de los árboles. Al respecto, Ríos et al. (s.f), encontraron en un experimento en Macaracas, Los Santos, producción de biomasa 34 % menor bajo sombra de árboles de guácimo, respecto a las pasturas al sol de los cultivares mombasa y marandú durante la época lluviosa y cortes cada 35 días. Para época seca, la producción representó el 16 % de la época lluviosa, resultó muy similar en ambas condiciones. Miranda (2018), encontró en Chiriquí, una producción de forraje fresco de pasto zuri de 11.61 y 6.52 ton/ha de diciembre de 2017 a enero de 2018 y de 7.46 y 5.69 ton/ha de abril a mayo de 2018. Las cifras mayores están referidas a parcelas con zanjas de infiltración.

Tabla 2

Producción de forraje de pasto zuri en asocio con árboles de cocobolo en FCA-Chiriquí año 2021.

FECHA	FORRAJE VERDE TON/HA	MATERIA SECA TON/HA	PERÍODO DE DESANSO, DÍAS
31 mayo 2021	10.25	2.41	32
2 agosto 2021	16.80	3.19	51
20-28 octubre 2021	10.42	2.08	50
6 diciembre 2021	12.37	2.35	39
TOTAL 2021	49.84	10.03	-----
25 de abril 2022	19.86	4.07	100
13 de mayo 2022	18.82	3.19	51
17 de junio 2022	6.01	1.20	25
9 de agosto de 2022	11.96	2.63	30
26 de nov. de 2022	9.45	1.89	56
TOTAL 2022	67.10	12.98	---
PROMEDIO	58.47	11.50	

En la tabla 3 se presenta los resultados del análisis foliar del pasto zuri bajo sombra de cocobolo antes del pastoreo. Los valores de proteína cruda (% N x 6.25) oscilaron entre 8.25 y 11.35 % al ingreso del pastoreo. Pérez Barrios (2023), encontró valores de proteína cruda para el pasto zuri de entre 10.06 y 10.55 %, con aplicaciones entre 1 y 3 ton/ha de abono orgánico. Ríos et al. (s.f), reportaron valores de proteína cruda de 11.1 % para pasturas bajo sombra de árboles de guácimo y de 7.32 % bajo sol en pastos mombasa y marandú en Macaracas.

Anchundia (2021), encontró en Ecuador rendimiento de biomasa fresca al corte a los 45 días de 46.70 ton/ha con aplicación de 230 kg/ha de nitrógeno. Además, los resultados bromatológicos encontraron que con aplicación de nitrógeno de 160 kg/ha obtuvo en materia seca 25.39 %, proteína cruda 10.31 %, fibra 37,46 % y ceniza 12.31 %.

**Tabla 3**

Resultados de análisis bromatológico del pasto zuri bajo plantación de árboles de cocobolo de dos años.

ITEMS	PLANTACIÓN DOS AÑOS,	PLANTACIÓN DE SIETE
	2017	AÑOS, 2022
Materia orgánica, %	89.37	93.60
Fibra cruda, %	34.7	---
Proteína, %	10.53	10.12
Calcio, %	1.03	4.02
Magnesio, %	0.57	2.40
Fósforo, %	0.17	0.21
Potasio, %	1.86	1.66
Hierro, ppm	152	859
Cobre, ppm	4.5	1.13
Manganeso, ppm	140	276
Zinc, ppm	18	26

Los resultados del análisis de fertilidad del suelo que se presentan en la tabla 4 permiten verificar los cambios a seis años de plantación con la condición inicial. Con textura franco-arcillo-arenosa posee características típicas de un suelo con buena retención de agua. El pH, así como el calcio, magnesio y la materia orgánica presentaron valores superiores a la condición original, mientras que el fósforo presentó valor ligeramente menor. Es notable la condición en los primeros 5 cm de profundidad donde la presencia de estos minerales es mayor, de ahí la importancia de conservar esta primera lámina de suelo.

Tabla 4

Resultado de análisis de suelo de la parcela a dos profundidades, años 2016 y 2022.

ITEMS	0 – 20 cm	0 – 5 cm	5-15 cm	15-40 cm
	Año 2016	Año 2022	Año 2022	Año 2022
Textura	Franco Arcillo Arenoso	Arcillo-Arenoso	Arcillo-Arenoso	Arcilloso
Arena	55.4%	48.8	46.6	42.7
Limo	15.1%	15.0	9.8	10.1
Arcilla	29.5%	36.2	43.6	47.2
pH	4.8	5.1	5.0	4.9
Fósforo	6.7 ppm	4.95	2.73	1.02
Potasio	54.9 ppm	----	----	----
Calcio	4.86 meq/100g	8.23	3.93	2.90
Magnesio	0.57 meq/100g	2.0	0.9	0.4
Acidez	0.05 meq/100g	0.20	0.20	0.20
Aluminio	0.00meq/100g	0.00	0.00	0.00
Materia Orgánica	3.52%	4.15	3.62	1.21
Hierro	175 ppm	203.8	76.9	20.1
Cobre	6 ppm	9.8	7.5	4.0
Manganeso	127 ppm	106.4	48.1	16.5
Zinc	2.7 ppm	9.4	1.4	0.1



CONCLUSIONES

En una parcela silvopastoril de árboles de cocobolo *Dalbergia retusa* Hemsli, con pasto zuri *Panicum máximum* C.V. BRS Zuri de seis años establecida en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Chiriquí bajo pastoreo, se realizaron observaciones de los componentes arbóreo, la pastura y el suelo. La sobrevivencia (67 %), al igual que el diámetro a la altura del pecho (10.7 cm) resultaron con valores positivos para un balance de los componentes arbóreo y la pastura.

La altura total y la altura comercial alcanzaron valores promedios de 7.3 m y 2.5 m respectivamente, con incrementos medios anuales (IMA) de 1.0 m/año. Se encontró una frecuencia de fustes cilíndricos de 36 % con altura comercial promedio de 2.5 m y con mayor presencia de troncos torcidos, inclinados, bifurcados.

La producción de materia seca (11.50 ton/ha/año) resultó un 60 % menor que el potencial reportado para el cultivar, resultado asociado a la baja fertilidad del suelo y al posible efecto de la sombra de los árboles. Los valores de proteína cruda oscilaron entre 8.25 y 11.35 %.

A nivel de suelo, bajo plantación juvenil de cocobolo de seis años, el pH, así como el calcio, magnesio y la materia orgánica presentaron valores superiores a la condición original especialmente en los primeros 5 cm de profundidad, mientras que el fósforo y potasio presentaron valores menores.

El establecimiento de un sistema silvopastoril mediante asocio de árboles de cocobolo con pasto mejorado resultó exitoso, tanto en el establecimiento y crecimiento inicial de los árboles, así como el aprovechamiento de la pastura mediante el pastoreo de bovinos y el mejoramiento de características importantes del suelo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Alvarado, M., & Juergens, G. A. (2014). Guía de Silvicultura: Análisis y Prescripción de Compartimientos en Planes de Manejo con Fines de Silvicultura y Manejo 2da ed. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, ICF Tegucigalpa, Honduras. 93 p.
- Anchundia, M. (2021). Rendimiento y valor nutricional del pasto zuri (*Panicum máximum* cv. BRS Zuri) en Río Verde, provincia de Santa Elena. Tesis, Ing. Agropecuaria. Universidad Estatal península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador. 100 p.
- Beer, J. W., & Somarriba, E. (1984). Investigación de Técnicas Agroforestales Tradicionales. Actas del curso efectuado en Tabasco, Campeche y Quintana Roo, México del 30 de noviembre al 10 de diciembre de 1984.



- Celeforestal. (2018). Dimensionado de la copa de los árboles. https://www.youtube.com/watch?v=mC6-lo_CE3M&t=465s
- Cordero, J. & Boshier, D. (2003). Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas. Turrialba, CR, OFI/CATIE. 1079 p.
- Da Fonte, J. R. (2018). Marangatú Semillas nuevos pastos. Unipasto/EMBRAPA, Brasil. Presentación en Power Point.
- De Camino Velozo, R. (2018). Especies para la reforestación en Costa Rica: formando un activo de alto valor. *Ambientico*, 267, 10-16
- Galindo, W. F. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su relación con REDD+. CIPAV. Presentación en Power Point. Disponible en: <http://docplayer.es/62860339-Los-sistemas-silvopastoriles-y-su-relacion-con-redd.html>
- Hall, J. S., & Ashton, M. S. (2016). Guía de crecimiento y sobrevivencia temprana de 64 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá. 171 p
- López, G. (2007). Sistemas Agroforestales. SEGARRA, Subestación de Desarrollo Rural. Colegio de Posgrado Campus Puebla. México.
- Marín W.A., & Flores E. M. (2017). Información técnica. *Dalbergia retusa* Hemsl. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica y Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica, Costa Rica.
- Martínez, M. E. (2021). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa climáticamente inteligente para la ganadería. Curso en línea, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://es.coursera.org/lecture/sistemas-agrosilvopastoriles/que-es-la-ganaderia-climaticamente-inteligente->
- MIDA. (2014). Aportes para el desarrollo del sector agropecuario y rural de Panamá, desde una política de mediano y largo plazo. 55 p.
- Miranda, K. E. (2018). Evaluación de las zanjas de infiltración como método de cosecha de agua de lluvia en pasto (*Panicum maximum* cv. RRS Zuri), cultivo de frijol (*Vigna sinensis*) y plantación juvenil de mangos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, sede Chiriquí. Tesis, Ing. Manejo de Cuencas y Ambiente, Universidad de Panama. 115 p.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (2015). Sistemas Agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. CIVAP, Cali, Colombia. 454 p.



- Murgueitio, E., Uribe, F., Zuluaga, A., Galindo, W., Valencia, L., Giraldo, C. & Soto, R. (2010). Reconversión ganadera con sistemas silvopastoriles en la provincia de Chiriquí. MIDA-CONADES-CIPAV, 163
- Musalem, S. (2001). Sistemas Agrosilvopastoril. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Division de Ciencia Forestal. 120p.
- Pérez Barrios A. O. (2023). Utilización de abono orgánico en la producción y calidad nutritiva del pasto *Panicum máximum* cultivar BRS Zuri durante la temporada lluviosa en Panamá Este. Tesis, Ing. Agrónomo Zootecnista, Universidad de Panamá'. 92 p.
- Ríos, L., Herrera, D., Ríos, C., Ramos, F., Pezzo, D., Villanueva, C., & Quiroz, R. (s.f). Efecto de la sombra arbórea sobre el rendimiento y valor nutricional de pastos mejorados. IDIAP/CATIE, Panamá. Afiche a color
- Zapata, A., Ávila, I., Caicedo, M., & Cuéllar, V. (2022). Ganadería sostenible y adaptación al cambio climático. CIPAV/ Fundación Natura. 240 p. <https://naturapanama.org/wp-content/uploads/2024/01/LIBRO-GANADER-SOSTENIB-CAMB-CLIMA-2022-NATURA-GEMAS-CIPAV-Version-Digital.pdf>



Efecto del ácido oxálico sobre el control de la varroasis (*Varroa destructor*) en abejas melífera

Effect of oxalic acid on the control of varroasis (*Varroa destructor*) in honeybees

*Charoline Gutiérrez. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

charoline.gutierrezr@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0000-9661-8400>

Roderick De la Cruz. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

roderick.delacruz@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0006-9216-5938>

Alex Ríos. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

alex.morenom@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

Reynaldo Vargas. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

reynaldo.vargas@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

*Autor de Correspondencia: charoline.gutierrezr@up.ac.pa

Recibido: 9/04/2026

Aceptado: 26/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10105>

RESUMEN. La varroasis, causada por el ácaro *Varroa destructor*, representa uno de los principales retos sanitarios en *Apis mellifera*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de ácido oxálico en control de la varroasis. La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede-Chiriquí, Universidad de Panamá, utilizando 18 colmenas. Las variables de respuesta fueron examinadas para verificar la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. La variable peso final e incremento de peso fueron evaluadas con la prueba de Mann-Withney. El diagnóstico se evaluó con estimador no paramétrico de Chi cuadrado. Los factores fijos de la eficacia fueron evaluados con Chi cuadrado y la interacción con la prueba de Fisher. Los costos fueron analizados con la prueba no paramétrica de Mann-Withney. Los resultados mostraron que la infestación inicial fue moderada y similar entre apiarios. El fluvalinato (químico) obtuvo la mayor eficacia (99.9 %), mientras que el ácido oxálico (orgánico) logró valores entre el 75 % y el 85 %, considerados efectivos como alternativa orgánica. No se encontraron diferencias significativas en el peso final ni en el incremento de peso entre tratamientos, lo que indica que ambos tratamientos permitieron mantener la estabilidad biológica de las colmenas. En el análisis económico, el ácido oxálico presentó el menor costo por colmena (0.70 USD), frente al fluvalinato (5.40 USD). El fluvalinato fue el tratamiento más eficaz; sin embargo, el ácido oxálico se posiciona como la opción más viable y rentable.

PALABRAS CLAVE: ácaro, colmena, control orgánico, control químico, eficacia, fluvalinato.

ABSTRACT. Varroa mite infestation, caused by the *Varroa destructor* mite, is one of the major health challenges facing *Apis mellifera*. The objective of this study was to evaluate the effect of oxalic acid on the control of Varroa mite infestation. The study was conducted at the Chiriquí campus of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Panama, using 18 beehives. The response variables were assessed for normality using the Shapiro-Wilk test and for homogeneity of variances using Levene's test. The final weight and weight gain were analyzed using the Mann-Whitney U test. The diagnosis was assessed using a nonparametric chi-square test. The fixed factors affecting efficacy were analyzed using the chi-square test, and interactions were assessed using Fisher's exact test. Costs were analyzed using the nonparametric Mann-Whitney test. The results showed that the initial infestation was moderate and similar across apiaries. Fluvalinate (chemical) was the most effective (99.9 %), while oxalic acid (organic) achieved efficacy rates between 75 % and 85 %, which are considered effective as an organic alternative. No significant differences were found in final weight or weight gain among treatments, indicating that both treatments helped maintain the biological stability of the hives. In the economic analysis, oxalic acid had the lowest cost per hive (0.70 USD), compared to fluvalinate (5.40 USD). Fluvalinate was the most effective treatment; however, oxalic acid is the most viable and cost-effective option.

KEYWORDS: beehive, chemical control, effectiveness, fluvalinate, mite, organic control.



INTRODUCCIÓN

Las abejas melíferas (*Apis mellifera*), son susceptibles a ser afectadas por una variedad de enfermedades y parásitos, que pueden tener un efecto nocivo en el desarrollo y productividad de sus colonias (OIRSA, 2012). Es necesario que el apicultor aprenda a reconocer algunas enfermedades de las abejas, esto permitirá tratar a tiempo una colonia enferma y evitar pérdidas económicas que pueden resultar cuantiosas.

El apicultor debe preocuparse básicamente por aquellas enfermedades que causan daños a la apicultura año tras año; y una de ellas es la infestación parasitaria conocida como varroasis (*Varroa destructor*). Esta enfermedad es considerada como el principal problema sanitario que afecta a la apicultura a nivel mundial, pues afectan a la abeja melífera en todos sus estadios de desarrollo crías y adultas (Martínez et al., 2022).

La varroasis ya ha sido detectada en Panamá, con prevalencias significativas en varias provincias, lo que demuestra que el problema no es solo global, sino también local. Estudios recientes muestran que Veraguas alcanza hasta un 80% de incidencia, mientras que Coclé y Chiriquí superan el 45 %, lo que subraya la necesidad de vigilancia y control constante (Collantes et al., 2024).

Como señala Quirós (2023), una infestación severa de *V. destructor* puede causar la muerte de toda una colonia de abejas melífera entre tres y cuatro años posterior a su infestación, también este autor señala que, si no se trata una colonia contra este ácaro, no sobrevive más de dos años.

El daño que la varroasis causa depende del grado de infestación de las colonias, reportes científicos estiman que el efecto negativo sobre la productividad comienza cuando la población de ácaros alcanza 10 % de infestación de las abejas adultas en una colonia; en este sentido, cuando la infestación llega a ser de 30 a 40 %, normalmente termina con la colonia (Díaz et al., 2019).

Se debe considerar el impacto de esta enfermedad parasitaria en la apicultura, la misma requiere tratamientos orgánicos o químicos para disminuir o eliminar los niveles de infestación en las colmenas. Uno de los productos alternativos que se ha utilizado en el tratamiento de la varroasis, corresponde al ácido oxálico (Adjlane et al., 2016). Este ácido se produce de manera natural en forma de oxalatos en las raíces y rizomas de plantas de la familia Oxalis y Rumex, de las cuales fue aislado originalmente (Martínez, 2015) y se comercializa principalmente en cristales que contienen 71.4 % de ácido oxálico anhidro y 28.6 % de agua (Mariani et al., 2003).

Se desconoce su mecanismo de acción contra varroa, sin embargo, su función acaricida se ha atribuido a la sensibilidad de los ácaros al pH ácido (Nanetti, 2003; Maggie et al., 2015). Por tanto, para que el ácido oxálico sea efectivo debe estar en contacto directo con el parásito en la fase forética (Aliano et al., 2006). En el desarrollo de esta investigación se consideró que el ácido oxálico podría desempeñar un papel relevante en el control de la varroasis en colonias de *Apis mellifera*. Por ello, se evaluó el efecto de este ácido en el control de varroasis en *Apis mellifera*.



MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se realizó en Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, ubicada en el corregimiento de Chiriquí, distrito de David, provincia de Chiriquí, República de Panamá, localizada a los 8°23'07" de latitud norte y a los 82°18'15" de latitud oeste, con una elevación de 26 m s. n. m.

Para la evaluación de efectividad del compuesto orgánico ácido oxálico en el control del ácaro *V. destructor* se llevó a cabo en los meses de julio-agosto del 2025, durante la época de lluvia donde se encuentra la mayor prevalencia de *V. destructor* en las colmenas (Calderón et al., 2024). El estudio constó de dos fases: una de diagnóstico, que se llevó a cabo en todos los apiarios y una segunda fase de aplicación y evaluación del tratamiento, que se realizó solo en los apiarios 1 (Las Lajitas) y 2 (La Berrona), donde se detectó una mayor prevalencia de la enfermedad. El ácido oxálico se aplicó en dos ocasiones, con un intervalo de 15 días entre cada tratamiento (día 0 y día 15). El efecto del tratamiento se mantuvo durante un período de cuatro semanas, abarcando hasta el día 30, dentro del total de 40 días de seguimiento del estudio.

Para la investigación se utilizaron 18 colmenas tipo langstroth, conformadas por una o dos alzas, a las cuales se le aplicaron dos tratamientos: orgánico (ácido oxálico) y otro químico (fluvalinato). Fase 1: El diagnóstico del ácaro se realizó utilizando la prueba del frasco (Frigolí & Poffer, 2019), donde se tomaron 10 colmenas seleccionadas al azar en cada apiario, de cada colmena se tomaron alrededor de 100 abejas de la cámara de cría (abejas nodrizas) y 50 abejas de la piquera (abejas pecoreadoras).

El porcentaje de infestación de la muestra se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$Pi = (Ac/Ab) * 100$$

Dónde:

Pi = Porcentaje de infestación

Ac= Número total de ácaros en la muestra

Ab= número total de abejas en la muestra

El nivel de infestación de la *V. destructor* en abeja adulta se obtiene a través de la escala propuesta por Frigolí & Poffer (2019).

Tabla 1

Escala de nivel de infestación de V. destructor.

Nivel de infestación	Porcentaje
Leve	Menos de 5 %
Moderado	5-10%
Fuerte	Más de 10 %

Las 10 fueron al azar

colmenas que seleccionadas entraron en el

rango de porcentaje de infestación moderado de 5-10 %.

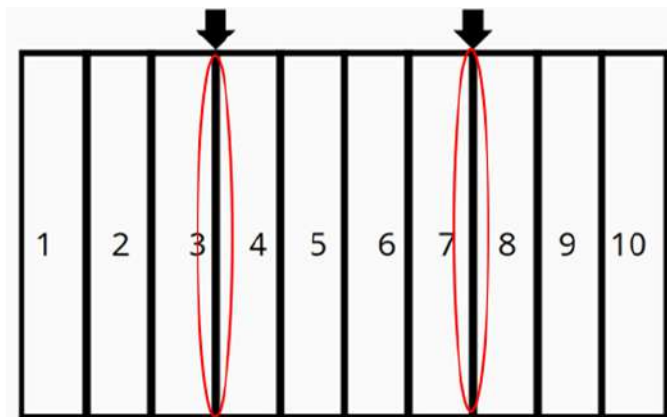
Fase 2: Aplicación de tratamientos

Para la aplicación del tratamiento químico a cada colmena, se colocaron dos tiras de un acaricida piretroide sintético comercial, fueron introducidas entre los cuadros de la cámara de cría de la colmena, quedando colgadas verticalmente con la ayuda de su sistema de suspensión. Las tiras fueron colocadas entre los marcos tres, cuatro y siete, ocho, de manera diagonal como se observa en la figura 1 (en los círculos rojos). El producto químico se mantuvo dentro de la colmena durante cuatro semanas, según las recomendaciones del fabricante.

Para la aplicación del tratamiento orgánico con ácido oxálico, se colocaron dos tiras de toalla absorbente impregnada con una solución de 12 g de ácido oxálico, 13 ml de glicerina y 10 ml de agua destilada. La solución se preparó calentando el agua destilada con glicerina (60 °C) y posteriormente agregando ácido oxálico gradualmente hasta que la sustancia se disolviera y homogenizara. La sustancia se recolectó con la ayuda de una jeringa para su transporte y aplicación, las toallas húmedas fueron colocadas de cada lado de la cámara de cría en los marcos tres, cuatro y siete, ocho como se observa en la figura 1, en dos aplicaciones a intervalos de 15 días y se dejó el tratamiento por cuatro semanas.

Figura 1

Posición donde se colocó ambos tratamientos.



Condiciones Experimentales

Se empleó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial que se describe a continuación:

$$Y_{ijklmno} = \mu + A_i + B_j + C_k + (A*B)_l + (A*C)_m + (B*C)_n + (A*B*C)_o + E_{ijklmno}$$

$Y_{ijklmno}$ = variables de respuesta (estado de salud, peso final de la colmena, porcentaje de eficacia del tratamiento).

μ = media general

A_i = control (químico, orgánico)

B_j = lugar (A y B)

C_k = porcentaje de infección (baja, alta)

$(A*B)_l$ = interacción control por lugar



$(A*C)_m$ = interacción control por porcentaje de infección

$(B*C)_n$ = interacción lugar por porcentaje de infección

$(A*B*C)_o$ = interacción control por lugar por porcentaje de infección

$E_{ijklmno}$ = error aleatorio

Los datos fueron tabulados en una hoja de cálculo (Microsoft 365®). Para el análisis estadístico se utilizaron los programas R (R versión 4.2.2, 2022-10-31, RStudio, Inc.) y Statistica V12.5 (StatSoft, Inc®). Las variables de respuesta fueron examinadas para verificar la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. La variable peso final e incremento de peso fueron evaluadas con la prueba de Mann-Withney. El diagnóstico se evaluó con estimador no paramétrico de Chi cuadrado. Los factores fijos de la eficacia fueron evaluados con Chi cuadrado y la interacción entre estos con la prueba de Fisher. Los costos fueron analizados con la prueba no paramétrica de Mann-Withney. Se empleó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ para todas las pruebas estadísticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico

Los resultados obtenidos mostraron que el nivel de infestación para los dos apiarios fue similar ($\chi^2(1) = 0.00$, $p = 1.00$) estadísticamente al inicio de la investigación, se puede atribuir a que la distribución de la varroasis era homogénea en ambos lugares debido a su similitud en las condiciones climáticas de la zona y la época. Estos resultados son similares a los obtenidos por Ramos et al. (2024), en México, donde el nivel de infestación fue de 5 %, lo que coincide con los datos de la presente investigación cuyo porcentaje de varroasis en el apiario La Lajitas fue de 6.26 % y de 6.51 % en el apiario La Berrona. También se debe tener en cuenta que la varroasis causa daños a la colmena en función de su nivel de infestación y que se estima que el mayor efecto negativo más importante se observa en la colmena cuando la cantidad de ácaros supera el 10 % (Calderón & Sánchez, 2011).

En el diagnóstico de las abejas nodrizas y las abejas pecoreadoras no se observan diferencias significativas ($\chi^2(1) = 0.42$, $p = 0.51$). Esta similitud en los resultados se explica según Cervo *et al.* (2014), cuando la abundancia de ácaros aumenta dentro de la colonia, la falta de diferencias en las señales químicas entre las abejas nodrizas y las abejas pecoreadora probablemente no permite a los ácaros discriminar entre abejas con diferentes tareas y hace que los ácaros se adhieran a ambas para alimentarse de su hemolinfa.

Aun así, numéricamente el mayor nivel de infestación se observó en las abejas nodrizas (cámara de cría, Tabla 2), lo que se puede explicar biológicamente debido a que el ácaro realiza en su fase reproductiva parasita las abejas adultas y se prepara para invadir una celda con cría poco antes de que esta sea operculada (OIE, 2021). Esto también se puede atribuir según Jack et al. (2020), a que el parásito prefiere ocupar las celdas de los zánganos en la cámara de cría, atribuyendo a mayores concentraciones de hormona juvenil y período de desarrollo mayor que el de la abeja obrera.

**Tabla 2***Distribución porcentual de infestación de la colmena cámara de cría y piquera.*

Sitios de la colmena	Porcentaje del diagnóstico
Cámara de cría (Nodrizas)	6.38 %
Piquera (Pecoreadora)	3.53 %

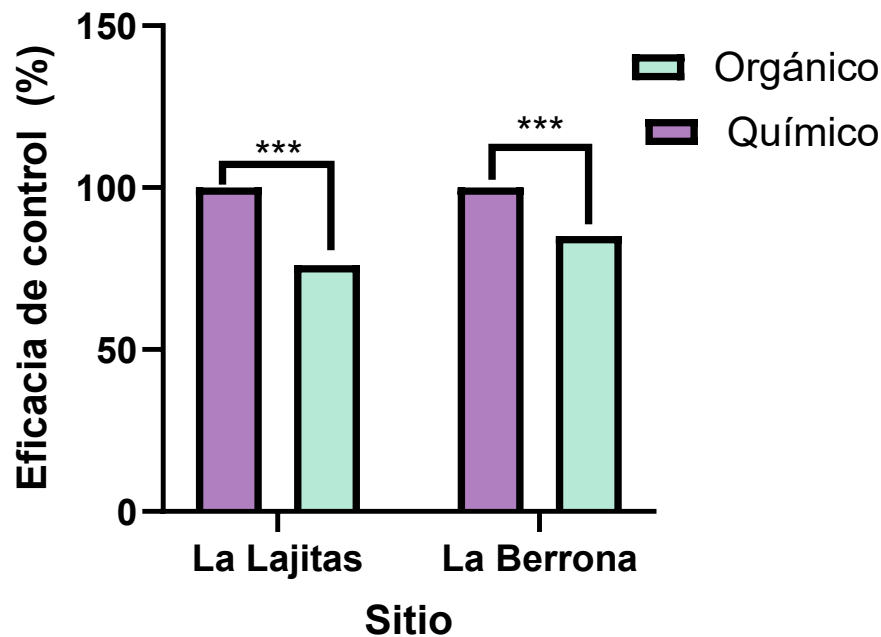
Eficacia de los tratamientos

Los resultados obtenidos muestran que el control fue similar entre apiarios ($\chi^2_{(1)} = 1.33$, $p = 0.24$), lo que sugiere que las condiciones ambientales y de manejo no influyeron significativamente en la respuesta al tratamiento. No obstante, se observan diferencias claras entre tratamientos ($\chi^2_{(1)} = 22.22$, $p < 0.001$), tanto en Las Lajitas ($\chi^2_{(1)} = 29.89$, $p < 0.001$) como en La Berrona ($\chi^2_{(1)} = 16.22$, $p < 0.001$), siendo el tratamiento químico estadísticamente superior al tratamiento orgánico, con una eficacia del 99.9 % en los dos apiarios, lo que se asemeja a lo reportados por González et al. (2005), quienes encontraron que el fluvalinato presentó una eficacia de 98.5 %, mientras que en otra investigación realizada por Crespo et al. (2011), utilizando el fluvalinato reportaron eficacia del 74.7 % en el control del ácaro, este resultado es inferior a lo obtenido en este estudio, lo que podría deberse a que las colmenas muestreadas pudieran presentar casos de resistencia a este químico, los cuales son muy comunes con el uso intensivo como señalan Sorucu et al. (2025), la exposición continua a este piretroide puede favorecer a mutaciones en el canal de sodio de la abeja, lo que reduce significativamente la eficacia del tratamiento.

En cuanto al tratamiento orgánico contra la varroasis resultó con una eficacia del 75.73 % (Figura 2) en el apiario de Las Lajitas, este resultado es similar al reportado por Calderón et al. (2024), donde obtuvieron una efectividad del 74.4 % utilizando el mismo método, mientras que para el apiario La Berrona, la efectividad reportada fue del 85 %, similar al 86.8 % y 88.3 % reportado por Gallardo & Ordóñez (2018), al utilizar el mismo método y la misma dosis que en la presente investigación. Por otro lado, Villegas (2021), realizó una investigación en Ecuador donde reportó una efectividad de 84.45 % similar a los resultados obtenidos en este trabajo, además indica que la combinación de ácido oxálico con glicerina es viable para el control de la varroasis debido a que permite impregnarse de una mejor manera la cutícula de las abejas y de los ácaros.

Figura 2

Porcentaje de eficacia de los tratamientos químico y orgánico en los sitios de apiario, La Lajita y La Berrona. *** $p < 0.001$



El método de la toalla utilizado por nosotros permite una liberación lenta y prolongada en comparación de otros métodos como el método de goteo, y el método con tiras de cartón. Calderón et al. (2024), también señalan que el ácido oxálico además de ser biodegradable se ha comprobado no se han reportado niveles peligrosos en la miel. Así mismo Aguirre et al. (2007), mencionan que este ácido no representa un peligro para quienes lo preparan ni para los que lo aplican, siendo una solución viable para aquellos productores que desconocen qué productos utilizar.

Según Cameron et al. (2020), el ácido oxálico es más efectivo contra los ácaros que se encuentran en las abejas adultas, ya que no penetra bien en las celdas operculadas donde se desarrollan las larvas y pupas, esto se debe a que el ácaro por estar operculadas se encuentra protegidas de la acción del ácido oxálico, de igual manera los autores señalan que el ácido oxálico con glicerina es más efectivo contra el ácaro *V. destructor* cuando esta se encuentra en su fase forética. Sin embargo, los autores señalan que el momento oportuno para el control de este parásito es cuando se aplica el tratamiento y se interrumpe la cría, logrando la mayor eficacia contra el ácaro, esta interrupción de la cría se lleva a cabo enjaulando la reina en un breve periodo para así controlar y disminuir la población de ácaro en la colmena.

Por otra parte, Kosch et al. (2024), afirman que no existe evidencia sólida en los últimos 30 años de que la *V. destructor* haya desarrollado resistencia al ácido oxálico independientemente del método de aplicación, siendo esto altamente favorable, además de ofrecer una eficacia prolongada, no representa riesgos para la salud de las abejas ni para los productos destinados al consumo humano.



En este estudio no evidenció efectos adversos en las colmenas tratadas con ácido oxálico, este hallazgo coincide con los resultados reportados por Calderón et al. (2024), quienes en su investigación utilizando concentraciones similares no reportaron efectos que perjudiquen la salud de la colmena. De igual forma Villegas (2021), indicó que la administración del ácido oxálico mediante el método de toalla, el cual fue el utilizado en esta investigación, no generó efectos adversos en la colonia de abejas, lo que refuerza la evidencia de que esta sustancia representa una baja toxicidad para las abejas.

Un estudio realizado por Charriere & Imdur (2002), en el que evaluaron diferentes concentraciones de ácido oxálico 30, 37 y 45 g aplicadas por el mismo método mencionan que a partir de los 45 g se observa debilitamiento de la colmena, no obstante, en esta investigación al utilizar concentraciones de 12 g de ácido oxálico, no se observaron casos de debilitamiento en las colmenas.

La prueba de Fisher muestra que no existe diferencia significativa en la interacción entre tratamiento y zonas de muestreo en la colmena ($p > 0.99$), esto puede deberse a que en ambos lugares los tratamientos funcionaron de manera similar lo que provocó una reducción de la infestación tanto en las abejas de la cámara de cría como las de la piquera. Esto confirma que el tratamiento contribuye a la disminución de la varroasis de manera homogénea en toda la colmena. Como afirma Silva (2006), el ácido oxálico ayuda a disminuir el porcentaje de infestación en ambas áreas de la colmena.

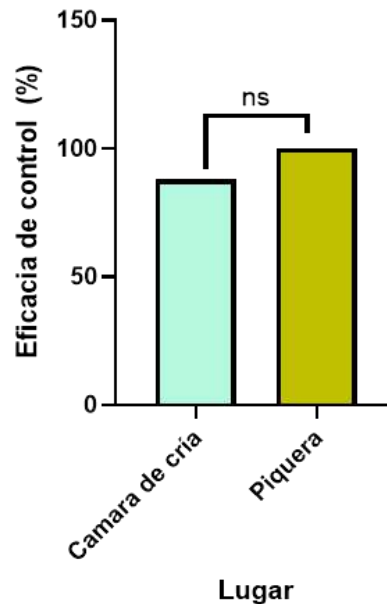
El fluvalinato, es un piretroide de acción por contacto que actúa sobre los canales de sodio dependientes de voltaje del sistema nervioso del ácaro, provocando su parálisis y muerte (Gosselin-Badaroudine & Chahine, 2017). Según afirma Bayer (2020), este químico al distribuirse por medio de contacto físico permite que su eficacia no se limite a una zona específica de la colmena, sino que abarca tanto a las abejas de la piquera como a las de la cámara de cría.

El ácido oxálico actúa principalmente por contacto, alterando el equilibrio fisiológico del ácaro mediante la acidificación externa y la desnaturalización de proteínas cuticulares, lo que provoca su deshidratación y posterior muerte (Rademacher & Harz, 2006).

Además, Rouibi et al. (2016), señalan que el ácido oxálico, al igual que el fluvalinato puede aplicarse sin generar diferencias significativas en la mortalidad de las abejas, incluidas las abejas nodrizas y las pecoreadoras, lo que refuerza los resultados obtenidos (Figura 3) donde ambos tratamientos se distribuyeron de manera similar en las zonas de la colmena.

Figura 3

Eficacia de tratamiento en porcentaje entre sitios de la colmena CC y P. ^{ns} $p < 0.05$.

**Peso final de las colmenas**

La prueba de Mann-Whitney no muestra diferencias significativas en el peso final de las colmenas entre apiarios ($U = 35.000$, $p = 0.65$) ni entre tipos de tratamientos ($U = 36.000$, $p = 0.75$). La prueba de Kruskal Wallis no muestra diferencias significativas en la interacción sitio tratamiento ($H = 0.55$, $p = 0.90$).

Este resultado puede atribuirse principalmente a que ambos tratamientos lograron un control efectivo del ácaro, reduciendo la carga parasitaria sin ocasionar efectos adversos en las abejas adultas ni en la cría. La reducción del estrés parasitario favorece la eficiencia metabólica y la inmunocompetencia de las abejas, permitiendo destinar más energía al cuidado de la cría, la recolección de néctar y polen (Bowen et al., 1999; Ramírez et al., 2021), permitiendo mantener el peso normal de las colmenas que fueron expuestas al tratamiento químico y orgánico.

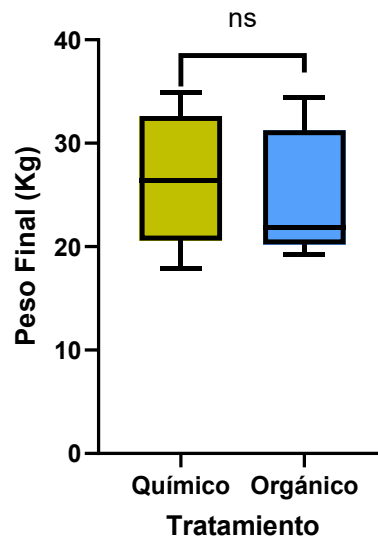
Cuando las poblaciones de *V. destructor* mantienen niveles bajos de infestación, puede conservar su estabilidad biológica. En una investigación realizado en Ecuador donde evaluaron los niveles bajos de infección de varroasis, concluyeron que cuando la tasa de infección de la *V. destructor* es muy baja entre 1.5 a 3 % existe una correlación positiva entre buen comportamiento higiénico y mayor producción de miel, lo que afirma que mantener los niveles de infestación bajo en las colmenas favorece la productividad y reservas de la colonia (Masaquiza et al., 2021).

Por otro lado, Noel et al. (2020), afirman que cuando los niveles de infestación por *V. destructor* son elevados disminuye el peso corporal y el contenido de agua de las abejas jóvenes emergentes, también describen que altera las habilidades de vuelo, retorno a casa y orientación de las abejas pecoreadoras, lo que a su vez limita la eficiencia en su capacidad de recolectar los recursos necesarios para el desarrollo de la colonia. Por el contrario, Morfin et al. (2022), afirman que las colmenas no parasitadas con el ácaro pesan un 5% más en comparación con las abejas que se

encuentran parasitadas. Así mismo Bowen & Gunn, (2001); Annoscia et al. (2012), confirman que las reducciones de peso por parasitismo de ácaros se debían por pérdida de la hemolinfa, el consumo de grasa corporal y reducción del contenido de agua y proteínas de las abejas.

Figura 4

Mediana, mínimo y máximo del peso final entre tratamientos. ^{ns} $p < 0.05$.



Incremento de peso de las colmenas

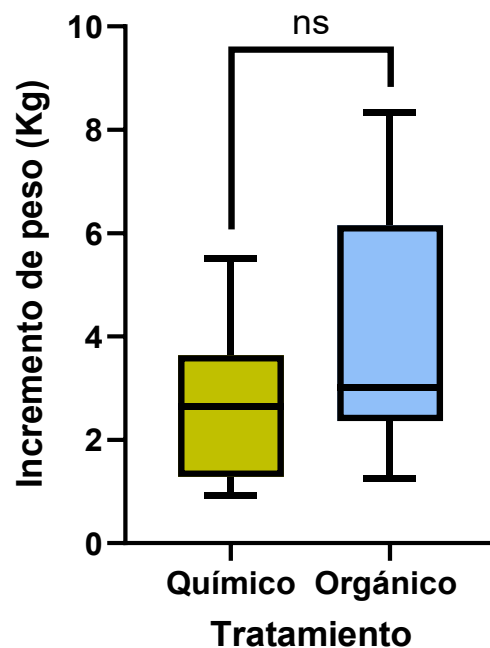
Los resultados mostraron que no hay diferencias significativas en el incremento de peso entre apiarios ($U = 35.000$, $p = 0.65$), tratamientos ($U = 35.000$, $p = 0.68$). La interacción sitio tratamiento no mostró diferencias significativas ($H = 0.43$, $p = 0.93$). Los hallazgos sugieren que, a pesar de la variación en los métodos de tratamiento químico y orgánico para el control del ácaro, las colmenas logran mantener un equilibrio fisiológico y productivo similar. Este comportamiento puede atribuirse a que la eficacia en la reducción del nivel de infestación en todos los tratamientos, lo que permitió que las abejas preservaran su estabilidad biológica y capacidad para recolectar néctar y producir miel, independiente del tipo de producto utilizado como señala Aronstein et al. (2012).

De acuerdo con Fries et al (2003); Delaplane & Hood (1999), cuando las poblaciones de *V. destructor* se mantienen por debajo del 3 % de infestación, el impacto sobre la dinámica de la colonia es mínimo y los parámetros productivos, como el peso total o las reservas de miel, tienden a estabilizarse. En este sentido, no se observó una disminución de peso en las colmenas durante el período de evaluación. Esto se relaciona directamente con la eficacia demostrada tanto por el tratamiento químico como por el orgánico, los cuales lograron mantener la infestación de *Varroa destructor* en rangos bajos y estables. Al evitar que los niveles de infestación superaran los umbrales críticos, se redujo el impacto sobre la dinámica de las colonias y no se generó un estrés como para afectar el crecimiento o desarrollo de las poblaciones. Es posible que estas condiciones fueran similares en ambos apiarios, lo que explicaría la similitud en la ganancia de peso observada (Figura 5).

Además, Guzmán et al. (2010), señalan que la productividad de la colmena no depende únicamente del nivel de infestación, sino también de otros factores ambientales y de manejo, como la disponibilidad floral, las condiciones climáticas y la fortaleza inicial de la colonia.

Figura 5

Mediana mínima, mediana máxima en el incremento de peso en Kg ^{ns} $p < 0.05$.

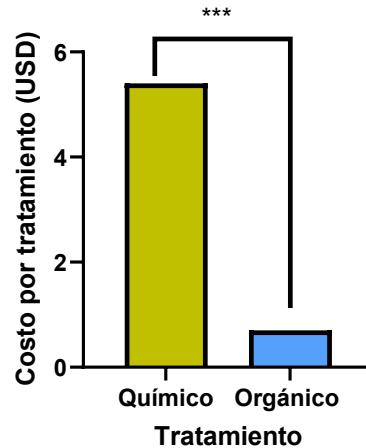


Costo promedio de los tratamientos

El tratamiento químico presentó un costo estadísticamente superior al tratamiento orgánico ($U=12.5$, $p < 0.003$). Este resultado confirma que, aunque el tratamiento químico fue más eficaz en el control de la *V. destructor*, su utilización representa una carga económica más elevada para los apicultores, el costo para el tratamiento químico fue de 5.40 USD por tratamiento, en comparación con el tratamiento orgánico que fue de 0.70 USD (Figura 6), coincidiendo con lo reportado por Minaya & Pérez (2022), que obtuvieron un costo por tratamiento de 0.95 USD y 0.48 USD y también lo reportado por Francia (2023), un costo alrededor de 1.36 USD por colmena.

Figura 6

Costo por tratamiento en los tratamiento químico y orgánico. *** $p < 0.001$.



En la eficacia no hubo diferencia significativa, desde un punto de vista práctico el uso del químico es insostenible para los pequeños y medianos productores, a pesar de que el tratamiento químico es efectivo su uso constante también se ve limitado por el riesgo a la resistencia de este químico al ácaro *V. destructor*, según Sáenz (2023), en un estudio previo en realizado en Costa Rica donde se evaluaron 17 de colmenas de *A. mellifera* se determinó que el 57% de las colmenas muestreadas presentaron poblaciones de ácaros resistentes a los piretroides, evidenciando que a lo largo de los años el uso excesivo del fluvalinato ha hecho que las colonias de abejas hayan desarrollado resistencia a este químico.

Aunque el fluvalinato presentó una mejor eficacia en comparación con el ácido oxálico en contra el ácaro *V. destructor*, la contaminación es uno de los problemas más difíciles de controlar. Como señalan Benito et al. (2021), las colmenas tratadas con fluvalinato presentan contaminación en productos como son cera y pan de abeja, también Dai et al. (2018), afirman que se encuentran restos en polen y miel, por ende, las larvas de colmenas tratadas con el fluvalinato serán alimentadas con una dieta contaminada, afectando así su desarrollo y supervivencia. De igual manera Neira et al. (2011), concluyen que los residuos de fluvalinato en la cera de la cámara de cría causan daño en el desarrollo larvario de las abejas obreras, disminuyendo proporcionalmente el peso y el tamaño de las larvas. Dai et al. (2018), también señalan que el fluvalinato puede afectar el rendimiento de la postura de la reina.

Margaoan et al. (2025), determinaron que el fluvalinato a pesar de ser acaricida altamente efectivo contra las infestaciones de *V. destructor*, tiene efectos adversos en la reproducción, el olfato y la producción de miel de las abejas *meliferas*, debido a que causa una disminución en los sentidos olfativos de las abejas, reduce la productividad de la miel y afecta en la memoria de las abejas.

El fluvalinato aparte de contaminar la colmena, es una sustancia altamente persistente en el ambiente, su estructura química, siendo liposoluble y no volátil, le confiere una vida prolongada en el suelo, de más de 100 días, según Wallner (1999). Esta sustancia puede permanecer de seis meses a dos años en la cera y en el pan de abeja según Bonzini et al. (2011), actuando como fuente constante de contaminación secundaria incluso después de finalizar el tratamiento, este piretroide sintético también es tóxico para organismos acuáticos, como los peces e invertebrados según la



EFSA (2010), a pesar de que estos se aplican en zonas apícolas, pueden llegar los ecosistemas acuáticos a través de escorrentías, desechos de cera contaminada o mal manejo de desechos del apiario, debido a su elevada lipófila estos compuestos tiende a unirse a sedimentos y materia orgánica.

En este sentido, resulta fundamental informar y capacitar a los productores apícolas sobre la existencia de métodos alternativos para el control de la varroasis que no solo resultan más económicos, sino que también mantienen una eficacia comparable a la de los tratamientos químicos tradicionales. Estas alternativas permiten a los apicultores proteger sus colmenas sin incurrir en gastos elevados ni generar impactos negativos en la salud humana, la calidad de los productos apícolas o el equilibrio ecológico del entorno. Además, al implementar estas estrategias de manejo integrado y sostenible, los productores no solo aseguran la viabilidad económica de sus operaciones, sino que también contribuyen al fortalecimiento de prácticas responsables dentro de la apicultura, fomentando la conservación ambiental y la seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

El nivel inicial de infestación por *Varroa destructor* fue moderado, lo que permitió evaluar la eficacia de los tratamientos en condiciones de presión parasitaria representativa.

El tratamiento con fluvalinato resultó ser el más eficaz para el control del ácaro, confirmando su efectividad frente a infestaciones moderadas en las colmenas estudiadas.

El peso final de las colmenas no mostró diferencias significativas entre tratamientos ni apiarios, lo que indica que las colonias mantuvieron estabilidad productiva durante el periodo experimental.

El tratamiento orgánico se destacó como la opción de menor costo al cierre del estudio, lo que lo convierte en una alternativa económicamente viable para los apicultores.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Adjlane, N., Tarek, E., & Haddad, N. (2016). Evaluation of Oxalic Acid Treatments against the Mite *Varroa destructor* Secondary Effects on Honey Bees *Apis mellifera*. *Journal Arthropod-Borne Diseases*, 10(4), 501-509.
- Aguirre, J., Demedio, J., & Roque, E. (2007). Eficacia varroicida del ácido oxálico en jarabe de sacarosa por goteo. *Salud Animal*, 29(2), 118-122.
- Aliano, N., Ellis, M., & Siegfried, B. (2006). Acute contact toxicity to *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and their *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) hosts in laboratory bioassays.



- Journal of Economic Entomology*, 99(5), 1579-1582. <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-99.5>.
- Annoscia, D., Del Piccolo, F., & Nazzi, F. (2012). How does the mite *Varroa destructor* kill the honeybee *Apis mellifera*? Alteration of cuticular hydrocarbons and water loss in infested honeybees. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1548-1555. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.09.008>
- Aronstein, K. A., Saldivar, E., Vega, R., Westmiller, S., & Douglas, A. E. (2012). How *Varroa* Parasitism Affects the Immunological and Nutritional Status of the Honey Bee, *Apis mellifera*. *Insects*, 3(3), 601–615. <https://doi.org/10.3390/insects3030601>
- Bayer., AG. (2020). The *Varroa* mite: Biology, reproduction and control. Bayer Animal Health GmbH. Disponible en https://www.bayer.com/sites/default/files/The_Varroa_Mite_2020.pdf
- Bonzini, S., Tremolada, P., Bernardinelli, I., Colombo, M., & Vighi, M. (2011). Predicting pesticide fate in the hive (part 1): Experimentally determined τ -Fluvalinate residues in bees, honey and wax. *Apidologie*, 42(3), 378-390. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0011-2>
- Benito, M., Bartolomé, C., Maside, X., Bernal, J., Bernal, J., Nozal, M., Meana, A., Botías, C., Hernández, R., & Higes, M. (2021). Residual Tau-Fluvalinate in Honey Bee Colonies Is Coupled with Evidence for Selection for *Varroa destructor* Resistance to Pyrethroids. *Insects*, 12(8), 731-731. <https://doi.org/10.3390/insects12080731>
- Bowen, P., Martin, S., & Gunn, A. (1999). The transmission of deformed wing virus between honeybees (*Apis mellifera* L.) by the ectoparasitic mite *Varroa jacobsoni* Oud. *Journal of Invertebrate Pathology*, 73(1), 101-106.
- Bowen, P. L., & Gunn, A. (2001). The effect of the ectoparasitic mite, *Varroa destructor* on adult worker honeybee (*Apis mellifera*) emergence weights, water, protein, carbohydrate, and lipid levels. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 101(3), 207-217.
- Cameron, J., Santen, E., & Ellis, J., (2020). Evaluación de la eficacia de la vaporización de ácido oxálico y la interrupción de la cría en el control de la plaga de abejas *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), *Journal of Economic Entomology*, 113, (2), 582-588, <https://doi.org/10.1093/jee/toz358>
- Calderón, R., & Sánchez, L. (2011). Diagnóstico de enfermedades en colmenas de abejas africanizadas en Costa Rica: prevalencia y distribución de setiembre a noviembre del 2007. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 49-60.
- Calderón, R., Quiros, O., Ramírez, F., & Sánchez, L. (2024). Control integrado del ácaro *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) con ácido oxálico en colonias de abejas africanizadas en el trópico de Costa Rica. *Ciencias Veterinarias*, 42 (2), 1-19. <https://doi.org/10.15359/rcv.42-2.2>



- Cervo, R., Bruschini, C., Cappa, F., Meconcelli, S., Pieraccini, G., Pradella, D., & Turillazzi, S. (2014). La alta abundancia de ácaros *Varroa* influye en los perfiles químicos de las abejas obreras y en las preferencias de los ácaros y sus huéspedes. *Journal of Experimental Biology*, 217(17), 2998-3001. <https://doi.org/10.1242/jeb.099978>
- Collantes, R., Del Cid, R., Reina, L., & Garcia, M., (2024). Detección preliminar de *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) y su relación con factores climáticos en Panamá. *ResearchGate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/377760101_Deteccion_preliminar_de_Varroa_jacobsoni_Acari_Varroidae_y_su_relacion_con_factores_climaticos_en_Panama
- Charriere, J., & Imdur, A. (2002). Tratamiento con ácido oxálico por goteo contra *Varroa destructor*: recomendaciones para su uso en Europa central y en condiciones climáticas templadas. *Bee World*, 83 (2), 51-60 <https://doi.org/10.1080/0005772X.2002.11099541>
- Dai, P., Jack, C., Mortensen, A., Bustamante, T., & Ellis, J. (2018). Toxicidad crónica de amitraz, cumafós y fluvalinato en larvas de *Apis mellifera* L. criadas in vitro. *Scientific Reports*, 8(1), 5635-5635. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24045-3>
- Delaplane, K., & Hood, W. (1999). Economic threshold for *Varroa jacobsoni* Oud. in the southeastern USA. *Apidologie*, 30(5), 383-395.
- Díaz, B., Moyón, J., & Boquero, M. (2019). Evaluación de tres alternativas para el control de varroasis (*Varroa destructor*) en apiarios ecuatoriano *Ciencia y Agricultura*, 16(1), 63-78. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560059292005/html/>
- European Food Safety Authority (EFSA). (2010). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance tau-fluvalinate. *EFSA Journal*, 8(12), 1894. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1894>.
- Francia, G. (2023). Métodos de aplicación del ácido oxálico en colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera*) para el control del ácaro (*Varroa destructor*). Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis para optar por título de ingeniera agrónoma. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6094>
- Fries, I., Imdorf, A., & Rosenkranz, P. (2003). Survival of mite infested (*Varroa destructor*) honey bee (*Apis mellifera*) colonies in a Nordic climate. *Apidologie*, 34(4), 389-397.
- Frigolí, L., & Poffer, D. (2019). Monitoreo y control de varroasis. Obtenido de INTA: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_monitoreo_y_control_de_varroasis.pdf
- Gallardo, H., & Ordóñez, A. (2018). Evaluación de dos métodos de tratamiento con ácido oxálico para el control de *Varroa destructor* en colonias de abejas *Apis mellifera* L. Mexico. <https://hermeshoney.com/2019/wp-content/uploads/2019/08/Evaluacion-de-dos-metodos->



[de-tratamiento-con-acido-oxalico-para-el-control-de-Varroa- destructor-en-colonias-de-abejas-Apis-mellifera-L.pdf](#)

- González, D., Candia, D., Suárez, J., Salas, L., & Quilodran, O. (2005). Comparación de la eficacia del ácido fórmico y del fluvalinato, como métodos de control de *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) en colmenas de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), en Ñuble, centro sur de Chile. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 64(3), 35-42. <https://www.scielo.org.ar/pdf/rsea/v64n3/v64n3a04.pdf>
- Gosselin-Badaroudine, P., & Chahine, M. (2017). Biophysical characterization of the *Varroa destructor* NaV1 sodium channel and its affinity for τ -fluvalinate insecticide. *FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 31(7), 3066–3071. <https://doi.org/10.1096/fj.201601338R>
- Guzmán, E., Eccles, L., Calvete, Y., McGowan, J., Kelly, P. G., & Correa, A. (2010). *Varroa destructor* is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. *Apidologie*, 41(4), 443–450. <https://doi.org/10.1051/apido/2009076>
- Jack, C., Sperry, N., Mortensen, AN., & Ellis, J. (2020). How to quantify *Varroa destructor* in honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies: ENY-173/IN125710/2019. *EDIS*, 2020 (1), 8. <https://doi.org/10.32473/edis-in1257-2019>
- Kosch, Y., Mülling, C., & Emmerich, I. (2024). Resistencia de *Varroa destructor* al tratamiento con ácido oxálico: una revisión sistemática. *Veterinario. Ciencia.*, 11 (9), 393; <https://doi.org/10.3390/vetsci11090393>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). (2012). Patología, diagnóstico y control de las principales enfermedades y plagas de las abejas melíferas. (E. Guzmán Novoa, & A. Correa Benitez, Edits.) D.F., Mexico: Yire.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). Buenas prácticas apícolas para una apicultura sostenible. <https://www.fao.org/agroecology/database/detail/es/c/1447417/>
- Maggie, M., Tourn, E., Negri, P., Szawarski, N., Marconi, A., Gallez, L., Medici, S., Ruffinengo, S., Brasesco, C., De Feudis, L., Quintana, S., Sammataro, D., & Eguaras, M. (2015). A new formulation of oxalic acid for *Varroa destructor* control applied in *Apis mellifera* colonies in the presence of brood. *Apidologie*, 47, 596-605. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0405-7>
- Mariani, F., Lambrech, R., & Testiani, M. (2003). Evaluación del ácido fórmico para el control de la varroosis en la colmena en mielada. *Vida Apícola*, 122, 48-51.
- Margaoan, R., Papa, G., Nicolescu, A., Cipeigan, M., Kösoğlu, M., Topal, E., & Negri, I. (2025). Environmental pollution effect on honey bees and their derived products: a comprehensive



- analysis. *Environmental science and pollution research international*, 32(16), 10370-10391. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33754-4>
- Martínez, K. (2015). Evaluación de diferentes variedades de *Oxalis tuberosa* (OCA) para la obtención de harina con fines industriales. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.
- Martínez, P.J.F., Gómez Leyva, J.F., González Cortés, N., Catzím Rojas, F.J., Sánchez Melo, Y., & Payró de la Cruz, E. (2022). Presencia de *Varroa destructor*, *Nosema* spp. y *Acarapis woodi* en colonias de abejas de Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 303-315.
- Masaquiza, D., Vargas, J., Ortiz, N., Salazar, R., Curbelo, L., Perez, A., Cuberlo, L., Perez, A., & Arenal, A. (2021). Hygienic Behavior of *Apis mellifera* and Its Relationship with *Varroa destructor* Infestation and Honey Production in the Central Highlands of Ecuador *Insectos*, 2021(12), 966. <https://doi.org/10.3390/insects12110966>
- Minaya, D., & Pérez, I. (2022). Eficacia de tres formulaciones artesanales a base de ácido oxálico para el control de *Varroa destructor* en *Apis Mellifera*, en ambiente de bosque húmedo. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. Trabajo de grado para obtener doctorado en medicina veterinaria. <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/4333>
- Morfin, N., Rawn, D., Petukhova, T., Kozak, P., Eccles, L., Chaput, J., Pasma, T., & Guzmán-Novoa, E. (2022). *Surveillance of synthetic acaricide efficacy against Varroa destructor in Ontario, Canada*. *The Canadian Entomologist*, 154(1), e17. <https://doi.org/10.4039/tce.2022.4>
- Nanetti, A., Büchler, R., Charriere, J., Fries, I., Helland, S., Imdorf, A., Kornela, S., & Kristiansen, P. (2003). Oxalic acid treatments for varroa control (Review). *Apiacta*, 38, 81-87.
- Neira, M., Kauzalrich, C., Navarro, G., Dörner, K., & Manquián, N. (2011). Residuos de tau fluvalinato (piretroide) en la cera de la cámara de cría y su efecto sobre larvas de abejas de la casta obrera (*Apis mellifera* L.) *Agro Sur*. 39(1), 24-34. <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v39n1/art03.pdf>
- Noël, A., Conte, Y., & Mondet, F. (2020). *Varroa destructor*: how does it harm *Apis mellifera* honey bees and what can be done about it? *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1), 45-57. <https://doi.org/10.1042/etls20190125>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2021). Varroasis de las abejas melíferas (infestación de las abejas melíferas por *varroa* spp.), 3.2.6. https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/3.02.06_VARROOSI_S.pdf
- Quirós, O. (2023). Efectividad del ácido oxálico en el control integrado del ácaro *Varroa destructor* en colmenas de abejas africanizadas en Atenas, Alajuela. Trabajo Final de Graduación para optar por el Grado Académico de Licenciatura en Medicina Veterinaria.



Facultad de ciencias de la salud.

<https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/64a3879f-9162-4cb9-9ff0-a8e8aa614159/content>

- Rademacher, E., & Harz, M. (2006). Oxalic acid for the control of varroosis in honey bee colonies - a review. *Apidologie*, 37(1), 98-120. <https://doi.org/10.1051/apido:2005063>
- Ramos, A., De la Mora, Á., Contreras, F., Morfín, N., Tapia, J., Macías, J., Petukhova, T., Correa, A., & Guzmán, E. (2024). Prevalencia e intensidad de varroosis y nosemosis de las abejas melíferas (*Apis mellifera*) en seis regiones del estado de Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 15(1), 98-114. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6434>
- Ramírez, E., Martínez, J., & Torres, C. (2021). Evaluación de tratamientos orgánicos en el control de *Varroa destructor* y su efecto en la dinámica poblacional de *Apis mellifera*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 13(2), 45-56.
- Rouibi, A., Bouchema, Wided., Loucif-Ayad, W., Achou, M., & Soltani, N. (2016). Risks assessment of two acaricides (fluvalinate and oxalic Acid) in *Apis mellifera* intermissa (Hymenoptera, Apidae): Acetylcholinesterase and glutathione S-transferase activities *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(2), 504-508.
- Sáenz, C. (2023). Evaluación del desarrollo de resistencia del ácaro varroa a los acaricidas químicos Apistan® y Bayvarol®. Trabajo presentado para optar al grado de Máster en Apicultura Tropical. Universidad Nacional Heredia Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/71be2160-0e6a-4f12-9c67-82414decd7f1/content>
- Silva, A. (2006). Evaluación del ácido oxálico sobre *Varroa destructor* Anderson y Trueman (Acari: Mesostigmata), aplicado en otoño sobre colonias de *Apis mellifera* L (Hym: Apidae). Tesis para optar al grado de licenciado en agronomía. Universidad Austral De Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fas586e/doc/fas586e.pdf>
- Sorucu, A., Çöl, B., Esra Dibek., & Babayeva, A. (2025). Assessing Phenotypic and Genotypic Resistance to Flumethrin in *Varroa destructor* Populations in Muğla, Türkiye. *Insects*, 16(6), 548. <https://doi.org/10.3390/insects16060548>
- Villegas, X. (2021). Prevalencia y manejo integrado del ácaro *Varroa destructor* en colmenas de abejas africanizadas. Trabajo presentado para optar al grado de Máster en Apicultura Tropical. Universidad Nacional Presbítero Benjamín Núñez. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/aa92dff-d3f2e-4992-953b-f0f93bf48033/content>
- Wallner, K. (1999). Varroácidos y sus residuos en productos apícolas. *Apidología*, 30 2-3,235-248. <https://doi.org/10.1051/apido:19990212>



Comportamiento de dos variedades de cebolla (*Allium cepa*), en dos sistemas de producción y dos tipos de fertilización

Behavior of two onion varieties (*Allium cepa*) under two production systems and two types of fertilization

*Alejo Rellán. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

alejo_rellan@yahoo.com

<https://orcid.org/0009-0003-5874-5988>

Elizabeth Morales. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá.

moralesely06@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-9229-1671>

Rubén Collantes. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

rdcg31@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

Javier Pitti. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

pittjavier28@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0776-8795>

Luis Vinda. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.

lvindarivera@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-7978-3977>

*Autor de Correspondencia: alejo_rellan@yahoo.com

Recibido: 15/04/2026

Aceptado: 28/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10106>

RESUMEN. Se evaluó el efecto de dos sistemas de cultivo (casa de vegetación y campo abierto), dos variedades de cebolla (Alvara y Gladalan Brown) y dos métodos de fertilización (fertirriego y fertilización edáfica) sobre la producción y calidad del cultivo de cebolla en Tierras Altas de Chiriquí, Panamá. El estudio se realizó en la Estación Experimental del IDIAP, en Cerro Punta, mediante un diseño factorial $2 \times 2 \times 2$ en franjas divididas, con tres repeticiones. Se analizaron variables relacionadas con la cantidad y peso de bulbos clasificados por calibre (jumbo, grande, mediano, chico y deforme). Debido a la falta de normalidad de los datos, se aplicaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis, prueba post hoc de Dunn y ANOVA de Scheirer-Ray-Hare para el análisis estadístico. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sistemas de cultivo, tratamientos y variedades. La casa de vegetación presentó un desempeño superior al campo abierto, reflejado en mayor rendimiento y mejor calidad comercial de los bulbos. La combinación CVT₁V₁ (casa de vegetación, fertirriego y variedad Alvara) destacó como la más eficiente, al producir mayor proporción de bulbos, peso y menor incidencia de no comerciales. En contraste, las combinaciones CAT₁V₂, CAT₂V₂ y CVT₂V₂ mostraron los resultados menos favorables en cantidad, peso y calidad. Se concluye que la interacción entre sistema de cultivo, fertilización y variedad influye significativamente en el rendimiento, por lo que la agricultura protegida con la variedad Alvara es una alternativa agronómica eficiente y sostenible para la producción de cebolla.

PALABRAS CLAVE: calidad comercial, cebolla, fertilización, rendimiento, sistemas de siembra, variedades.

ABSTRACT. The effect of two cultivation systems (greenhouse and open field), two onion varieties (Alvara and Gladalan Brown), and two fertilization methods (fertigation and soil fertilization) on onion crop production and quality was evaluated in the Highlands of Chiriquí, Panama. The study was conducted at the IDIAP Experimental Station in Cerro Punta using a $2 \times 2 \times 2$ factorial design in split-strip plots with three replications. Variables related to bulb quantity and weight were analyzed according to bulb size classification (jumbo, large, medium, small, and deformed). Due to the lack of normality in the data, the non-parametric Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, and the Scheirer-Ray-Hare ANOVA were applied for statistical analysis. The results showed significant differences ($p < 0.05$) among cultivation systems, treatments, and varieties. The greenhouse system showed superior performance compared to open-field conditions, reflected in higher yield and better commercial bulb quality. The CVT₁V₁ combination (greenhouse, fertigation, and Alvara variety) was identified as the most efficient treatment, producing a



greater proportion of commercial-grade bulbs and a lower incidence of deformed bulbs. In contrast, the CAT₁V₂, CAT₂V₂, and CVT₂V₂ combinations showed the least favorable results in terms of quantity, weight, and quality. It was concluded that the interaction among cultivation system, fertilization methods, and variety significantly influences crop performance, with protected agriculture using the Alvara variety representing an efficient and sustainable agronomic alternative for onion production.

KEYWORDS: commercial quality, cultivation systems, fertilization, onion, varieties, yield.

INTRODUCCIÓN

La dependencia histórica de la humanidad de los recursos naturales ha evolucionado hacia una explotación más intensiva debido al crecimiento social y la búsqueda de bienestar, generando tensiones entre desarrollo económico y conservación ambiental (Morera, 2000; Badii, 2004). En este contexto, la sustentabilidad de los agroecosistemas se entiende como la capacidad de mantener niveles productivos sin degradar irreversiblemente los recursos, aunque su implementación práctica presenta dificultades (Sarandón, 2002; Álvarez, 2015). El crecimiento demográfico intensifica la presión sobre la producción alimentaria, cuestionando su capacidad para satisfacer la demanda futura (Zamudio et al., 2008; FAO, 2018).

Para garantizar la seguridad alimentaria, es necesario incrementar la producción bajo criterios sostenibles, especialmente ante la presión demográfica proyectada hasta mediados del siglo XXI (Fígoli & Rodríguez, 2003). En este escenario, la agricultura protegida surge como una alternativa estratégica al permitir el control ambiental, reducir riesgos climáticos y optimizar recursos (Juárez et al., 2011). Este enfoque, aplicado particularmente en hortalizas, mejora la eficiencia productiva, reduce el consumo de agua hasta en un 20% y permite producir fuera de temporada, integrando además avances en genética y genómica para maximizar el rendimiento (Padilla et al., 2008; Vargas et al., 2015; Aurelio & Escobar, 2016; Henry, 2019).

El cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), de gran relevancia alimentaria a nivel global, se ha adaptado eficazmente a sistemas protegidos, mejorando su rendimiento y la estabilidad productiva frente a las variaciones climáticas (Aurelio & Escobar, 2016; Teshika et al., 2019). En Panamá, la producción ha mostrado un crecimiento significativo, alcanzando 55,822.20 toneladas en el ciclo 2022–2023 (MIDA, 2023). Sin embargo, en el ciclo 2023–2024 se registraron 28,652.27 toneladas en 992 hectáreas, con un rendimiento promedio de 63.54 t/ha (MIDA, 2025), evidenciando variabilidad influenciada por el cambio climático y fenómenos como El Niño (Arteaga & Burbano, 2018).

MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicada en Cerro Punta, distrito de Tierras Altas, provincia de Chiriquí, República de Panamá. Esta estación está situada en las coordenadas geográficas 327112.00E, 979099.00N y tiene una extensión aproximada de 3 hectáreas, que incluye áreas cultivadas y vegetación silvestre (Collantes et al., 2024).

La región presenta un clima tropical de montaña, caracterizado por temperaturas que oscilan entre los 7 y 18 °C, alta nubosidad y una precipitación anual promedio de 2,000 mm. Los suelos son variados y la topografía es predominantemente ondulada.

Las condiciones climáticas de la zona, propias de la altitud, mantienen temperaturas que la convierten en un entorno propicio para estudios agrícolas en clima fresco (Collantes et al., 2024). Se evaluaron dos variedades de cebolla en dos sistemas de producción.

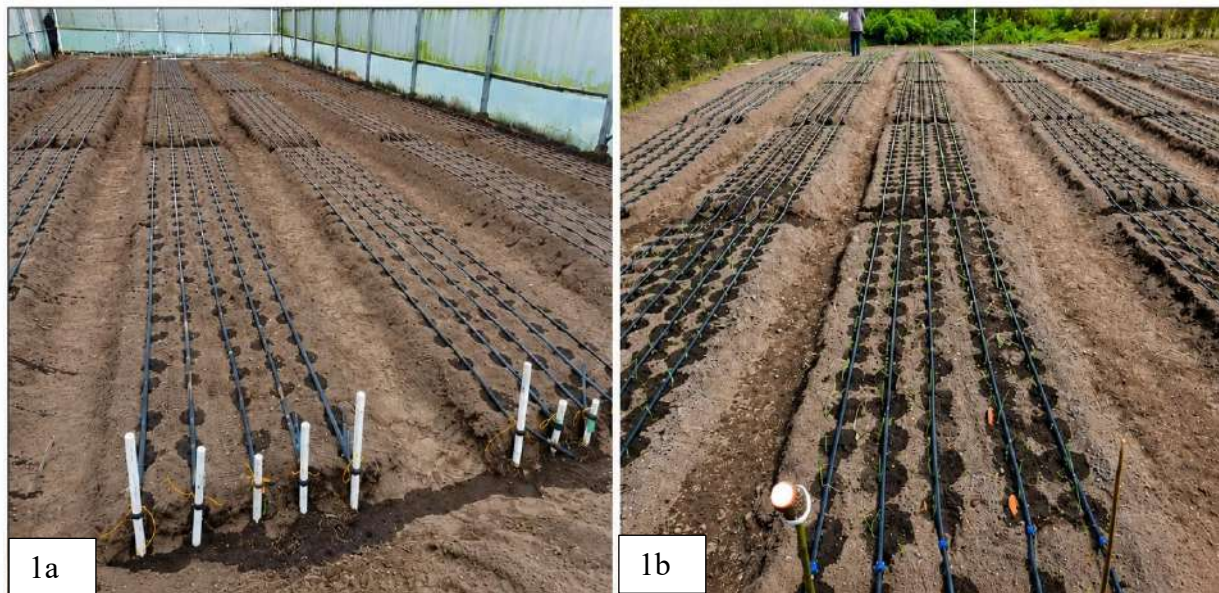
En casa de vegetación:

De dimensiones 12.0 m x 50.0 m x 6.0 m, con mallas antiáfidos y plástico transparente, con una transmisividad de radiación solar entre las primeras y últimas horas del día de un 40 % y en las horas de máximo cenit de un 70 % y transmisión de calor de entre 5.5-6.1 W m² °C⁻¹, similar a las descritas por Serrano (2005); Castilla & Prados (2007) (Figura.1a)

A campo abierto

En campo abierto, replicando las prácticas de los productores de la zona, quienes se ven directamente afectados por las condiciones climáticas (Figura 1b).

Figura 1. a: *Sistemas de producción en casa de vegetación.* b: *Sistema de producción a campo abierto.*



Siguiendo el método propuesto por Peña (2015), se confeccionaron parcelas individuales de 6 m² (1.2 m x 5.0 m) en cada sistema de producción. Se emplearon las variedades de cebolla Alvara y Gladalan Brown, que son las que usan productores del sector. La siembra se llevó a cabo con una densidad de 500,000 plantas por hectárea, colocadas en hileras y separadas entre sí por 20 cm. Dentro de cada hilera, las plantas están separadas por 10 cm. Con el objetivo de reducir el impacto de los bordes laterales, que podrían modificar los resultados, se analizaron únicamente las tres



hileras centrales de cada parcela. De acuerdo con González et al. (2018), esta estrategia posibilita la obtención de datos más exactos y fiables.

Se realizó un análisis exhaustivo de las características físicas de los suelos pertenecientes a cada sistema de producción. Siguiendo las metodologías de Blake & Hartge (1986) y Gee & Bauder (1986), se establecieron la densidad aparente, la densidad real y el porcentaje de poros en muestras de suelo extraídas a una profundidad entre 0 cm y 20 cm. Para determinar la capacidad de aireación y retención de agua, estas propiedades son fundamentales. La técnica de doble anillo, que fue expuesta por Ibáñez et al. (2010), se utilizó para medir la conductividad hidráulica; este método implica saturar dos anillos concéntricos con agua y monitorear el ritmo de infiltración. Simultáneamente, se tomarán muestras de tierra para definir la textura y la fertilidad, conforme al protocolo que Roberts & Henry (2000) describieron.

Con el objetivo de aplicar agua y realizar fertiirrigación, se pusieron en marcha sistemas de riego por goteo localizados en cada una de las unidades productivas, de acuerdo con la perspectiva planteada por Incrocci et al. (2017) y Mata (2011). El propósito de esta estrategia es maximizar la utilización eficiente del agua. Cada terreno tuvo cinco cintas de riego, distanciadas entre sí 20 cm y con goteros que tenían una descarga máxima de 1.5 L/h. La programación del riego se realizó a partir de la evapotranspiración del cultivo, calculada conforme al método de Allen et al. (1998), y teniendo en cuenta las circunstancias climáticas locales. Este sistema aseguró un suministro de agua eficaz y exacto para el crecimiento ideal de las plantas.

El agua de riego se obtuvo mediante el bombeo de un pozo ubicado en la Estación Experimental del IDIAP en Cerro Punta. Para garantizar la aptitud del recurso hídrico, se recolectaron muestras analizadas posteriormente en el Laboratorio de Calidad del Agua de la UNACHI. El protocolo de evaluación incluyó la determinación de parámetros críticos como el pH y la conductividad eléctrica, indicador esencial de la carga salina total (Zhou et al., 2024), así como la cuantificación de los iones principales, factores determinantes en el desarrollo y productividad de los cultivos (Márchese et al., 2008; Zaman et al., 2018).

Condiciones experimentales

Se utilizó un diseño experimental de franjas divididas, con tres repeticiones, donde (Tabla 1):

- Franja Horizontal (Factor Principal 1): Sistema de siembra. Se colocan 2 franjas horizontales, una para cada nivel de sistema de siembra (A_1 , A_2)
- Franja Vertical (Factor Principal 2): Tratamientos, dos tipos de fertilización (T_1 , T_2). Dentro de cada franja de sistema de siembra, se colocan 2 franjas verticales perpendiculares, una para cada nivel de tratamiento.
- Parcelas Internas (Factor Subdividido): Variedad de cebolla. Dentro de cada combinación de sistema de siembra y tratamiento, se subdividen las parcelas para las 2 variedades de cebolla (V_1 , V_2).

A_1 : Casa de Vegetación

A_2 : Campo Abierto.

T_1 : fertiirrigación.



T₂: fertilización edáfica.

V₁: variedad Alvara

V₂: variedad Gladalan Brown

Tabla 1

Diseño de franjas divididas.

Sistema de siembra	Tratamiento (tipo de fertilización)	Variedades	
		V ₁	V ₂
A ₁	T ₁	A ₁ T ₁ V ₁	A ₁ T ₁ V ₂
	T ₂		A ₁ T ₂ V ₁ A ₁ T ₂ V ₂
A ₂	T ₁		A ₂ T ₁ V ₁ A ₂ T ₁ V ₂
	T ₂	A ₂ T ₂ V ₁	A ₂ T ₂ V ₂

Fertilización

Se establecieron dos tratamientos para la fertilización. Fertilización edáfica o directa al suelo y fertirriego (Tabla 2).

Tabla 2

Tratamientos

Tratamiento	Fertilizante	Cantidad en kg ha ⁻¹
T ₁ : fertirrigación*	P ₂ O ₅	300.0
	N (Urea)	200.0
	Boro	1.0
	Zinc	3.0
	K ₂ O	277.0
	Mg	13.0
T ₂ : Fertilización Edáfica**	12-24-12	907.2
	N (urea)	453.6
	N (urea)	453.6

T₁ fertirrigación*: El proceso se realizó semanalmente, distribuido en 24 ciclos de riego

T₂ fertilización edáfica** o directa al suelo, a los 8 ddt, a los 30 ddt y a los 60 ddt.

Durante las fases vegetativas iniciales, los fertilizantes mediante fertirriego se aplicaron utilizando una lámina de agua de 2 mm por metro cuadrado. Posteriormente, el volumen de riego se incrementó de forma progresiva hasta alcanzar los 7 mm diarios, manteniéndose esta cantidad



hasta los 90 días después del trasplante (ddt). La irrigación se suspendió cuando, en promedio, el 70 % de las plantas inició el proceso de doblado de hojas.

Una vez doblada el 90 % de las plantas de cebollas en las parcelas de ensayo tanto en casa de vegetación como a campo abierto, se procedió a la cosecha.

RESULTADOS

Con el propósito de generar información técnica que contribuya a la toma de decisiones de los productores en la selección de la variedad y del sistema de cultivo más apropiado según las condiciones de producción, el objeto de esta investigación fue determinar cuál de dos variedades de cebolla presentaba el mejor desempeño agronómico, rendimiento y calidad comercial bajo dos diferentes sistemas de producción.

Los datos que se analizaron para determinar su desempeño incluyeron:

- Rendimiento total por parcela: Cantidad total de cebolla cosechada.
- Tamaño de los bulbos: La clasificación de los bulbos según su calibre.
- Peso de los bulbos: El peso promedio y total de los bulbos en cada categoría.
- Cantidad de bulbos: El número de bulbos cosechados en cada categoría de tamaño.

Para verificar el supuesto de normalidad en los rendimientos de cosecha (casa de vegetación y campo abierto), se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Se seleccionó esta prueba por su alta sensibilidad en muestras de tamaño moderado. El procedimiento calcula un estadístico W que mide la correlación entre los datos de la muestra y los puntajes normales ideales (Razali & Wah, 2011; Ghasemi & Saleh, 2012).

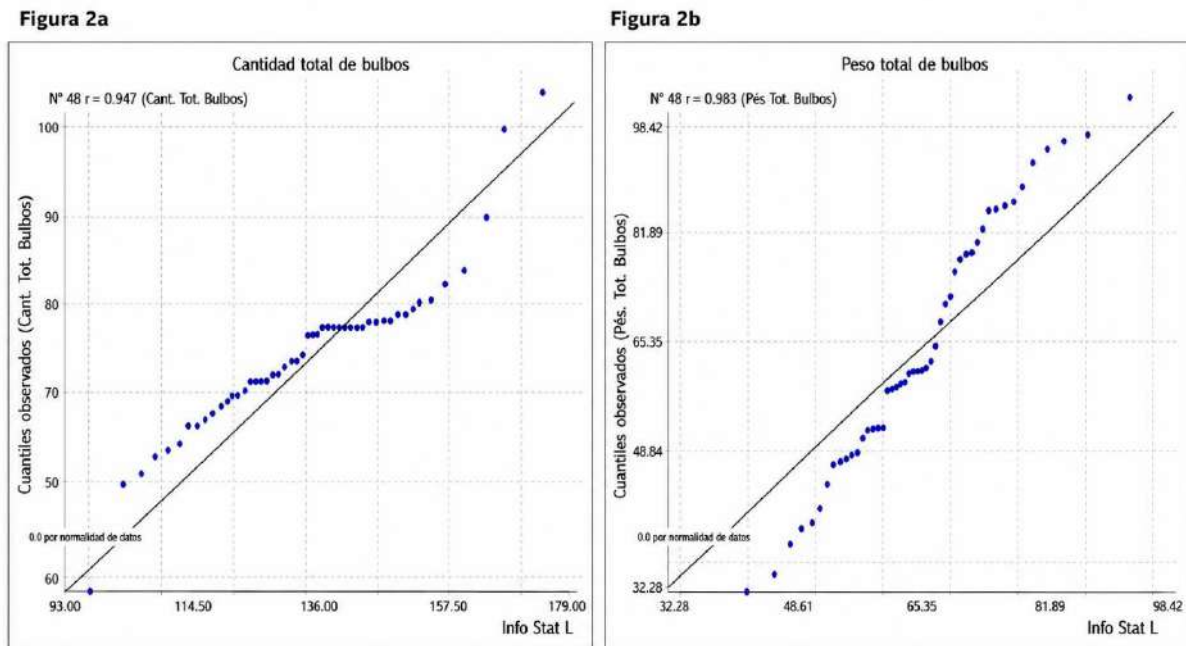
El resultado de esta prueba es concluyente. Se rechaza categóricamente la hipótesis de normalidad, para la cantidad total de bulbos, dado que el p -value es prácticamente cero (0.00008).

En el peso total de bulbos, el valor (0.027) es menor que el nivel de significancia; se rechaza la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal.

Con los gráficos Q-Q (quantile-quantile), empleados para evaluar visualmente si un conjunto de datos sigue una distribución normal (Ghasemi & Saleh, 2012), se comprobó que, al comparar los cuantiles observados de la muestra con los cuantiles teóricos de una distribución normal, no existía normalidad en la cantidad y el peso total de bulbos (Figura 2). Este patrón sugiere que los datos presentan asimetría positiva o una distribución con colas más pesadas que la normal. La concentración de puntos alejados de la línea en los extremos indica que el supuesto de normalidad podría no cumplirse completamente para esta variable, lo cual es relevante al momento de seleccionar pruebas estadísticas apropiadas para el análisis inferencial (Razali & Wah, 2011).



Figura 2. a. Gráficos Q–Q (quantile–quantile) de la cantidad total de bulbos. b. Gráficos Q–Q (quantile–quantile) del peso total de los bulbos.



Se realizó entonces la prueba de KRUSKAL-WALLIS a los valores obtenidos dando los siguientes resultados (Tabla 3).

Tabla 3
Prueba de Kruskal-Wallis (cantidad y peso total de bulbos).

Cantidad total de bulbos	H (estadístico de Kruskal-Wallis)	Valor p	Decisión (a $\alpha=0.05$)	Conclusión
Jumbo	31.71	<0.0001	Rechazar H_0	Hay diferencia significativa en la mediana de la cantidad tamaño Jumbo entre al menos dos grupos.
Grande	31.29	0.0001	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la Cantidad Tamaño Grande entre al menos dos grupos.
Mediana	13.76	0.0554	Aceptar H_0	No hay diferencia significativa en la mediana del tamaño mediano.
Chica	26.92	0.0003	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la cantidad tamaño-chica entre al menos dos grupos.
No comercial	26.33	0.0004	Rechazar H_0	Hay una diferencia significativa en la mediana de la cantidad de bulbos deformes entre al menos dos grupos.



Peso total de bulbos	H (estadístico de Kruskal-Wallis)	Valor p	Decisión (a $\alpha=0.05$)	Conclusión
Jumbo	32.56	<0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso Jumbo entre al menos dos grupos.
Grande	33.63	<0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso grande entre al menos dos grupos.
Mediana	15.24	0.0328	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso mediano entre al menos dos grupos.
Chica	31.08	0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso Chico entre al menos dos grupos.
No comercial	31.17	0.0001	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa en la mediana del peso deforme entre al menos dos grupos.

Al determinarse qué combinaciones de tamaños de bulbos, peso de bulbos y sistemas de siembra presentaban diferencias estadísticamente significativas. Se aplicó la prueba post hoc de Dunn (Tablas 4 y 5), un procedimiento estadístico no paramétrico que permite realizar comparaciones múltiples por pares (pairwise comparisons) entre grupos independientes (Dinno, 2015). Esta prueba se utiliza de manera complementaria tras el rechazo de la hipótesis nula, en la prueba de Kruskal–Wallis, con el objetivo de identificar específicamente entre cuáles de los k grupos independientes se encuentran las diferencias significativas.

Tabla 4

Prueba post hoc de Dunn para cantidad de bulbos.

Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana
Jumbo	CVT₁V₁	40.50a	Grande	CVT₂V₁	45.50a	Mediana	CAT₂V₁	65.50a
	CVT ₂ V ₁	27.00b		CVT ₁ V ₁	30.50ab		CAT ₁ V ₁	63.00a
	CVT ₁ V ₂	18.00c		CAT ₁ V ₁	28.00ab		CAT ₂ V ₂	50.50a
	CVT ₂ V ₂	12.00c		CVT ₁ V ₂	24.50b		CVT ₁ V ₂	48.50a
	CVT ₁ V ₁	7.50d		CAT ₂ V ₁	23.50b		CVT ₂ V ₁	49.00a
	CAT ₂ V ₁	6.50d		CVT ₂ V ₂	26.00b		CVT ₁ V ₁	47.50a
	CAT ₂ V ₂	2.00d		CAT ₂ V ₂	12.00c		CAT ₁ V ₂	47.00ab
	CAT₁V₁	0.01d		CAT₁V₂	7.50c		CVT₂V₁	37.50ab
Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	p-valor	
Chica	CAT₁V₂	30.00a	No comercial	CVT₂V₂	44.00a	Jumbo	< 0.0001	
	CAT ₂ V ₂	24.50a		CAT ₁ V ₂	34.50ab	Grande	0.0001	
	CAT ₂ V ₁	19.00b		CAT ₂ V ₂	34.00ab	Mediana	0.0554	
	CAT ₁ V ₁	13.50bc		CVT ₁ V ₂	31.00ab	Chica	0.0003	
	CVT ₁ V ₂	10.00c		CAT ₂ V ₁	14.00bc	No Comercial	0.0004	
	CVT ₂ V ₂	10.00c		CAT ₁ V ₁	11.00c			
	CVT ₁ V ₁	8.50c		CVT ₁ V ₁	9.00c			
	CVT₂V₁	7.00c		CVT₂V₁	8.00c			

CV= Casa de vegetación, CA= Campo abierto, T₁= Fertirriego, T₂= Fertilización edáfica, V₁= variedad Alvara, V₂= variedad Gladalan Brown.



Grupos que comparten una letra se consideran no significativamente diferentes entre sí. Grupos que NO comparten una letra difieren significativamente (según el valor p ajustado de Dunn).

Tabla 5

Prueba post hoc de Dunn para peso de bulbos.

Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana
Jumbo	CVT₁V₁	21.30a	Grande	CVT ₁ V ₂	12.90a	Mediana	CAT₂V₂	12.10a
	CVT ₁ V ₂	12.05b		CVT ₁ V ₁	12.40ab		CAT ₂ V ₁	10.60ab
	CAT ₁ V ₁	7.00bc		CAT ₂ V ₁	8.60ab		CAT ₁ V ₁	9.70abc
	CVT ₂ V ₁	2.65c		CVT ₁ V ₂	7.35b		CVT ₁ V ₂	9.10bc
	CVT ₂ V ₂	2.20c		CAT ₁ V ₁	6.75b		CVT ₁ V ₁	9.05bc
	CAT ₁ V ₂	4.60bc		CVT ₂ V ₂	4.90c		CVT ₂ V ₂	8.55cd
	CAT ₂ V ₂	1.15c		CAT ₂ V ₂	3.25c		CAT ₂ V ₁	7.95d
	CAT₂V₁	0.01c		CAT₂V₁	2.00c		CVT₁V₂	37.50d
Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	Combinación	Mediana	Tamaño	p-valor	
Chica	CAT₂V₁	2.60a	No comercial	CVT₁V₂	11.80a	Jumbo	< 0.0001	
	CAT ₂ V ₂	2.10ab		CAT ₁ V ₁	7.55b	Grande	< 0.0001	
	CVT ₂ V ₂	2.10ab		CAT ₂ V ₂	6.65b	Mediana	0.0328	
	CVT ₂ V ₁	1.20b		CVT ₂ V ₁	5.15b	Chica	0.0001	
	CAT ₁ V ₂	0.85bc		CAT ₁ V ₁	2.40c	No Comercial	0.0001	
	CAT ₁ V ₁	0.75c		CAT ₁ V ₂	2.20c			
	CVT ₁ V ₁	0.65c		CVT ₂ V ₁	1.80c			
	CVT₁V₂	0.55c		CVT₂V₂	1.75c			

CV= Casa de vegetación, CA= Campo abierto, T₁= Fertirriego, T₂= Fertilización edáfica, V₁= variedad Alvares, V₂= variedad Gladalan Brown.

Grupos que comparten una letra se consideran no significativamente diferentes entre sí. Grupos que NO comparten una letra difieren significativamente (según el valor p ajustado de Dunn).

De igual manera, se determinó que los sistemas de cultivo ejercieron una influencia significativa en los resultados previamente obtenidos. Para ello, se realizó un análisis de varianza de Scheirer-Ray-Hare (Tabla 6), prueba no paramétrica empleada para evaluar el efecto de dos variables independientes (factores) sobre una variable dependiente. Este método se basa en los rangos de los datos, en lugar de los valores originales (Zar, 1999; Balderas et al., 2022).

Tabla 6

ANOVA de Scheirer-Ray-Hare (SRH) para la cantidad y el peso total de bulbos.

Cantidad total de bulbos	Estadístico H (aprox.)	Valor p	Conclusión (α=0.05)
Sistema (CV vs CA)	25.84	<0.0001	Significativo
Tratamiento (T ₁ vs T ₂)	3.47	0.0625	No significativo
Variedad (V ₁ vs V ₂)	3.00	0.0833	No significativo
Sist x Trat	0.05	0.8258	No significativo
Sist x Var	0.08	0.7816	No significativo
Trat x Var	0.36	0.5485	No significativo
Sist x Trat x Var	0.47	0.4927	No significativo
Peso total de bulbos	Estadístico H (aprox.)	Valor p	Conclusión (α=0.05)
Sistema (CV vs CA)	32.83	<0.0001	Significativo
Tratamiento (T ₁ vs T ₂)	2.31	0.1285	No significativo
Variedad (V ₁ vs V ₂)	1.99	0.1581	No significativo
Sist x Trat	0.01	0.9204	No significativo
Sist x Var	0.18	0.6698	No significativo
Trat x Var	0.57	0.4503	No significativo
Sist x Trat x Var	0.23	0.6314	No significativo



El análisis, ANOVA de Scheirer-Ray-Hare, reveló que, para la variable cantidad de bulbos, la variabilidad significativa observada en los datos ($p < 0.0001$) estuvo asociada principalmente al sistema de cultivo. De igual manera, el peso total del bulbo fue significativamente influenciado por este factor ($p < 0.0001$), destacándose la Casa de Vegetación (CV) como el sistema con mayor efecto positivo sobre ambas variables. Estos resultados permiten concluir que el sistema de cultivo CV constituyó el factor de mayor influencia dentro del modelo, al presentar los efectos más marcados sobre las variables evaluadas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que el rendimiento de la cebolla, expresado tanto en la cantidad como en el peso total de bulbos, no dependió de factores aislados, sino de la interacción sinérgica entre el manejo nutricional, el potencial genético de las variedades y las condiciones ambientales de cultivo (TRA \times VAR \times LOC). Esta interacción influyó directamente no solo sobre el rendimiento bruto, sino también sobre la calidad comercial de los bulbos, particularmente en la distribución de calibres y en la incidencia de deformidades.

El sistema de Casa de Vegetación (CV) se consolidó como el ambiente de mayor eficiencia agronómica, favoreciendo una respuesta fisiológica superior del cultivo. Bajo estas condiciones, el microclima más estable permitió una mejor absorción y redistribución de nutrientes, reflejándose en una mayor producción de bulbos Jumbo y Grandes. Estos resultados coinciden con lo reportado por Russo & Shrefler (2012), quienes señalaron que los sistemas protegidos, combinados con estrategias eficientes de fertirriego, incrementan significativamente la uniformidad del crecimiento, la expansión foliar y el tamaño comercial de los bulbos debido a una mayor disponibilidad hídrica y nutricional en la rizósfera.

De igual manera, Brewster (2008) indicó en resultados obtenidos, que la cebolla presenta una elevada sensibilidad a las fluctuaciones ambientales durante las etapas de bulbificación, por lo que ambientes protegidos favorecen una mayor estabilidad fisiológica y reducen pérdidas asociadas al estrés térmico e hídrico. En este mismo contexto, Leskovar et al. (2012), encontraron que el manejo preciso del agua y los nutrientes en sistemas intensivos mejora significativamente el peso fresco y seco de los bulbos, favoreciendo una mayor eficiencia fisiológica del cultivo.

La combinación CVT₁ V₁ (Casa de Vegetación, fertirriego, variedad Alvara) representó el tratamiento de mayor desempeño productivo, minimizando la incidencia de bulbos deformes y optimizando el peso seco por unidad experimental. Este comportamiento sugiere que la variedad Alvara posee una mayor capacidad de adaptación al suministro continuo de nutrientes y una mayor eficiencia en el uso de recursos bajo condiciones de manejo intensivo. Resultados similares fueron descritos por Khosa et al. (2018) y Boyhan et al. (2007), quienes señalaron que ciertas variedades de cebolla presentan una mayor estabilidad agronómica y plasticidad fenotípica bajo ambientes protegidos y sistemas de fertilización tecnificada.

Por el contrario, la variedad Gladalan (V₂) mostró una respuesta menos favorable bajo cubierta cuando se combinó con fertilización edáfica (T₂), observándose un incremento de bulbos deformes y calibres no comerciales. Estas diferencias varietales podrían estar asociadas a la capacidad



diferencial de cada genotipo para responder a condiciones de alta disponibilidad nutricional y ambientes de crecimiento intensivo. En este sentido, Galmarini et al. (2016) y Schwartz & Mohan (2016) señalaron en sus resultados que el comportamiento agronómico de la cebolla depende en gran medida de la interacción genotipo por ambiente, especialmente en variables relacionadas con calidad comercial y formación de bulbos.

Aunque el sistema de campo abierto (CA) presentó mayores limitaciones ambientales asociadas a fluctuaciones térmicas, variabilidad hídrica y estrés ambiental, las combinaciones CAT₂V₁ y CAT₂V₂ evidenciaron una importante capacidad adaptativa, desplazando la producción hacia calibres medianos. Este comportamiento sugiere la activación de mecanismos de resiliencia fisiológica en condiciones menos controladas. Según Lescay (2003), las variedades de cebolla pueden expresar respuestas fisiológicas diferenciadas bajo ambientes restrictivos, modificando la partición de fotoasimilados y la estructura final del bulbo como mecanismo de adaptación al estrés.

Asimismo, la variedad Alvara mostró una mayor estabilidad fenotípica y un comportamiento agronómico más consistente tanto bajo fertirriego como fertilización edáfica, mientras que Gladalan presentó una reducción considerable del rendimiento comercial bajo fertirriego en campo abierto. Estos resultados guardan relación con lo descrito por Shock et al. (2011), quienes indicaron que la respuesta varietal de la cebolla frente al manejo hídrico y nutricional puede variar significativamente dependiendo de la adaptación genética de cada cultivar y de las condiciones agroecológicas del sistema de producción.

En términos generales, los hallazgos de esta investigación demuestran que la adecuada selección varietal, combinada con sistemas de cultivo protegidos y estrategias eficientes de fertilización, puede incrementar significativamente el rendimiento y la calidad comercial de la cebolla. Estos resultados aportan evidencia relevante para optimizar la sostenibilidad y competitividad del cultivo bajo las condiciones agroecológicas de Tierras Altas de Chiriquí, Panamá, coincidiendo con lo señalado por Collantes et al. (2024), quienes destacan que la integración de tecnologías de manejo intensivo constituye una alternativa viable para mejorar la productividad hortícola en ambientes tropicales de montaña.

CONCLUSIONES

Al contrastar los sistemas, se ratifica que la protección física de la Casa de Vegetación actúa como un multiplicador del rendimiento, independientemente de la estrategia nutricional. El análisis final identifica a CVT₁V₁ como la combinación de máxima eficiencia agronómica, mientras que CAT₁V₂ se ubica en el extremo opuesto como la menos rentable en términos comerciales.

Estos hallazgos subrayan que, para alcanzar competitividad en el mercado de la producción de cebolla, es imperativo abandonar los esquemas de manejo genéricos. La selección estratégica de la variedad como la Alvara bajo sistemas protegidos y con una nutrición equilibrada (fertirriego) no solo maximiza el peso total, sino que asegura que la producción cumpla con los estándares de calidad exigidos por el consumidor, reduciendo las pérdidas por bulbos pequeños o deformes.



AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por brindar la oportunidad de desarrollar esta investigación en la sede del Subcentro de Investigaciones de Cerro Punta, así como por el valioso apoyo logístico, técnico y el suministro de insumos necesarios para la ejecución del estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- Arteaga, L., & Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91.
- Aurelio, B., & Escobar, G. (2016). Tecnologías y estructuras de la agricultura protegida mexicana. II Congreso nacional de riego y drenaje.
- Álvarez, Y. (2015). Evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en sistemas de producción agrícola de Baja California Sur, México.
- Badii, M. (2004). Desarrollo sustentable: fundamentos, perspectivas y limitaciones. *Innovaciones de Negocios* 1(2): 199–227, 2004. UANI, Ap.391, San Nicolás, N. L., 66450, México.
- Balderas, J., Roque, R., Salazar, R., & Monsivais, C. (2022). The importance of learning resources for university students during emergency remote learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 17(14), 221-234.
- Blake, G., & Hartge, K. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- Brewster, J. (2008). *Onions and Other Vegetable Alliums* (2nd ed.). CAB International.
- Boyhan, G., Torrance, R., & Hill, C. (2007). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. *HortScience*, 42(3), 653–660
- Castilla, N., & Prados, N. (2007). *Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo*. Mundi-Prensa Libros.



- Collantes, R., Pittí, J., Del Cid, R., Santos-Murgas, A., Atencio, R., & Lezcano, J. (2024). Comunidad de Hymenoptera asociados a agroecosistemas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Ciencia Agropecuaria* (39), 29-44.
- Dinno, A. (2015). Dunn's test of multiple comparisons using rank sums. *Stata Journal*, 15(1), 292–300
- FAO. (2018). Informe anual 2018 América Latina y el Caribe.
- Fígoli, M., & Rodríguez, L. (2003). El camino hacia la estabilización demográfica y el proceso de envejecimiento en América Latina: una ilustración a partir de algunos países seleccionados. *Papeles de población*, 9(35), 29-43.
- Galmarini, C., Goldman, I., & Havey, M. (2016). Variation for health-enhancing compounds and traits in onion (*Allium cepa* L.). *Food and Nutrition Sciences*, 7, 577–591.
- Ghasemi, A., & Saleh, Z. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489
- Gee, G., & Bauder, J. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.
- González, G., Morais, A., Caballero Mendoza, C., Bortolini, J., & Rodríguez, G. (2018). Estimación del tamaño óptimo de la parcela en experimentos con batata dulce. *Agrociencia (Uruguay)*, 22(2), 7-12.
- Henry, R. (2019). Genomics and gene editing technologies accelerate grain product innovation. *Cereals Foods World*, 64:6.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Características del infiltrómetro de doble anillo.
- Incrocci, L., Massa, D., & Pardossi, A. (2017). New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. *Horticulturae*, 3(2), 37.
- Juárez, P., Bugarín, R., Castro, R., Sánchez, A., Cruz, E., Juárez, C. & Balois, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. CONACYT.
- Khosa, J., Lee, R., Joshi, S., Shaw, M., McCallum, J., & Macknight, R. (2018). Una guía para el cultivo de cebolla en condiciones de ambiente controlado. *HortScience*, 53(12), 1746-1749.
- Lescay, E. (2003). Interacción genotipo/ambiente y estabilidad del rendimiento de bulbos en cuatro variedades de cebolla (*Allium cepa* L.). ITEA (Información Técnica Económica Agraria). Producción Vegetal (España).



- Leskovar, D., Agehara, S., Yoo, K., & Pascual, N. (2012). Crop coefficient-based deficit irrigation and planting density for onion: Growth, yield, and bulb quality. *HortScience*, 47(1), 31–37.
- Márchese, M., Tuttobene, R., Restuccia, A., Longo, A., Mauromicale, G., & Restuccia, G. (2008). Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme grown in greenhouse. *Irrigation in Mediterranean agriculture: Challenges and innovation for the next decades*, 84, 311-315.
- Mata, H. (2011). Fertiirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina Delegación Coyoacán C.P. 04010 México, D.
- MIDA. (2023). Serie histórica del rubro Cebolla. Dirección de Agricultura. Recuperado el 21 sep., de https://mida.gob.pa/rinden-informes-sobre-siembra_y-cosecha-de-cebolla-y-papa-en-Panamá/
- MIDA. (2025). Serie histórica del rubro Cebolla. Dirección de Agricultura. Recuperado de <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2025/07/CIERRE-AGRICOLA-2024-2025.pdf>
- Morera, J. (2000). Agricultura, recursos naturales, medio ambiente y desarrollo sostenible en Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*, 11(1), 179-185.
- Padilla, L., Rumayor, A., & Pérez, O. (2008). La competitividad sistémica de la industria del tomate de agricultura protegida en Zacatecas. *Mercados y Negocios*, (18), 38-59.
- Peña, F. (2015). Efecto de la densidad de siembra y del aporque en la producción y calidad de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. porrum J. Gay). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 101-108.
- Razali, N., & Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33
- Roberts, T., & Henry, J. (2000). El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones agronómicas del cono sur. INPOFOS*, 8, 7-10.
- Rodríguez, M. (La estrella de Panamá, 24 de enero de 2022). Producción de cebolla nacional superó los 480 mil quintales, pero por debajo, de la demanda actual. https://www.laestrella.com.pa/economia/produccion-cebolla-nacional-supera_480-mil-quintales-anuales-debajo-demanda-acual-ILLE463586
- Russo, V., & Shrefler, J. (2012). Cultivo de cebolla de manojo en invernadero y túnel de cultivo. *HortScience*, 47 (11), 1564-1568.



- Teshika, J., Zakariyyah, A., Zaynab, T., Zengin, G., Rengasamy, K., Pandian, S., & Fawzi, M. (2019). Traditional and modern uses of onion bulbs (*Allium cepa* L.): a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(sup1), S39-S70.
- Vargas, J., Palacios, M., Camacho, J., Aguilar, J., & Ocampo, J. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 827-840.
- Sarandón, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*, 20, 393-414.
- Serrano, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Shock, C., Feibert, E., Jensen, L., & Klauzer, J. (2010). *Successful onion irrigation scheduling*. Oregon State University Extension Service.
- Schwartz, H., & Mohan, S. (2016). *Compendium of Onion and Garlic Diseases and Pests* (2nd ed.). APS Press
- Zaman, M., Shahid, S., Heng, L., Zaman, M., Shahid, S., & Heng, L. (2018). Irrigation water quality. *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, 113-131.
- Zamudio, F., Romo, J., & Espinosa, N. (2008). Índice de sustentabilidad alimentaria global: Tasa de crecimiento alimentaria contra tasa decrecimiento poblacional. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2), 141-146, 2008.
- Zar, J. (1999). *Biostatistical análisis*. <https://es.scribd.com/document/995680750/Biostatistical-Analysis-5th-Edition-Jerrold-H-Zar-2026-full-ebook-version>.
- Zhou, Q., Blean, W., & Soldat, D. (2024). An Alternative Approach for Estimating the Sodium Adsorption Ratio of Irrigation Water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150(6), 04024031.