



Artículo Original

Modelos predictivos de crecimiento y desempeño agronómico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) para la costa central del Perú

Quispe, E., Casas, A., Montes, I., Siura, S., Maguiña, M., y Dueñas, A. (p. 117)

Artículo Original

Efecto del bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno sobre el rendimiento y calidad de frutos del camu camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) clon E3F8

Velazco-Castro, E., Sotero-Solis, V., Castro-Muñoz, C., Aguirre-Ruiz, A., y Álvarez-García, A. (p. 37)

Artículo Original

Respuesta fotosintética del cacao (*Theobroma cacao* L.) frente al estrés térmico asociado con el niño en escenarios de variabilidad climática

Fleitas-Díaz, M., Guarnizo-Crespo, D., Cuenca-Zambrano, M., Benítez-Pardillo, T., y Fernández-Dávila, J. (p. 45)



Revista de investigaciones de la

UNIVERSIDAD LE CORDON BLEU

Editado por el centro de Investigación.

Avenida Salaverry 3180

Magdalena del Mar.

Teléfono: (511) 617-8310 anexo 8515

Código postal: 15076

 : revista.cientifica@ulcb.edu.pe

ISSN: 2409-1537

Perú

Periodicidad:

La revista se publica con una periodicidad semestral, con dos números por año. El primero corresponde al periodo de enero a junio y el segundo corresponde al periodo de julio a diciembre.

Áreas:

La revista está orientada a la publicación de artículos científicos originales y de revisión en Ciencias Agrícolas.

Esta publicación ha sido creada con el propósito de contribuir al desarrollo de la investigación, la ciencia y la innovación científica.

Está dirigida a la comunidad académica y científica de nuestro país y el exterior, vinculadas a las ciencias agrícolas.

www.revista.ulcb.edu.pe

Redes sociales académicas:



TABLA DE CONTENIDOS

ARTÍCULO ORIGINAL: **05**
Implicaciones sociales, técnicas y económicas en la Agricultura familiar y campesina del maíz duro. Caso Manabí-Ecuador
Palma-Plúa, M., Zambrano-Moreira, A., y Loor-Morán, M.

ARTÍCULO ORIGINAL: **23**
Predicción de importación de productos agrícolas con modelos de series de tiempo. Caso Ecuador.
Analuisa-Aroca, I., Mejía-Rodríguez, M., y Muñoz-Muñoz, E.

ARTÍCULO ORIGINAL: **37**
Efecto del bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno sobre el rendimiento y calidad de frutos del camu camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) clon E3F8
Velazco-Castro, E., Sotero-Solis, V., Castro-Muñoz, C., Aguirre-Ruiz, A., y Álvarez-García, A.

ARTÍCULO ORIGINAL: **45**
Respuesta fotosintética del cacao (*Theobroma cacao* L.) frente al estrés térmico asociado con el niño en escenarios de variabilidad climática
Fleitas-Díaz, M., Guarnizo-Crespo, D., Cuenca-Zambrano, M., Benítez-Pardillo, T., y Fernández-Dávila, J.

ARTÍCULO ORIGINAL: **59**
Estructura y composición florística del bosque de *Polylepis weberbaueri* en Paríamarca Alto, Huancabamba – Piura
Cuya-Bueno, M., Charcape-Ravelo, J., Correa-Seminario, V., y Mostacero-León, J.

ARTÍCULO ORIGINAL: **70**
Especies vegetales de uso dual alimenticio-medicinal en el distrito de Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Perú: aporte etnobotánico a la seguridad alimentaria y nutricional andina
Díaz-González, A., y Castillo-Zavala, J.

ARTÍCULO ORIGINAL: **81**
Efecto de la raza del macho sobre la densidad de empadre e indicadores reproductivos de cuyes (*Cavia porcellus*) mejoradas de Chota-Cajamarca
Bautista-Espinoza, B., Ramírez-Sánchez, J., y Corrales-Rodríguez, N.

ARTÍCULO ORIGINAL: **92**
Efecto de la intensidad lumínica y fertilización sobre el crecimiento de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley en condiciones de vivero
Alvarado, G., y Pire, R.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: **102**
Edición génica contra el virus de la mancha anular de papaya (*Carica papaya*)
Pérez-Almeida, I., Barberán-Álvarez, J., Domínguez-Ramírez, E., y Mandujano-Ayala, I.

ARTÍCULO ORIGINAL: **117**
Modelos predictivos de crecimiento y desempeño agronómico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) para la costa central del Perú
Quispe, E., Casas, A., Montes, I., Siura, S., Maguina, M., y Dueñas, A.

ARTÍCULO ORIGINAL: **131**
Efecto del fungicida foliar sobre la Roya común del maíz bajo diferentes condiciones de fertilización nitrogenada
Lavilla, M., y Fernández, A.

Instrucciones a los autores **137**



REVISTA DE INVESTIGACIONES

DE LA UNIVERSIDAD LE CORDON BLEU

DIRECTOR EDITORIAL

Dr. Victor Jesús Samillan Soto
Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú
victor.samillan@ulcb.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-1258-2856>

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Heber Peleg Cornelio Santiago
Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú
heber.cornelio@ulcb.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-2261-7004>

Dr. Eduardo Menéndez Álvarez
Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú
eduardo.menendez@ulcb.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-7276-7249>

Dr. Bernardo Prieto Gutiérrez
Universidad de León. León, España
bpriego@unileon.es
<https://orcid.org/0000-0002-5463-9075>

Dra. Eliana Setsuko Kamimura
Universidade de São Paulo
elianask@usp.br
<https://orcid.org/0000-0002-9686-7519>

Dra. Daymara Rodríguez Alfonso
Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas, Cuba
daymara02@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0002-2089-5281>

Dr. Juan Manuel Tume Ruiz
Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú
jtumer@unp.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-6172-6951>

Dr. Carlos Abanto Rodríguez
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Ucayali, Perú
cabanto@iiap.gob.pe
<https://orcid.org/0000-0001-7956-5482>

COMITÉ CONSULTIVO

Dra. Ruth Martínez Espinosa - Docente Honoraria
Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador
rismartinez@utpl.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9949-6859>

Dra. Daphne Doris Ramos Delgado
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú
dramosd@unmsm.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-3176-804X>

Dr. Dubiel Alfonso González
Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas, Cuba
dubielg@unah.edu.cu
<https://orcid.org/0000-0003-4712-2016>

Dr. Emmanuel Flores-Girón
Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México
efloresg@chapingo.mx
<https://orcid.org/0000-0002-5081-3478>

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ing. Yesenia Nathalie Díaz Zelada
Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.

Dr. Christian R. Encina-Zelada
Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú
cencina@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-6834-7121>

Dra. Clara Espinoza Silva
Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú
cespinoza_silva@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8229-4177>

Dra. Lucia Fuentes Jimenes
Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México
lfuentes@itesa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2343-5440>

Dr. Juan José Gómez Díaz
Universidad Anáhuac. Puebla, México
juanjosegd@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-9751-1289>

Dr. Ronald Marlon Lozano Reátegui
Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Ucayali, Perú
rlozanor@unia.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0656-0792>

Dr. Rodolfo Najarro Quintero
Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador
rodolfo.najarro@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6760-4269>

Dr. Alberto Antonio Chassaigne Ricciulli
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Texcoco, México
alberto.chassaigne@danac.org.ve
<https://orcid.org/0000-0001-9763-2116>

Dr. Augusto Pumacahua Ramos
Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba. Quillabamba, Perú
augusto.pumacahua@unig.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-8380-9168>

Dr. Diego Fernando García Ramón
Universidad de São Paulo. São Paulo, Brasil
Fernando_garcia@usp.br
<https://orcid.org/0000-0003-3937-6796>

Dra. Gina Paola González Angarita
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia
gina.gonzalez@escuelaing.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-9210-3653>

Dr. César Eduardo Honorio Javes
Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú
cehonorioj@unitru.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-8917-7085>

Nuestra revista publica artículos originales e inéditos realizados por investigadores nacionales y extranjeros, en idioma inglés o español. Si usted está interesado en publicar con nosotros puede escribirnos al correo electrónico: revista.cientifica@ulcb.edu.pe

Editorial

La publicación del volumen 13, número 2, de la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu constituye una nueva contribución al diálogo científico en torno a los desafíos contemporáneos de los sistemas agrícolas y alimentarios. En un escenario caracterizado por la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria, enfrentar los efectos del cambio climático, promover sistemas productivos sostenibles y desarrollar alimentos seguros y saludables, la investigación científica adquiere especial relevancia como fuente de evidencia para comprender fenómenos complejos y generar soluciones innovadoras con impacto académico, productivo y social.

En este sentido, la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu promueve la difusión de conocimientos sustentados en metodologías científicas rigurosas, resultados verificables y aportes susceptibles de ser contrastados y discutidos por la comunidad académica. La calidad metodológica, la transparencia de los procedimientos, la consistencia de los resultados y la discusión crítica constituyen elementos fundamentales para fortalecer la calidad y pertinencia de las investigaciones publicadas. Cada contribución representa, asimismo, una oportunidad para ampliar el conocimiento, favorecer el intercambio de experiencias y generar nuevas líneas de investigación vinculadas con la producción de alimentos, la conservación de los recursos naturales, la innovación y la sostenibilidad.

Desde una perspectiva editorial internacional, la revista reafirma su compromiso con la mejora continua de sus procesos y con la adopción de buenas prácticas de publicación científica, orientadas a fortalecer la calidad, trazabilidad, recuperación y visibilidad de la producción académica. La participación de investigadores vinculados con instituciones de Perú, Argentina, Brasil, Ecuador, España, Colombia y Venezuela evidencia una creciente vocación de cooperación e intercambio científico internacional. Asimismo, la consolidación de una revista científica constituye un proceso permanente que requiere compromiso institucional, participación activa de autores, revisores y miembros del comité editorial, así como una visión orientada hacia estándares internacionales de comunicación científica.

En este marco, el presente número representa un nuevo paso en el fortalecimiento de una comunidad científica comprometida con la generación, comunicación y difusión responsable del conocimiento y renovamos nuestra invitación a investigadores nacionales e internacionales a contribuir con estudios originales y revisiones de alta calidad. Desde la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, reafirmamos nuestro compromiso de continuar promoviendo la ciencia, la innovación y la sostenibilidad como pilares para afrontar los desafíos actuales y contribuir al desarrollo de sistemas agroalimentarios más sostenibles, resilientes y orientados al bienestar de la sociedad.

EL EDITOR

Implicaciones sociales, técnicas y económicas en la agricultura familiar y campesina del maíz duro. Caso Manabí-Ecuador

Social, technical and economic implications in family and peasant agriculture of hard corn. Manabí-Ecuador Case

 Moisés G. Palma-Plúa

 Aníbal O. Zambrano-Moreira

 María M. Loor-Morán

aozambrano@espam.edu.ec 

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Manabí, Ecuador

Recibido: 22/02/2026

Revisado: 15/03/2026

Aceptado: 02/04/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

El estudio determina las posibles implicaciones sociales, económicas de los productores de maíz duro en Manabí post pandemia, se generó información primaria producto de encuestas a agricultores y productores. Identificar las características de los agricultores según criterios que mejor se ajusten a las nuevas condiciones y agrupaciones significativas para el estudio. Los resultados indican el impacto que tienen las variables explicativas, la diversidad de factores que afectan la producción proporciona una visión sobre las condicionantes y esto sirva como apoyo de estrategias que puedan llegar a tomar decisiones, además de ser una herramienta de apoyo al diagnóstico agro-productivo. Los resultados sugieren realizar un análisis del comportamiento de variables que inciden en la producción y costos del maíz.

Palabras clave: Árbol de decisión, maíz, agricultores, clasificación.

ABSTRACT

The study determines the possible social and economic implications of hard corn producers in post-pandemic Manabí, primary information was generated as a result of surveys of farmers and producers. Identify the characteristics of the farmers according to criteria that best fit the new conditions and significant groupings for the study. The results indicate the impact of the explanatory variables, the diversity of factors that affect production provides a vision of the conditioning factors and this serves as support for strategies that can make decisions, in addition to being a tool to support the agro-diagnosis. productive. The results suggest carrying out an analysis of the behavior of variables that affect the production and costs of corn.

Keywords: Decision tree, corn, farmers, classification.



INTRODUCCIÓN

Considerando una de las diferentes necesidades de los indicadores en el sector agrícola y la falta de análisis de las cadenas de valor de los productos y subproductos agrícolas que se producen en nuestro país. Observamos la creciente demanda de una de las gramíneas como el *Zea mays* o *maíz en sus diferentes variedades*, ya sea para consumo directo o suministro de otros sectores de la producción (Arteaga *et al.*, 2009; Concheiro y Rodríguez, 2021), para que cumplan con las expectativas del mercado local e internacional, tenemos: la falta de asistencia técnica y transferencia de tecnología, fallas en el sistema de comercialización y la escasez de líneas de crédito sobre todo para los pequeños y medianos productores, que se convierten en barreras que impiden un normal desarrollo dentro de esta actividad agrícola en nuestra zona y a nivel nacional.

El maíz tiene una gran importancia económica, siendo considerado uno de los principales cereales cultivados en el mundo. El desarrollo productivo y social de los agricultores de producción de maíz en el tiempo experimenta cambios (Chauvet *et al.*, 2014).

Uno de los retos de los programas sociales y agrícolas es obtener sostenibilidad con buenos resultados, pero con frecuencia el potencial de rendimiento es enmascarado por interacciones del ambiente y las interacciones comerciales, las cuales el agricultor debe encarar problemas para obtener un mayor beneficio.

Entre las diferentes costumbres diarias que podemos encontrar en la experiencia y es evidente en el sector agrícola caracterizado por concentrarse en “hacer las cosas”, es decir, solamente producir

los productos que le solicita el cliente; sin embargo, no asume el compromiso con un principio básico de la administración moderna: la planeación. Sin un plan que oriente la acción, lo que se hace cotidianamente carecerá de sentido, ya que no se podrán determinar brechas cuando se pretenda evaluar el desempeño organizacional y emprender las acciones de mejora correspondientes (Castilla, 2019; Ramírez y Díaz, 2018). Por ello, una característica de la mayoría de las Pymes agrícolas es lo que se llamará “empresas con amnesia”, ya que se olvidan lo que pasó porque no registran los eventos o transacciones en formatos impresos o en algún medio de almacenamiento de datos digital (Dos Santos, 2020; González *et al.*, 2013)

Con este antecedente “No se puede gestionar lo que no se mide”, siendo la clave las mediciones de los indicadores o parámetros. Las aplicaciones de estadística multivariada están presentes en las investigaciones agrícolas, resulta información valiosa para la identificación, caracterización y descripción del entorno, lo que permite realizar estrategias comerciales de manera precisa y con menor incertidumbre (Borja Bravo *et al.*, 2019).

La respuesta empresarial en una economía global requiere rapidez y eficiencia en la toma de decisiones dada la exacerbada competencia provocada por la integración de mercados y el desarrollo tecnológico (comunicación, electrónica e informática). En este panorama, para que la decisión sea efectiva, debe ser racional (León y Yumbla, 2016). La cadena de valor, es aquella en la cual el producto primario va adquiriendo valor a medida que se lo procesa, sufre cambios y llega al consumidor final. Sin embargo, debemos conside-

rar algunos casos “puertas adentro” de la finca productora (C. Moreno *et al.*, 2020). La diferenciación constituye una estrategia competitiva que busca diferenciar el proceso de transformación, deberá ser demostrable a través de mediciones y registros lo que garantice una diferencia del producto (atributos de cantidad, calidad, registros), por ende, tener posibilidad de generar valor agregado, cuantificado en un mayor precio, en comparación con un producto sucedáneo o similar.

El mejoramiento de la producción agrícola ha sido reportado en la literatura científica como uno de los factores asociados directamente con el desarrollo social, económico, político, ecológico de los países, como consecuencia un aumento sostenible de la productividad en la cadena de valor (Zambrano y Chávez, 2018). Dentro de los tipos de maíz producidos, en la costa ecuatoriana y parte de las provincias con franjas subtropicales, el maíz amarillo duro tiene relevancia, al ser utilizado como insumo básico para la elaboración de alimentos balanceados para industria agropecuario a nivel nacional y mundial, principalmente por su conversión al producto animal final. En sus inicios la producción de maíz surge como una actividad primaria del sistema agrícola, se utilizaba semillas locales, no se consideraban plagas y enfermedades. Las siembras eran basadas en conocimientos tradicionales.

El valor agregado ambiental para los productos agropecuarios, sería aquel que se obtiene a partir de poner en evidencia la adopción de métodos de producción que dan satisfacción a las preocupaciones de los consumidores por los temas ambientales (Saravia-Matus *et al.*, 2018). Por esta razón, el estudio del sector maicero y su encadenamiento productivo es una prioridad

en las demandas sociales de los productores, las políticas nacionales deben garantizar sustentabilidad y sostenibilidad en los diferentes niveles de producción, para apoyar al acceso de los menos favorecidos con mejores niveles de vida.

Las explotaciones agropecuarias, decaen en su número, expanden su tamaño y su productividad es presionada constantemente al aumento, como respuesta a una demanda por alimentos en continuo crecimiento (Cattaneo *et al.*, 2020). El productor agropecuario como parte del eslabón inicial de la cadena alimentaria, es el integrante principal a cumplir un rol relevante en la cadena de valor. Considerado componente básico, se debe velar por la eficiencia sostenible y sustentable del sector agrícola, teniendo como reto final, la satisfacción del consumidor (Chamba y Cordero, 2017).

La asociatividad del sector agropecuario, debe considerarse fundamental para procesos de comercialización del producto, los procesos de buenas prácticas agrícolas especialmente en las comunidades rurales constituyen una estrategia para el desarrollo rural (Vergara y Kay, 2018) y su importancia del sector primario para garantizar la seguridad alimenticia. La integración del sector debe considerar incorporar los actores sociales: montubios, agricultura familiar, poblaciones indígenas, mujeres, comerciantes empresas agropecuarias y agroindustriales, inversionistas, gobiernos locales, regionales y nacionales entre otros, bajo este conglomerado la estrategia de incrementar la capacidad de producción, reforzar alianzas productivas, construcción de nuevas estructuras institucionales que permitan superar falencias de mercado y cooperación en el sector rural.

Considerando como ejemplo la cadena de valor del maíz amarillo duro ecua-

toriano es atractivo para las industrias de consumo humano en Colombia y Venezuela por varias razones: su calidad y frescura, su rendimiento industrial, disponibilidad cercana y menores costos financieros al ser volúmenes más manejables que los grandes embarques. Colombia aplica el sistema andino de franjas de precios para importaciones desde terceros (con un techo consolidado más alto que el Ecuador) por lo que traer maíz amarillo de Ecuador con esa calidad y dentro de la zona de libre comercio les resulta económicamente más conveniente (Arteaga *et al.*, 2009; Lazo, 2017).

La cadena de valor del maíz amarillo duro que se origina principalmente en los productores de las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos, Loja, conlleva a los mercados de materias primas agropecuarias y de productos procesados (agroindustriales), se rigen por los atributos de calidad como lo realizan Brasil, Colombia, Argentina con acceso a mercados, los precios y la estabilidad del agro-negocio regional. De acuerdo a esto es una gran oportunidad para competir por calidad las comunidades rurales locales (pequeños productores y campesinos) de cara una asociatividad de los procesos para la comercialización en mercados locales e internacionales.

En este contexto, el objetivo fue determinar y caracterizar variables cualitativas y cualitativas de la producción de maíz duro en la provincia de Manabí, para contar con información que permita proponer canales alternativos tendientes a mejorar la economía del productor.

Contexto Productivo

En Ecuador acorde al (INEC-ESPAC, 2019), el cultivo de maíz amarillo duro tiene un 36% de participación a nivel nacional, contando una superficie cosecha-

da 306 mil hectáreas (ha) en todo el país, se lo produce en 21 provincias y de forma mayoritaria o extensiva en las provincias de Los Ríos con 109 mil ha, Manabí 55 mil ha, Guayas 39 mil ha, Loja 28 mil ha, Santa Elena 2.6 mil ha y El Oro 1.2 mil ha, representando un 36%, 18%, 13%, 9% y 1%, respectivamente, teniendo una participación de 77% del total nacional, en ese orden de importancia según el (ODS, 2016).

Un factor a considerar en los sistemas de plantación de cultivos son las concesiones de largo plazo a cambio de obligaciones para construir infraestructura en la zona a considerar para la cadena de valor de los productos y la soberanía alimentaria (Bonilla y Singaña, 2019). Estamos constatando que la nueva estrategia global consiste en el control de la tierra, una apuesta de los grandes capitales financieros y las corporaciones que procuran respaldar y multiplicar sus inversiones. Se trata de una visión estrictamente empresarial de la posesión y la explotación de la tierra, apostando los méritos de la tecnología, la ingeniería genética y la mínima inversión y máxima ganancias (Cerón *et al.*, 2015).

La característica de los suelos de la zona norte de la costa, al ser utilizados con cultivos de ciclo corto, se empobrecen rápidamente consumiéndose la capa de materia orgánica y, en poco tiempo, los cultivos agrícolas no responden y el suelo queda con poca cubierta vegetal dando inicio a un acelerado proceso de erosión. Además, el efecto de la deforestación agresiva en la zona y la eliminación de la vegetación, destruye el equilibrio ecológico del bosque tropical húmedo, perdiéndose para siempre el recurso, por lo que no es raro encontrar en esta zona secciones improductivas sujetas a una rigurosa erosión (Carvajal y Caviedes, 2019).

Contexto social

Según datos (Cuevas Bernardo, 2014; Ramírez y Díaz, 2018), la pobreza rural en el 2018 fue de 43% en tanto la pobreza extrema es de 18,1% en el mismo año, el coeficiente Gini por ingresos nacional es de 0.472 y en el sector rural de 0.448.

El problema descriptivo de investigar si los elementos de nuestra muestra forman un grupo homogéneo o no, y, en caso de que existan varios grupos de datos identificar los elementos que pertenecen a cada uno, se aborda con las herramientas de métodos de agrupamiento. Por ejemplo, supongamos que tenemos una encuesta de los gastos en los hogares rurales. Podemos encontrar que, de manera natural, la estructura de gastos es distinta en los hogares urbanos, en los que conviven adultos con niños pequeños, y la relación entre distintas variables del gasto puede ser distinta en ambos. Conviene, en estos casos, dividir la muestra en grupos de observaciones homogéneas y estudiarlos separadamente. En otros casos el análisis de la homogeneidad de los datos tiene por objeto construir tipologías: de consumidores, de artistas por su utilización del color, de productos, o del tipo de consultas en una página web (Rubio y Vilà-Baños, 2017)

Árbol de decisiones

El análisis multivariante es una extensión del análisis simple, para la sumatización y visualización de tablas de contingencia con más de dos variables categóricas. Se puede también observar la generalización de análisis de componentes principales cuando las variables pueden ser analizadas son categóricas de cuantitativas (Kassambara, 2017). Analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariantes

para cada individuo y objeto estudiado, su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir (Fontalvo *et al.*, 2017; Hair *et al.*, 1999).

La utilización de los árboles de decisión se remonta a 1944 por una idea de Von Neuman (1903-1978), recomendando trazar un diagrama de forma de árbol, Matsudo utilizó para clasificar en un conjunto de entrenamiento en el ámbito informático y posteriormente en temas estadísticos desde 1964 (Matsudo, 2009), en solución a problemas de inversión (Okuda *et al.*, 2013). El algoritmo permite obtener una combinación óptima en función del peso de los componentes, obteniendo modelos de clasificación explicativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de analizar el proceso agrícola maicero y los actores involucrados en la producción, se realizó una encuesta, entrevistando a personas de diferentes estratos de productores; grandes y pequeños productores, medianos comercializadores de maíz y subproductos; organizaciones productoras del sector privado y organizaciones agrarias presentes en la zona; académicos y funcionarios del sector público relacionados con la producción del maíz.

Con base a criterios sociales, políticos, económicos, ecológicos, demográficos, se obtuvo una muestra de 337 individuos, durante las entrevistas se mencionó a los entrevistados que los datos y comentarios serían confidenciales.

Delimitación

La zona de estudio fue la provincia de Manabí, que se ubica en la región Litoral del Ecuador, tiene un territorio de 19.427,60 km², representa el 7.36% del territorio nacional, con una variación de altura desde el nivel del mar hasta los 800 m en la cordillera central de la costa (Consejo Provincial de Manabí, 2015). Con una población de 1'369.780 habitantes (INEC, 2010).

Con el fin de relacionar los factores multivariantes que coadyuven la formulación de estrategias tendientes a la dinámica del efecto de las condiciones socioeconómicas técnicas del maíz sobre la calidad de vida de los agricultores, se lleva a cabo la técnica estadística del tipo análisis árbol de decisiones aplicado para evaluar semejanzas entre variables y permitan determinar además una tipología de los individuos.

Para la identificación de informantes, se tomó como referencia la población de agricultores y productores de diferentes zonas de la provincia. Se diseñó un instrumento de recolección de información, para llevar a cabo la entrevista semiestructurada con base al estudio, se realizaron 337 encuestas conformadas por 53 preguntas, teniendo en cuenta variables de tipo cualitativo y cuantitativo, a una muestra no probabilística, para realizar un análisis de árbol de decisiones y validar como criterio los factores de análisis.

El árbol de decisión es una técnica estadística, que segmenta, estratifica, reduce datos además de filtrar las variables, identifica interacciones y fusiona categorías y variables continuas (Barrientos *et al.*, 2009; Timaran-Pereira *et al.*, 2017). Cada objeto se encuentra lo más cerca posible de los puntos de categoría para las

categorías que se aplican a dicho objeto (Gil *et al.*, 2019). De esta manera, las categorías dividen los objetos en subgrupos homogéneos. Las variables se consideran homogéneas cuando clasifican los valores en categorías discretas (A. Moreno *et al.*, 2016; Sagaró-Del-Campo y Zamora-Matamoros, 2019) objetos de las mismas categorías en los mismos subgrupos (Balzarini *et al.*, 2015; Camarero, 2017; Fontalvo *et al.*, 2017). Con el software Minitab, basado en el análisis de distribución de características de una base de datos, se desarrolla un producto de calidad controlada (Song *et al.*, 2020; Timaran-Pereira *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los núcleos familiares constituyen la fuerza de trabajo, se conforman acorde a la composición local, la población estudiada mantiene una diversidad en su identidad cultural. La correlación que aparece en la gráfica 1, muestra el árbol de decisiones de predicción discreta, para el nivel de escolaridad, se formaron cinco nodos en el modelo considerando la variable nivel de escolaridad como nodo O, seguido de la variable facturación anual y diferenciando en grupos con facturación menor o igual a los \$1100 en el nodo 1, el siguiente nodo comprende los que facturan entre los \$1100 a \$6900 y el tercer nodo con los agricultores que facturan montos superiores de \$6900. Se puede observar, además, que dentro del grupo con valores inferiores en su facturación se encuentran los que tienen una superficie de siembra menor a las 11 hectáreas y dentro de este grupo se dividen en dos, los que siembran menos de 11 hectáreas y los que tienen siembras superiores a las 11 hectáreas por ende su facturación será menor o igual a los \$1100. Deduciendo de esta manera que los mayores productores tienen

nivel de escolaridad primaria, facturan menos de \$1100 y en su mayoría siembran en época de verano menos de las 11 hectáreas. Además, se puede observar las diferencias

significativas con el Chi Cuadrado, entre los grupos conformados tanto en la variable facturación anual y en la superficie de siembra.

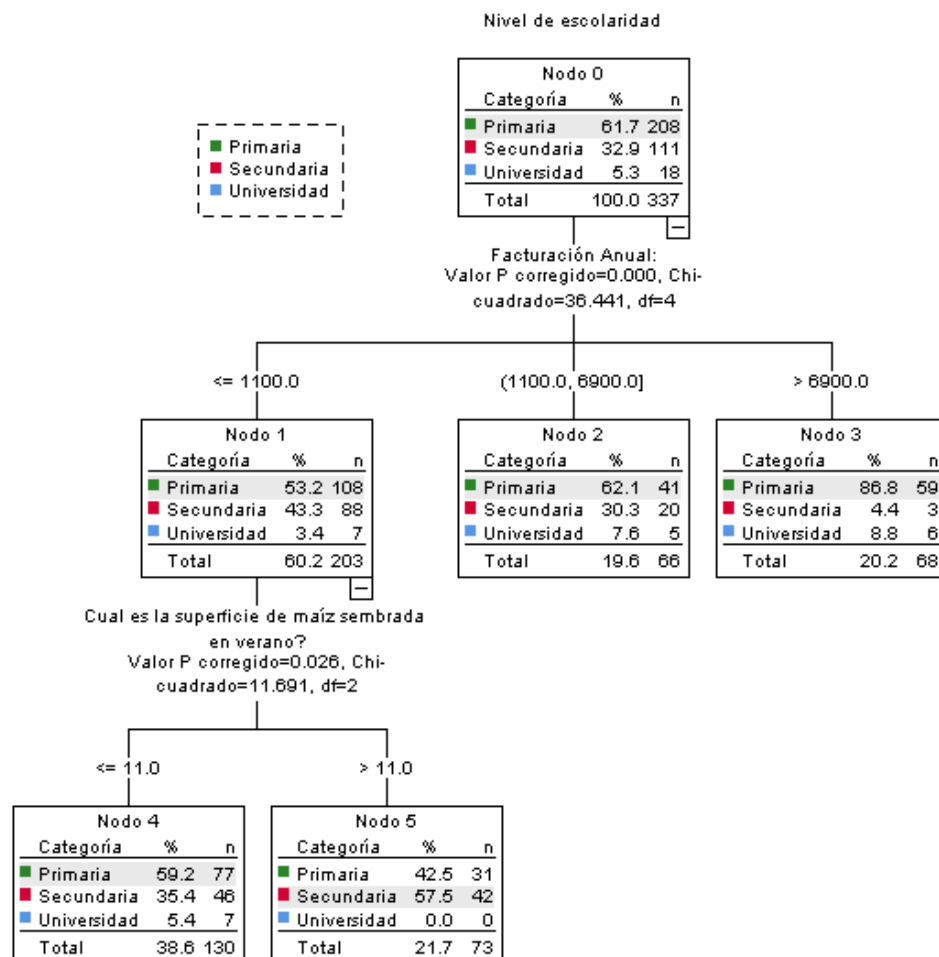


Figura 1: Árbol de decisión basado en el nivel de escolaridad.

A continuación, se puede observar en la tabla 1. El resumen del método de análisis para las variables analizadas.

Tomando en consideración los resultados de la encuesta individual y una vez determinados factores para los productores, que permiten mejorar la producción, como también la decisión favorable para el sector agrícola del sector. En la gráfica 2, se observa el árbol de decisión construido a

parte del entrenamiento del algoritmo para el Método de crecimiento CHAID, con los datos obtenidos el modelo entrenado genero una Estimación por sustitución de 0.368 y una Desviación del Error de 0.026, para la variable predominante Tipo de semilla utilizada con 3 reglas de decisión, de las cuales la mayor concentración esta en las personas que siembran entre las 9 a 15 hectáreas en el nodo 4.

Tabla 1.

Resumen del Método de crecimiento CHAID

Variable dependiente	Nivel de escolaridad		¿Qué semilla de maíz utiliza?		Principales clientes o mercado	
Estadístico	Estimación	Desv. Error	Estimación	Desv. Error	Estimación	Desv. Error
Resustitución	0.350	0.026	0.368	0.026	0.421	0.027
Validación cruzada	0.392	0.027	0.368	0.027	0.454	0.027

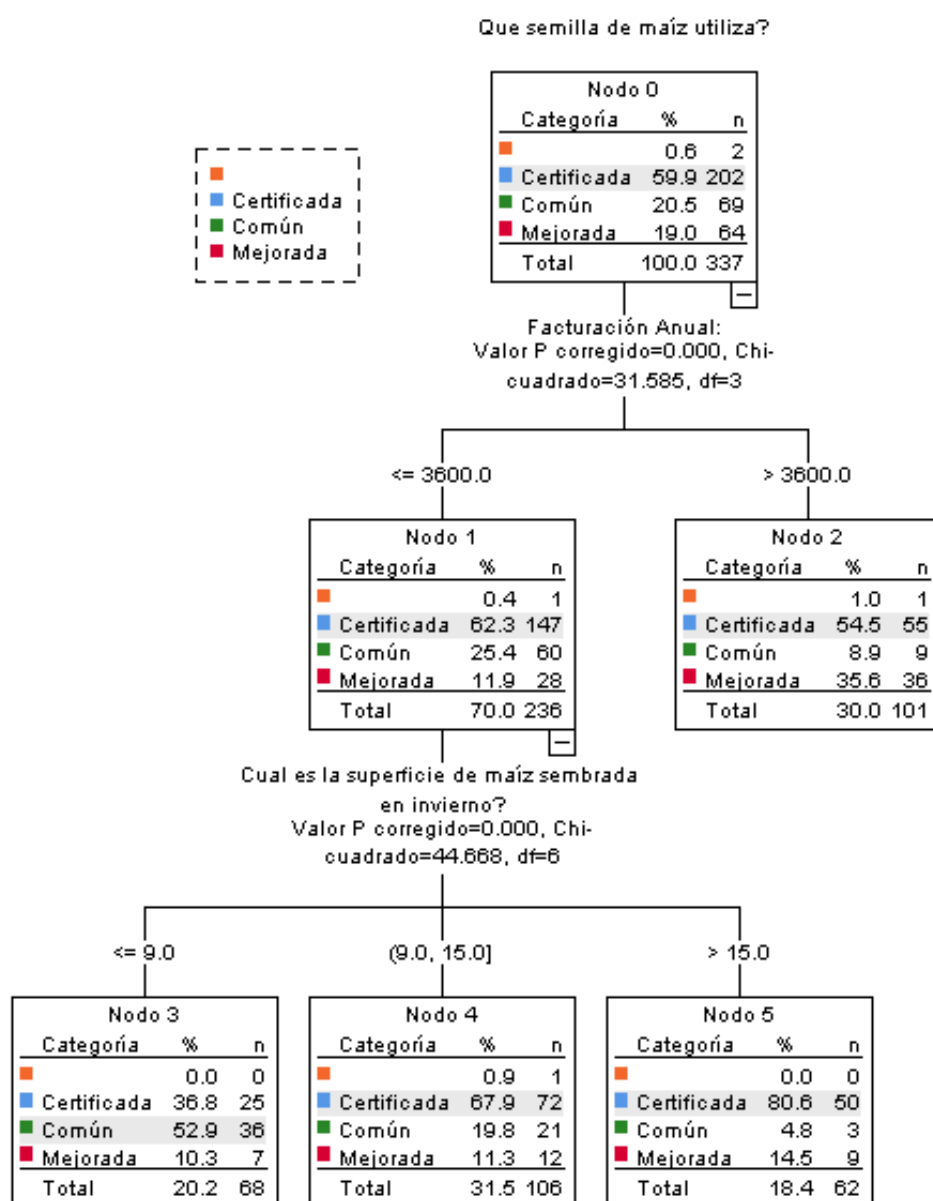


Figura 2: Árbol de decisión basado en el tipo de semilla de maíz que utiliza.

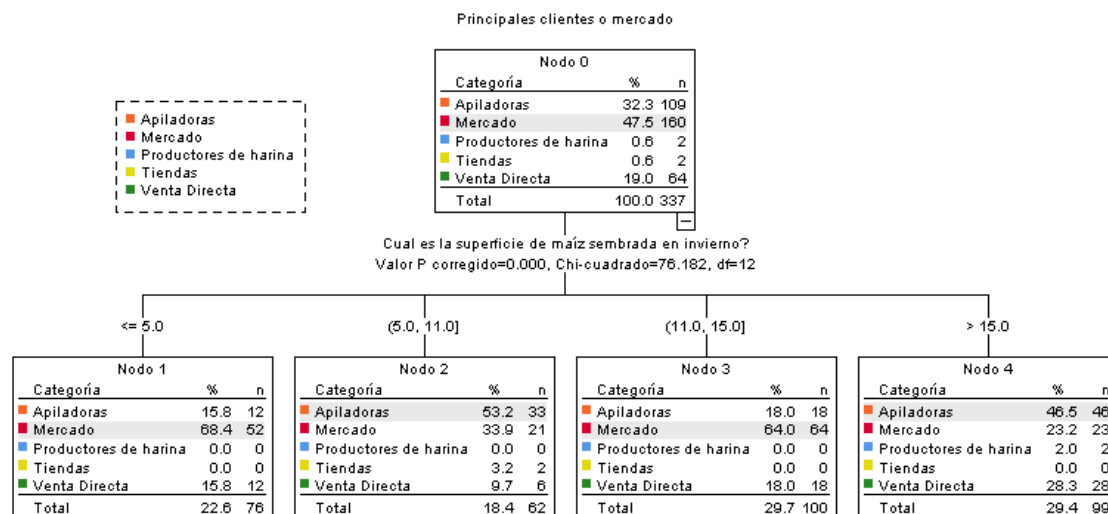


Figura 3: Árbol de decisiones basado en los principales clientes o mercado de productores.

En la figura 3, se observó el árbol de decisión generado tras el entrenamiento del algoritmo del método de crecimiento CHAID de la variable de los Principales clientes o mercado de ventas del producto, el método de Resustitución obtuvo una estimación del 0.421 y una Desviación del Error de 0.27, como variable predominante con 4 nodos de los cuales existen diferencias significativas acorde a los valores de Chi cuadrado entre los grupos que siembran en invierno. Una de las reglas de decisión para la clasificación por ventas está definida por las ventas en los mercados tradicionales que son los intermediarios que se encuentran en zonas establecidas los cuales recolectan el producto a precios mínimos, se encargan del almacenamiento y recolección y posterior venta con las mayores ganancias.

Estos resultados demuestran la aplicabilidad de este método para definir y determinar entornos cuando existe poca interacción. La perspectiva de un análisis es importante tener en cuenta la combinación de ciertos subconjuntos de ambientes en un

grupo más amplio esto permitirá representar de mejor manera las poblaciones objetivo.

El enfoque sistémico permite un acercamiento a la agricultura como un complejo de actividades, desde el enfoque de diversas disciplinas generan fuentes teóricas y empíricas representativas, que permiten con las metodologías un análisis integral de la agricultura y sus actores sociales. La descripción de componentes sociales, productivos, económicos, ecológicos, políticos, se mencionan algunos indicadores a considerar en estudios multidisciplinarios, compuestos de conceptos claves que sintetizan las interacciones de los componentes del proceso agrícola. El enfoque mixto de carácter descriptivo utilizando encuestas validadas a los participantes permite identificar los entornos del sector. Se identifica las oportunidades y amenazas en los resultados las características de los criterios de mejora continua para alcanzar la sostenibilidad.

La población total de productores de maíz se estimó en función del cocien-

te entre el total de la superficie sembrada (definida mediante imágenes satelitales levantadas por el MAG al inicio del ciclo) y la superficie de producción promedio del productor de maíz (definida a partir de la información obtenida del operativo de rendimientos objetivos 2016), Castro, (2017). La heterogeneidad en los productores, capacidades tecnológicas y productivas, en el sector primario de producción del maíz siembras menores a las 8 ha, se determinan desfases en la productividad y rentabilidad entre pequeños y medianos productores. El ser pequeño productor afecta a economía familiar, acceder al financiamiento de compra de equipos, materiales y maquinaria, además de la poca capacidad de negociar precios del producto, acceso a la tecnología y mercado.

Al interior del sector productivo y campesinado del Sur de la provincia de Manabí, se están produciendo complejos y contradictorios cambios que tienen que ver con procesos de diferenciación social, reconversión productiva, diversificación de actividades, migración y aumento de la importancia de los ingresos no agrícolas (Pilca *et al.*, 2016). Los desafíos para realizar investigaciones complejas, mínima interacción entre actores sociales primarios, la falta de financiamiento de actividades de vinculación, escasos intercambios de acciones conjuntas con universidades del sector productivo. El aporte de expertos locales para la elaboración de diagnósticos y socialización de conocimiento en la cadena demanda de especialistas del trabajo directo de los actores. Los espacios de diálogo entre actores clave son cada vez más importantes y necesarios para desarrollar iniciativas integrales y sostenibles (García, 2015; N. Padilla *et al.*, 2020).

La fragmentación organizacional y la baja asociatividad de productores de maíz, la falta de confianza e informalidad de actividades constituyen elementos que restringen las mesas de diálogo entre los productores, comercializadores y gobiernos locales, al momento de realizar las planificaciones y desarrollo organizacional de los gobiernos locales. Es de considerar la falta de seguros y el alto riesgo del productor agrícola ligado a los proyectos productivos, limitando el uso y servicios de productos financieros, además del costo para acceder al servicio con las tasas de interés y requerimientos son más alto que la misma necesidad. Los agricultores consultados manifiestan que recurren frecuentemente al “Chulquero” e “Intermediario” a fin de acceder a recursos financieros a corto y mediano plazo y/o a la venta de sus productos.

Así la organización del trabajo en las distintas áreas de las fincas es diferente. Los tipos de tareas, horarios, tipos de herramientas o máquinas que se emplean, distribución de las jornadas varían entre las secciones y se asocian también a las prácticas cotidianas de los obreros. Los ritmos de los proyectos de desarrollo, constituyen un aspecto problemático importante para las mujeres del campo (Deere, 2018). Debido a la falta de acceso a la educación, tienen trayectorias de aprendizaje escolar más cortas, por lo que necesitan de mayor continuidad en su capacitación (Larrión, 2016). Así podemos observar en los boletines anuales sobre la caracterización de la producción de maíz duro en el invierno del Ministerio de Agricultura y Ganadería, (2018), en el inicio de siembras entre enero y febrero, se utilizó el 93% de semilla certificada, con las variedades más utilizadas Dekalb 7088, Triunfo y Somma, con un peso promedio

de mazorca de 134 gramos, la cobertura de fomento productivo fue de 47%.

En Ecuador las pequeñas y medianas empresas (Pymes) representan cerca del 35%, del total de empresas en el país, aportando con puestos de trabajo agropecuario a nivel nacional con un 28.6%, aportando al Producto Interno Bruto con 71.933 (Ganadería, 2019). Según varios autores (Alvarado y Arévalo, 2020; Nieto *et al.*, 2015), en la actualidad las pymes presentan diversos problemas para adaptarse a un entorno altamente inestable, que demanda cambios constantes que atentan contra su posición competitiva. La situación actual obliga a las empresas a innovar frecuentemente en sus procesos de gestión.

La importancia de establecer cadenas de valor en un producto y obtener mejoras en la industria, el campo y tecnología acorde a las necesidades de los sectores agrícolas. Las industrias que procesan el grano son más sofisticadas y o transforman en productos de consumo masivo, además de la creciente demanda de productos biocombustibles o biomateriales a nivel mundial. Una cadena de valor y el sector agrícola describen una gama de actividades que se requiere para llevar un producto o servicio desde su concepción, pasado por las fases intermedias de la producción y la entrega hasta los consumidores finales y su disposición final después de su uso. El término cadena de valor se utiliza generalmente con una connotación de desarrollo frente a la productividad, el crecimiento y la creación de empleo en el sistema de mercado, a diferencia del término cadena de suministro que se aproxima a la cadena desde la perspectiva de un comprador (Nutz y Sievers, 2016; Oddone y Padilla Pérez, 2017)

Los motores de cambio que impulsan el desarrollo de las cadenas de va-

lor son: Eficiencia en el sistema, calidad del producto, diferenciación del producto, entorno empresarial favorable (Nutz y Sievers, 2016), la productividad mejora cuando una menor cantidad de insumos, que significa también menores costos, genera la misma producción. Si se asume la existencia de una producción mayor con un número menor de insumos, lo cual significa también menores costos y productividad, es analizar las dos posibles alternativas que se tienen cuando se considera una política de contención de costos Rincón, (2006)

Desde un punto de vista microeconómico, surge el interés de los productores agropecuarios en diversificar su actividad y obtener ingresos adicionales, ofreciendo alojamiento y actividades recreativas, los empresarios más proclives a la diversificación son propietarios de grandes establecimientos con alto nivel de endeudamiento; propietarios jóvenes con formación agraria académica; y propietarios que desean continuar con los establecimientos agropecuarios (Varisco, 2016).

La competitividad en términos de datos geográficos, disponibilidad para exportación, relación con los principales mercados consumidores, disponibilidad de vías terrestres, marítimas y aéreas, antecedentes históricos de producción, capital humano, condiciones culturales, gastronómicas, turismo, capacidad de atracción de inversionistas (nacionales y extranjeros), acceso a tecnología, infraestructura y logística, sostenibilidad ambiental y ventajas del marco regulatorio hacen de Manabí el potencial productor del sector agrícola del maíz.

En Manabí, la sequía es la principal razón de los factores que limitan la producción de los maiceros, en la zona central de la provincia, no realizan la denominada “siembra veranera”, junto con los factores

de plagas, inundaciones, falta de agua de riego en verano, y su exceso en invierno. Además de la falta de aplicación de buenas prácticas agrícolas y bioseguridad por parte de organismos estatales enfrentan dificultades para el rastreo de problemas sanitarios de origen y contaminación de semillas.

Tradicionalmente las empresas agropecuarias tratan de mejorar la rentabilidad en su producción, con la reducción de costos de producción (directos y fijos), incrementar la sostenibilidad empresarial familiar en su mayoría. En los últimos años el énfasis en seguros de la producción, ha comenzado en procesos de calidad del producto de la finca. Para la solución del problema propuesto, se requiere de una base de datos, los resultados, la propuesta de procesamiento de datos y métodos son fehacientes se requiere de análisis intuitivo en la aplicación de los procesos estadístico en el control tecnológico, basado en el análisis y métodos en el software especializados

Una de las fortalezas de la zona 4 a la que corresponden las provincias de Manabí, es que cuenta con capacidades institucionales en pilares de ciencia, investigación tecnología e innovación agro productivo de instituciones de educación superior y centros tecnológicos para la capacitación del recurso humano especializado. La presencia de organismos de cooperación internacional, organizaciones no gubernamentales, centros de investigación y desarrollo. Pero para Padilla (2017), las restricciones del sector productivo rural son: la falta de financiamiento, escaso o nulo acceso a capacitación y asistencia técnica, manejo inadecuado de recursos y control de calidad, falta de infraestructura, equipo y tecnología, mínimos niveles de educación de los recursos humanos, dificultades para la

asociatividad y articulación de objetivos comunes, problemas para generar economías de escala, escasa o nula innovación, poca vinculación con otros actores de la cadena, escasa alineación de los programas de producción con las demandas de otros segmentos productivos.

CONCLUSIONES

Las unidades productivas agrícolas, son diversas, según los factores asociativos de estudio, Manabí tiene un buen potencial para lograr autosuficiencia de producción, en tanto las condiciones geográficas y la competencia en la comercialización son limitantes en la producción.

Después de un detallado análisis es coherente detallar las conclusiones haciendo referencia a las consecuencias que se han desatado por motivo de la problemática existente en el sector implicada en la soberanía alimenticia y las cadenas de valor. La necesidad de contar con este tipo de información, sobre todo para evidenciar el tipo de acceso a los recursos naturales (la tierra y el agua), para tener información clave sobre la cadena de valor en la población y sus implicaciones en el desarrollo organizacional.

En el modelo estadístico se pudo evidenciar que en la provincia de Manabí, se mantiene una compleja interacción socioeconómico productivo existente en los caracteres cualitativos y cuantitativos, lo que permite ganar comprensión de la interacción, debemos mejorar el proceso de selección y eficacia experimental, al poder formar grupos con factores de igual significancia, así como grupos de ambientes que poco contribuyen en el análisis socioeconómico productivo, la aplicación en MINITAB fue altamente efectiva, los grupos fueron agrupados con mayor precisión.

La técnica de árboles de decisión mediante el algoritmo CHAID, presentan valores de chi cuadrado demuestra que son significativamente diferentes los diferentes grupos que se forman a nivel de nodos. Por lo que en base a los resultados encontrados mediante la técnica de árboles de decisión generados a través del algoritmo CHAID, es necesario continuar con estudios relacionados a la caracterización de los agricultores, y extenderlos a zonas de interés nacional considerando variables productivas, rendimiento, debido a la productividad y eficiencia de los recursos permitirá apoyar de mejor manera el diagnóstico a las instituciones que rigen la política pública en nuestro país.

La comercialización es uno de los factores más débiles que mantienen los

productores de la cadena agroalimentaria del maíz duro, por lo que se debería regular las normas internacionales y nacionales que permitan regular licencias de importación para evitar posibles desabastecimientos de maíz amarillo y la especulación en los precios locales.

Una estrategia a considerar para el seguimiento de acciones del sector agropecuario es la creación de una plataforma de (experiencias y banco de datos) en el tema y por ende constituir una plataforma de lanzamiento de proyectos, estudios y planes para el resto del país, con la posibilidad o no de acceder a mercados más valiosos de alimentos y otras materias primas agropecuarias con todas las implicaciones socioeconómicas que conlleva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, M., y Arévalo, M. (2020). Posibles medidas de política económica en el contexto actual y post Covid-19 : Caso Ecuador. *Revista Académica-Investigativa De La Facultad Jurídica, Social y Administrativa*. 7(14), 59–73. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/suracademia/article/view/727>
- Arteaga, E., Torres, L., y Tobalina, C. (2009). Analisis De La Cadena Productiva Y Comercializadora Del Maiz Y Como Fuente De Exportacion. *DSpace En ESPOL*, 1–12.
- Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M., y Teich, I. (2015). Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado. Escuela virtual Internacional CAVILA. *Research Gate, December*.
- Barrientos, R., Cruz, N., Acosta, H., Rabatte, I., Gogeoascoechea, M., Pavón, P., y Blázquez, S. (2009). Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico Médico. *Artículo Original*, 20–24. https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol9_num2/articulos/arboles.pdf
- Bonilla, A., y Singaña, A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: Análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 29(1), 70–83. <https://doi.org/doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>

- Borja, M., García-Salazar, J. A., Cuevas-Reyes, V., Arellano, S., y Almeraya, S. X. (2019). Competitividad y eficiencia económica de los sistemas de producción de guayaba en Calvillo, Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1551–1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1810>
- Camarero, L. (2017). Countryside workers and land families: The decline of agriculture in rural society at a glance. *Ager*, 2017(23), 163–195. <https://doi.org/10.4422/ager.2017.01>
- Carvajal, F. E., y Caviades, G. M. (2019). Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 11(1), 94–103. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1079>
- Castilla, T. (2019). Circuitos agroalimentarios y nuevos movimientos sociales en Colombia y Ecuador. *CLACSO- JSTOR*, 2(1), 211–230. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv1gm01km.14>
- Castro, M. (2017). Rendimientos de maíz duro seco en invierno 2017. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, mcastro@mag.gob.ec.
- Cattaneo, A., Sánchez, M. V, Torero, M., y Vos, R. (2020). Reducing food loss and waste: Five challenges for policy and research. *Food Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101974>
- Cerón, V., Gómez, J. R., Mejía, L. M., Torres, L. S., Andrade, A., y Hormiga, N. (2015). Características del suelo en los cultivos de cafés especiales del municipio de Calarcá - Colombia. *UGCiencia*, 29–38.
- Chamba, M., y Cordero, F. (2017). *Implicaciones sociales , técnicas y económicas de la comercialización de Zea mays L . en el cantón Espíndola , Social , technical and economic implications of the commercialization.* 7, 55–70.
- Chauvet, M., Lazos, E., y Lazos Chavero, E. (2014). El maíz transgénico en Sinaloa: ¿tecnología inapropiada, obsoleta o de vanguardia? Implicaciones socioeconómicas de la posible siembra comercial. *Sociológica (México)*, 29(82), 7–44.
- Concheiro, L., y Rodríguez, C. (2021). México: De la lucha por la tierra a la disputa por los territorios rurales. *CLACSO- JSTOR*, 2(May 2021), 167–180. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvnp0jt4.11>
- Consejo Provincial de Manabí. (2015). *Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Manabí 2015 - 2024 Provincia Del Milenio* (G. P. de Manabí (ed.)). http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360000120001_PDyOT_Manabi_actualizado_31-10-2016_ultimo_29-12-2016_09-46-27.pdf
- Cuevas, B., y Facundo, Z. (2014). Reporte De Pobreza Por Consumo Ecuador 2006-2014. *Inec Ecuador*, 215–228. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estudios_e_Investigaciones/Pobreza_y_desdigualdad/6.Reporte-Que_impulso_la_reduccion_de_la_pobreza.pdf

- Deere, D. (2018). El derecho de la mujer a la tierra, los movimientos sociales rurales y el estado en las reformas agrarias latinoamericanas del siglo XXI. In CLACSO-JSTOR (Ed.), *La cuestión agraria y los gobiernos de izquierda en América Latina* (p. 218). <https://www.jstor.org/stable/j.ctvn96g0z.5%0AJSTOR>
- Dos Santos, T. (2020). La revolución científica-técnica y la acumulación de capital. In *CLACSO- JSTOR* (Vol. 2, Issue 2). <https://www.jstor.org/stable/j.ctv1gm024c.6>
- Fontalvo, W., Castillo, M., y Polo, S. (2017). Análisis multivariado para determinar los factores más relevantes de deserción estudiantil presentes en el programa de Ingeniería Industrial de una Universidad del Caribe colombiano. *Prospect*, 13(March), 86–99. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.363>
- García, C. (2015). En el monte también se pesca: "Pesca de Monte", Ambiente, subsistencia y comunidad en los bosques costeros del sureste de Puerto Rico. *Caribbean Studies*, 43(2), 115–144. <https://www.jstor.org/stable/44114613>
- Gil, A., Monroy, A. L., y González, J. S. (2019). Minería de datos espacial en la agricultura en Latinoamérica - Una aproximación conceptual. *Pensamiento y Acción*, 1(28), 19–33. <https://doi.org/10.19053/01201190.n28.2020.10976>
- González, A., Carballo, B., Orrantía, M., y Salazar, R. (2013). *Diagnóstico de la madurez de los procesos de la cadena de valor de una pequeña empresa mexicana de productos de maíz* *Diagnostic process of maturity value chain of a small*. 6276. <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/pensamiento/article/viewFile/5642/3341>
- Hair, J., Anderson, R., Babin, B., Anderson, R., y Black, W. (1999). *on Multivariate Data Analysis Joseph F. Hair Jr. William C. Black* (P. Hall (ed.); Seventh Ed).
- INEC-ESPAC. (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*, 17–19.
- INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda del Ecuador. Fascículo Provincial Manabí. In *Instituto Nacional de Estadística y Censos* (pp. 1–7). http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf%0Ahttp://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos_provinciales/manabi.pdf
- Kassambara, A. (2017). Multivariate analysis II: Practical Guide To Principal Component Methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra. *Sthda*, 2, 1–155. <http://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/03/practical-guide-principal-component-analysis-python/>
- Laarón, J. (2016). Qué significa estar bien informado? Retóricas, percepciones y actitudes ante el problema del etiquetado de los alimentos transgénicos. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 153, 43–60. <https://doi.org/10.5477/cis/reis.153.43>
- Lazo, J. (2017). El desarrollo rural en el agro de América Latina. *Pan American Institute of Geography and History*, 2(2), 61–76. <https://www.jstor.org/stable/40976942>

- León, X., y Yumbra, M. R. (2016). *El agronegocio en Ecuador. El caso del maíz y la empresa PRONACA. February 2010*, 114.
- Matsudo, N. (2009). Árboles De Decisión, Una Técnica De Data Mining, Desde una perspectiva informática y estadística. *Education*, 0, 140.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). Caracterización de la producción de maíz duro invierno 2018. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- Moreno, A., Vicente, M., y Galindo, M. (2016). Aprendizaje basado en árboles de decisión: un estudio crítico desde Weka, RapidMiner y SPSS Modelos. In *XXVI Simposio Internacional de Estadística*.
- Moreno, C., Molina, J., Ortiz, J., Peñafiel, C., y Morenos, R. (2020). Cadena de valor en la red de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Ecuador. *Revistas Universidad Costa Rica*, 31(1), 13–29. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36887>
- Nieto, V. M., Andrea, J., Andrés, T., Sánchez, F., Villarreal, S., Timoté, J. A., Felipe, A., y Co, S. A. G. (2015). *Archivos de economía. La clasificación por tamaño empresarial en Colombia: Historia y limitaciones para una propuesta La clasificación por tamaño empresarial en Colombia: Historia y limitaciones para una propuesta*. <https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx%0Ahttp://www.dotec-colombia.org/index.php/series/118-departamento-nacional-de-planeacion/archivos-de-economia>
- Nutz, N., y Sievers, M. (2016). *Guía general para el desarrollo de cadenas de valor*. www.ilo.org/publns.
- Oddone, N., y Padilla Pérez, R. (2017). Fortalecimiento de cadenas de valor rurales. *Cepal*, 444. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42077/S1700166_es.pdf
- ODS, I. (2016). Tasa de crecimiento anual del Producto Interno Bruto (PIB) real per cápita. *Indicadores ODS*, 1–4. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sistema_Estadistico_Nacional/Objetivos_Desarrollo_Sostenible_ODS/Objetivo_8/Meta_8.1/Indicador_8.1.1/FM_TASA_CRECIMIENTO_ANUAL_PIB_REAL_PER_CAPITA.pdf
- Okuda, Y., Murakami, S., Honda, Y., y Matsumoto, T. (2013). An MSH4 homolog, stpp1, from *pleurotus pulmonarius* is a silver bullet for resolving problems caused by spores in cultivated mushrooms. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(15), 4520–4527. <https://doi.org/10.1128/AEM.00561-13>
- Padilla, N., Payne, J., Simbulan, V., Guzman, C., Lapastura, R., y Cadelina, E. (2020). Value chain analysis of organic range chicken in region 2. *Journal of Critical Reviews*, 7(11), 60–66. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.11.09>
- Padilla, R. (2017). *Política industrial rural y fortalecimiento de cadenas de valor. Desarrollo Económico* (CEPAL-FIDA (ed.); N° 145 (LC)).

- Pilca, P., Vargas, J. A., Alberto, L., Castro, T., y Guerrero, F. (2016). *Ecuador Debate 98 Conflictividad socio-política: marzo-junio 2016*. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/12167/1/REXTN-ED98-03-Pilca.pdf>
- Ramírez, J., y Díaz, J. (2018). Fuentes de la Desigualdad Económica en Ecuador. *Revista Economía y Política*, XIII(25), 9–28. <https://doi.org/10.25097/rep.n25.2017.01>
- Rincón, H. (2006). Calidad , Productividad y Costos : Análisis de relaciones entre estos tres conceptos. *FACE. Revista de La Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales- Universidad de Pamplona*, 52.
- Rubio, M., y Vilà-Baños, R. (2017). El análisis de conglomerados bietápico o en dos fases con SPSS. REIRE. *Revista d'Innovació i Recerca En Educació*, 10(10 (1)), 118–126. <https://doi.org/10.1344/reire2017.10.11017>
- Sagaró-Del-Campo, N. M., y Zamora-Matamoros, L. (2019). Métodos gráficos en la investigación biomédica de causalidad Graphic methods in causal biomedical research. *Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta*, 44(4), 4. <http://rev-zoilomarinello.sld.cu/index.php/zmv/article/view/1846>.
- Saravia-Matus, S., Saravia Matus, J., Sotomayor, O., y Rodriguez, A. (2018). Investment strategies in the Latin American agri-business sub-sectors of agricultural commodities, biofuels and meat chains. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 8(2), 320–338. <https://doi.org/10.1108/JADEE-09-2014-0036>
- Song, C., Zhang, J., Liu, L., Ma, W., Ma, L., Ding, S., y Zhao, H. (2020). Spatial and temporal characteristics of agricultural green development indicators in Hainan Island. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 28(8), 1156–1167. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200011>
- Timaran-Pereira, R., Calderón-Romero, A., y Hidalgo-Troya, A. (2017). Aplicación de los árboles de decisión en la identificación de patrones de lesiones fatales por causa externa en el municipio de Pasto, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(3), 388. <https://doi.org/10.22267/rus.171903.101>
- Varisco, C. (Universidad N. de M. del P.-A. (2016). Turismo Rural : Propuesta Metodológica para un Enfoque Sistémico. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 14, 153–167.
- Vergara, L., y Kay, C. (2018). Agronegocios, campesinos, estado y gobiernos de izquierda en América Latina: Introducción y reflexiones teóricas. In *La cuestión agraria y los gobiernos de izquierda en América Latina* (Vol. 1). CLACSO-JSTOR. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvn96g0z.4>
- Zambrano, J. L., y Chávez, E. F. (2018). *Diagnóstico del Estado del Arte de la Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe* Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Fontagro (ed.)). <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2019/03/2018-CacaoDocFinal.pdf>

Declaración de roles de autores:

- Aníbal Zambrano: Conceptualización; metodología; estadística y revisión y edición.
- Moisés Palma: Análisis de datos y conclusiones.
- María Loor Morán: Revisión y gestión del proyecto.

Predicción de importación de productos agrícolas con modelos de series de tiempo. Caso Ecuador.

Forecasting agricultural product imports using time series models: The Case of Ecuador.

 Iván A. Analuisa-Aroca¹

 Mariano J. Mejía-Rodríguez¹

 Emanuel G. Muñoz-Muñoz²

iaanaluisa@utm.edu.ec ✉

1.- Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Manabí, Ecuador

2.- Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador

Recibido: 01/03/2026

Revisado: 22/04/2026

Aceptado: 10/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La metodología del documento, al utilizar series de tiempo, fue estimar y pronosticar las importaciones de los productos seleccionados como abono, derivados de petróleo, equipos telefónicos y de comunicación, productos químicos agrícolas, con el objetivo de predecir sus valores a corto plazo. Para el estudio, se han considerado datos de las importaciones que llegan a los puertos marítimos de Guayaquil y Posorja, Ecuador. El periodo 2017-2019 muestra importaciones de los productos, pudiendo servir como una herramienta estratégica en el análisis, toma de decisiones e inversión. Con las consideraciones anteriores, las series temporales utilizadas de los históricos de los productos analizados se procesan y ajustan mejor a los modelos AR, MA y ARMA; cada uno tiene su particularidad en cada producto, llegando a ser homogéneas en el tiempo. Adicionalmente, se estiman valores de pronóstico con los intervalos de confianza al 95% para las proyecciones de los productos en contenedores de 40 toneladas métricas. Los resultados del pronóstico pueden llegar a estar en un rango variables debido a la demanda del producto en el mercado y lugar de procedencia cuando las variables del sistema son estables, las predicciones del modelo ARMA para el producto con mayor demanda.

Palabras clave: Series de Tiempo, pronóstico, importación, contenedores, Ecuador.

ABSTRACT

The methodology employed in this study, using time series analysis, was to estimate and forecast imports of selected products—including fertilizers, petroleum products, telecommunications and communication equipment, and agricultural chemicals with the aim of predicting their short-term values. For the study, data on imports arriving at the seaports of Guayaquil and Posorja, Ecuador, were considered. The 2017–2019 period shows import trends for these products, which can serve as a strategic tool for analysis, decision-making, and investment. Given the above considerations, the time series used from the historical data of the analyzed products are processed and best fitted to AR, MA,



and ARMA models, each with its own specific characteristics for each product, becoming homogeneous over time. Additionally, forecast values are estimated with 95% confidence intervals for projections of products in 40-metric-ton containers. Forecast results may vary due to market demand and country of origin; when system variables are stable, the ARMA model provides the most accurate predictions for the product with the highest demand.

Keywords: Time Series, Forecast, Imports, Containers, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Las importaciones representan un rubro importante en la economía del país. La actividad económica y la actividad bursátil, medidas como volumen, valor transado y número de operaciones, son el propósito de los mercados financieros, siendo la variabilidad la que afecta la toma de decisiones de los inversionistas, quienes determinan su evolución y evaluación en el mercado de las importaciones y exportaciones. La previsión de volúmenes de contenedores de importación y exportación es primaria en la planificación y funcionamiento de los organismos portuarios, a nivel de puertos marítimos, se necesitan pronósticos de los contenedores para actividades como planes estratégicos, finanzas y contabilidad.

La demanda de productos tiene carácter social y económico, la misma que se encuentra asociada a la demanda o cantidad de productos que se importan o desea adquirir el consumidor con base en las características, precio, precio de sustitutos o complementarios y las condiciones políticas del país y del comercio internacional. De esta manera, los cambios en precios, oferta y demanda de los commodities, el crecimiento económico de la región, los socios comerciales entre otros afectan la diversidad de las importaciones. La información de la demanda y la proyección resulta ser una variable en la toma de decisiones de los involucrados en el sector de la comercialización, desde las pequeñas empre-

sas hasta los inversionistas internacionales, deben tener un respaldo de una demanda potencial creciente, por los representantes de las firmas comerciales y sus pronósticos de las predicciones de demandas confiables para respaldo de las decisiones de competitividad e inversión en sus proyectos derivados, además en los momentos actuales de pandemia puede servir de insumo en un intento por promover una reflexión colectiva sobre la respuesta a la crisis de salud del Covid-19 y sus efectos económicos y sociales sobre nuestras sociedades (Alzúa y Gosis, 2020 y Hevia y Neumeyer, 2020), a nivel sectorial los estudios de importación permiten tener una visión de la especialización productiva y las ganancias de intercambio en la economía (Fares *et al.*, 2017).

Dentro de las actividades comerciales de importación del país producen contenedores de importación de comercio internacional, el monitoreo es vital para el trabajo del gobierno, bancos y sector privado, pues permite reaccionar de manera adecuada ante los ciclos económicos donde se mueve la economía, en Ecuador, las entidades encargadas de efectuar las proyecciones cuentan con datos históricos para realizar las proyecciones, las mismas que en base de datos de frecuencia anual (Yaselga, 2019) refieren principalmente por métodos de series temporales, relacionados con las variables de la actividad económica, en la actualidad las tareas de mayor atención en

las bases de datos de series de tiempo es la medición de la similitud entre series de tiempo (García *et al.*, 2016).

La estimación de las elasticidades de proyecciones de oferta y demanda de importaciones presenta grandes dificultades, debido a la variación en el tiempo del número de variedades de bienes o productos existentes en una economía, (Echavarría *et al.*, 2019). Las estimaciones clásicas ignoran la aparición de nuevas variedades productos, por lo que resultan en estimaciones sesgadas y espurias, en Ecuador muchas series presentan problemas que dificultan el uso de manera oportuna lo que conlleva a desprenderse de información son series largas, en otras ocasiones la publicación de información es larga para poder realizar un análisis de predicción a corto plazo. Un patrón de especialización con determinadas características reviste una serie de riesgos para el país (Clavijo, 2017).

Teniendo en cuenta la importancia de contar con datos de alta confiabilidad para proyecciones se consideran productos que tienen referencias confiables, y se plantea como objetivo de este trabajo de investigación, estimar y proyectar la demanda de cuatro productos de importación para el periodo 2020. Se considera una base de datos de frecuencia diaria; para el análisis, se construye una serie mensual y se aplican procesos relacionados con el análisis de la data para estimar y proyectar la demanda bajo la metodología de series de tiempo con los modelos AR, MA, ARMA, ARIMA.

Los resultados de la investigación pueden servir como insumo para mejorar las condiciones de aprendizaje y política pública. Asimismo, ser un referente para la realización de futuros estudios para los actores sociales involucrados en el sector de la importación de productos e insumos. El

segundo aporte consiste justamente en una contribución a la literatura empírica de la materia con la intención de develar la relación que guarda la demanda de los productos y sus variables.

La metodología, empleada en la presente investigación puede proporcionar al lector mayores herramientas para evaluar las proyecciones de demanda y el tráfico del comercio en las diferentes temporadas acorde al tipo de producto. El caso de estudio describe los aportes más relevantes de la técnica de pronóstico y revisa la metodología en la aplicación del estudio. Posteriormente, se realiza la discusión de los resultados obtenidos de la información y se revisan líneas de trabajo.

Al ser Ecuador un productor agrícola, luego de productor de petróleo, necesita de bienes de consumo, combustibles, materias primas, bienes de capital, y productos diversos, (BCE, 2020b) un mercado que le provea de suministros para la producción agropecuaria principalmente de banano y plátano, café, maíz, cacao, flores y frutas no tradicionales productos agrícolas de exportación en el margen de la economía, según el BCE y la balanza comercial del país (BCE, 2020a).

El análisis del comportamiento histórico de cada variable inicia con la representación gráfica de la información con líneas simples que describan su comportamiento histórico y posibles antecedentes de las sucesiones en un periodo de tiempo. La importancia del rendimiento de los contenedores tanto para los investigadores como para los gerentes de los puertos toma importancia acorde con los métodos para analizarlo.

De las importaciones, los sectores más representativos incluyen: vehículos

automotores y sus autopartes, aparatos de telefonía, productos químicos, combustibles, plásticos y caucho, hierro y acero, papel y cartón, maquinarias y herramientas, entre otros, además se consideran otros secundarios para la fabricación de vehículos automotores, partes, piezas y accesorios para vehículos automotores y motores y fabricación de sustancias químicas básicas, excepto abonos y compuestos de nitrógeno.

Un modelo que explica el patrón o la variación en los datos de una serie de tiempo real se conoce como modelo de serie de tiempo (Farooqi, 2014). La característica más significativa de las series temporales es que los hechos ocurridos en el pasado suelen tener influencia en los acontecimientos futuros (Cervantes *et al.*, 2017). Toda serie temporal tiene los siguientes componentes: o «Componente de tendencia (T)», o «Componente cíclico (C)», o «Componente estacional (S)», o «Componente irregular (I)» (Idrees *et al.*, 2019). La regularización es un ejercicio bastante simple desde el punto de vista computacional: busca minimizar el error en la aproximación de datos del modelo penalizando los valores absolutos de los coeficientes y reduciendo efectivamente los coeficientes insignificantes hacia cero en cada paso (Fokin y Polbin, 2019).

Estudios relacionados con temas de proyecciones de demanda indican que, por lo general, los modelos autorregresivos integrados de promedio móvil (ARIMA), por sus siglas en inglés, son una alternativa para estimaciones cortas (Paniagua, 2017); tienen una mayor tendencia a brindar mejores resultados con datos de frecuencia trimestral o mensual; capturan de mejor manera el comportamiento de la demanda (Chang, 2019). El modelo ARIMA, autorregresivo integrado de media móvil, es un modelo estadístico basado en variaciones y

regresiones de los datos, a fin de encontrar patrones para una predicción a futuro (Flores, 2019 y Contreras *et al.*, 2016). Sin embargo, la predicción precisa de datos reales es inalcanzable, ya que los datos reales de series de tiempo comúnmente son volátiles y no estacionarios (Kamal *et al.*, 2020).

Series Temporales

Una serie temporal es una secuencia de N observaciones (datos) ordenados y equidistantes cronológicamente sobre una característica o varias características de una unidad observable en distintos momentos.

Una estimación es un valor razonable de una condición o acción que representa un valor más pequeño; constituye una referencia en el proceso o mercado. El valor esperado de acciones y los contenedores de importación se estiman en función de variables como el peso, los pies del contenedor y el espacio necesario, entre otras.

El análisis de las series temporales se basa en la suposición de que los valores que toma la variable de observación son consecuencia de tres componentes: componentes de tendencia, componentes estacionales y componentes aleatorios. La serie se puede denotar como (Villavicencio, 2018): Ecuación (1)

$$Z_t = T_t + E_t + I_t \quad (1)$$

Z_t se considera como la observación en el tiempo actual t .

En el análisis de las series temporales se dispone de distintos procesos. El procesos autorregresivo $AR(p)$ se basan en la idea de que el valor actual de la serie Z_t se puede explicar en función de p valores pasados $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$ donde p es el número de retrasos. Un modelo autorregresivo de orden p está dado por la Ecuación (2)

$$Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (2)$$

C es un valor constante de la serie, los ϕ son coeficientes correspondientes a cada uno de los retardos o observaciones pasadas, a_t es ruido blanco con media cero y varianza constante.

Los modelos determinados por fuentes externa, suponen linealidad, el valor actual de la serie Z_t está influenciado por los valores de la fuente externa. Un proceso lineal general Z_t puede ser representado como una combinación lineal de pesos presentes y pasados con términos de ruido blanco. En el caso de que un número finito de los pesos no son cero, se tiene un proceso llamado de media móvil de orden q, MA(q), la notación es la siguiente (Cryer y Chan, 2008), Ecuación (1)

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

a_t es un ruido blanco con media cero y varianza constante, los coeficientes θ corresponden a ruido blanco en tiempo anteriores. Este modelo es conocido como de memoria corta dado que la observación actual no depende de observaciones pasadas.

La agrupación de estos dos modelos da como resultado otro modelo referido como modelo autorregresivo de media móvil ARMA (p, q). La notación general del modelo ARMA es (Idrees *et al.*, 2019): los valores de p se definen a partir de las autocorrelaciones, indicativos del retraso en el AR; q se estima en el modelo de promedio móvil o MA (Saturnino *et al.*, 2013). Ecuación (4)

$$Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

La serie es parcialmente autorregresiva y parcialmente media móvil, el parámetro p es referido a la parte autorregresiva

y el parámetro q a la media móvil, c es un valor constante de la serie temporal.

Existen series que presentan media variables, estas series son no estacionarias. Estas series presentan tendencias positivas o negativas. Los modelos que permiten analizar este tipo de series se conocen con el nombre de ARIMA.

Un proceso estocástico (Z_t) es integrado de orden d ($d \geq 0$ entero) si y solo si (Z_t) sigue un modelo autorregresivo integrado móvil de orden (p, d, q) o ARIMA (p, d, q) del tipo, Ecuación (5)

$$\Phi(B) \nabla^d Z_t = \mu + \theta(B) a_t \quad (5)$$

para todo $t=0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Φ es el coeficiente de la parte autorregresiva, B es el operador de retraso, d es el número de diferencia necesarias para lograr que la serie sea estacionaria, Z_t es la observación actual, θ son los coeficientes relacionados con la media móvil, a_t ruido blanco con media cero y varianza constante.

Un pronóstico se refiere a un esperado científicamente, siendo una actividad vital para la organización o el estado principalmente para la toma de decisiones sobre estrategias futuras, debiendo ser preciso, confiable, eficiente en el tiempo, fácil de entender, lo más sencillo posible (Idrees *et al.*, 2019 y Salazar *et al.*, 2019).

Para el análisis de la homocedasticidad se debe examinar la figura de los residuos, al presentar una tendencia creciente o decreciente, será un indicativo de posible heterocedasticidad (Antunez, 2011).

Según Villarreal (2005), el ruido blanco es un proceso estocástico estacio-

nario en covarianza, con media cero y covarianza. $E(\varepsilon_t \varepsilon_\tau) = \gamma_\tau$ para $t = \tau$ y 0 para $t \neq \tau$ donde es ruido blanco.

Modelo AR (modelo autorregresivo)

$$Z_t = c + \Phi_1 Z_{t-1} + a_t$$

Modelo MA (medias móviles)

$$Z_t = c + \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

Modelo ARMA (modelos autorregresivos de media móvil)

$$Z_t = c + \Phi_1 Z_{t-1} + \theta_1 a_{t-1} + a_t \quad (\text{Peña, 2010})$$

Los modelos ARIMA han sido utilizados en la estimación de productos agrícolas en diversos países. Para las deducciones de estimaciones con propiedades estadísticas con los parámetros ARMA y ARIMA, es necesario que las series utilizadas sean estacionarias en media y varianza y que se precise el grado de dispersión en cualquier momento del tiempo (Cuenca *et al.*, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis es de tipo descriptivo y consiste en observar y evaluar ciertas características de una situación particular relacionada con las importaciones en el Ecuador y su comportamiento en los años que se analizan, cuantifican y pronostican. La base de datos cuenta con registro de importaciones de diversos productos desde el periodo 2017 hasta el 2019, del total de 250 productos y un total de 508.798 registro de llegada de contenedores en diferentes periodos de tiempo en nuestra muestra se indica el puerto de arribo, fecha del arribo y la cantidad de contenedores de 20 pies, contenedores de 40 pies y kilos brutos de los cuales seleccionamos cuatro productos de relevancia entre los cuales tenemos: Derivados del petróleo, Abonos, Equipos telefónico y telecomunicación, Productos químicos agrícolas.

Una vez obtenidas las series de tiempo con la misma clasificación, se procedió a realizar un análisis de las series de tiempo, la identificación de si son estacionarias o no, la construcción y estimación de gráficas y la búsqueda de parámetros para posteriormente identificar los modelos y el posterior pronóstico.

La técnica de pronósticos cuantitativos basados en análisis de datos históricos y el comportamiento de los productos, divididos de manera periódica (diaria, posteriormente combinada en mensual), corresponde a data de importación de productos que llegan a los puertos de Guayaquil y Posorja. Se consideran a continuación las series de tiempo, para posteriormente realizar un ajuste de estacionalidad. Con la identificación de las líneas de tendencia en la data se corrobora la necesidad de aplicar técnicas de pronóstico de series de tiempo, descritas anteriormente.

El estudio de la actividad de importaciones por contenedores y productos entre 2017 y 2019, permite determinar la evolución en el tiempo, necesidades tanto internas como externas del mercado y puerto, en teoría general para predecir los contenedores que llegan producto de la importación a nuestro país, desarrollamos un marco para el modelado y pronóstico de la variabilidad de la volatilidad y correlaciones realizadas, utilizando el programa WOLFRAM, la idea es estimar el número de contenedores en base a la densidad y estimaciones de los modelos asociados. Se considera una serie estacionaria si las consideraciones estadísticas (media y varianza) son constantes en el tiempo. Si la serie no es estacionaria, se deben transformar los datos hasta tener un registro temporal estacionario (Delgadillo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las importaciones con respecto al 2018 presentan un incremento del 1,6%, siendo los productos de mayor demanda los aceites refinados de petróleo, equipos de transporte y servicio de transporte y almacenamiento ((BCE), 2020b).

En la Tabla 1, se muestra el comportamiento de las importaciones de los productos entre los años 2017 y 2019. Donde se pueden apreciar los valores mínimos y máximos de los contenedores que llegan a los puertos. La importancia de cada producto radica en la significancia y el aporte al país por ser netamente agrícola. En

el caso de los derivados del petróleo, son productos que vienen manufacturados y procesados, como en el caso de vaselinas, aceites, entre otros.

Luego de las especificaciones de productos y tratamiento con valores atípicos, se realizó un análisis de la variabilidad y correlación. En la actualidad, existe una gran variedad de métodos disponibles para analizar el ajuste de series económicas, existiendo dos tendencias para utilizar dicho ajuste: el enfoque paramétrico (empírico), y el no paramétrico (basado en modelos). El primero permite estimar componentes

Tabla 1.

Estadísticas descriptivas de importación de los productos analizados.

Ítems	Abono	Derivados de Petróleo	Equipos Telefónicos y telecomunicación	Productos Químicos Agrícolas
Media	707	5	35	94
Máximo	1026	13	78	171
Mínimo	428	1	12	56
D. Estándar	163.64	3.22	14.47	23.84
Observaciones	24758	180	1227	3286

no observados en una serie de tiempo sin recurrir a la especificidad del modelo estadístico, la metodología de ajuste estacional utilizado en el programa ARMA, ARIMA son los más utilizados para este tipo de enfoque económico (Villarreal, 2005). No existe una función de pérdida universalmente aceptable de pronóstico ex post y la comparación de pronósticos de modelos no lineales (Andersen *et al.*, 2001)

Es posible obtener series estacionarias de series no estacionarias homogéneas si el proceso de diferenciación elimina ciertos niveles de tendencia y locales, un proceso estándar para diferenciar la serie homogénea consiste en transformar la serie

original con el operador de retraso (1-L)d siendo L el operador de retraso y d, el grado de diferenciación imponible en la serie (Chaves *et al.*, 2007) .

Modelado

El resultado de los modelos ajustados y utilizados para la evaluación de los datos durante el año 2017-2019 fue como se muestra en la Tabla 2 de los modelos para cada producto. En donde el primer paréntesis evidencia una diferenciación entre la parte regular y un parámetro de medias móviles, y el segundo el parámetro autoregresivo, con un nivel de confianza de %, en las figuras de la serie, para la estabilidad de la serie de tiempo se modifica para obte-

Tabla 2.

Modelos ajustados y utilizados en la evaluación de los datos en el periodo de 2017 a 2019.

Producto	Modelo	Resultado	Ecuación
Derivados de petróleo	MAProces(0) 81.4317	$Z_t = c - \Theta_1 a_{t-1} + a_t$	$Z_t = 5.14 + 0.1886t - 1 + t - 1$ donde $t-1$ es el ruido blanco con media $\mu=0$ y varianza $\sigma^2=9.80$
Abonos	ARMAProces(1,2) 352.259	$Z_t = c + \Phi_1 Z_{t-1} - \Theta_1 a_{t-1} - \Theta_2 a_{t-2} + a_t$	$Z_t = 763.281 + 0.0790379 Z_{t-1} + 0.419494 a_{t-1} - 0.0770349 a_{t-2} + a_t$ donde a_t es el ruido blanco con media $\mu=0$ y varianza $\sigma^2=26062.5$
Equipos telefónicos y comunicación	ARProces(1) 188.482	$Z_t = c + \Phi_1 Z_{t-1} + a_t$	$Z_t = 24.1222 + 0.311917 Z_{t-1} + a_t$; donde a_t es el ruido blanco con media $\mu=0$ y varianza $\sigma^2=183.788$
Productos químicos agrícolas	ARMAProces(3,1)) 220.313	$Z_t = c + \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + \Phi_3 Z_{t-3} - \Theta_1 a_{t-1} + a_t$	$Z_t = 116.84 - 0.156786 Z_{t-1} - 0.0948617 Z_{t-2} + 0.00719298 Z_{t-3} + 0.476145 a_{t-1} + a_t$ donde a_t es el ruido blanco con media $\mu=0$ y varianza $\sigma^2=524.998$

ner una estacionalidad. ARMA, que indica el parámetro de autorregresión y una diferenciación en la parte regular del parámetro de las medias móviles en la parte regular y de la parte estacional. Al realizar la predicción de los pronósticos de exportación y tipo de cambio real son más precisos bajo el modelo ARIMA, que los modelos VAR y VAR-LASSO (Fokin y Polbin, 2019).

De los resultados podemos deducir que las ecuaciones están en función de la demanda de los productos y su comportamiento. Así, los derivados de petróleo tienen un modelo ajustado MA; los equipos telefónicos y de comunicación, un modelo ajus-

tado AR; en tanto que abonos y productos químicos agrícolas tienen modelos ARMA. El resultado en la ecuación servirá para pronosticar a futuro su comportamiento.

Según Sankaran (2014), citado por Paniagua (2017), demostró el buen comportamiento de los modelos ARIMA para la demanda de productos vegetales frescos incorporando tendencias estacionales.

El resultado de evaluación aditivo, modelo estacional simple, de invierno para el volumen de importaciones y exportaciones utilizado en los puertos de Corea y China fue el modelo ARIMA (0,1,0) (1,1,0)12 por volumen de importación-exportación,

costera y transbordo respectivamente (Liu y Park, 2011 y Kim, 2008). El "modelo ARMA" es el más adecuado para los datos de series temporales estacionarias, pero la mayoría de los datos de series temporales del mundo real muestran un comportamiento no estacionario (Idrees *et al.*, 2019). Re-

ferente a la econometría, el modelo ARMA propuesto por Box y Jenkins (1976) (Dos Santos *et al.*, 2008).

A continuación, en el conjunto de gráficas (Figura 1) se muestran las distribuciones mensuales por producto y los movimientos de contenedores de los productos

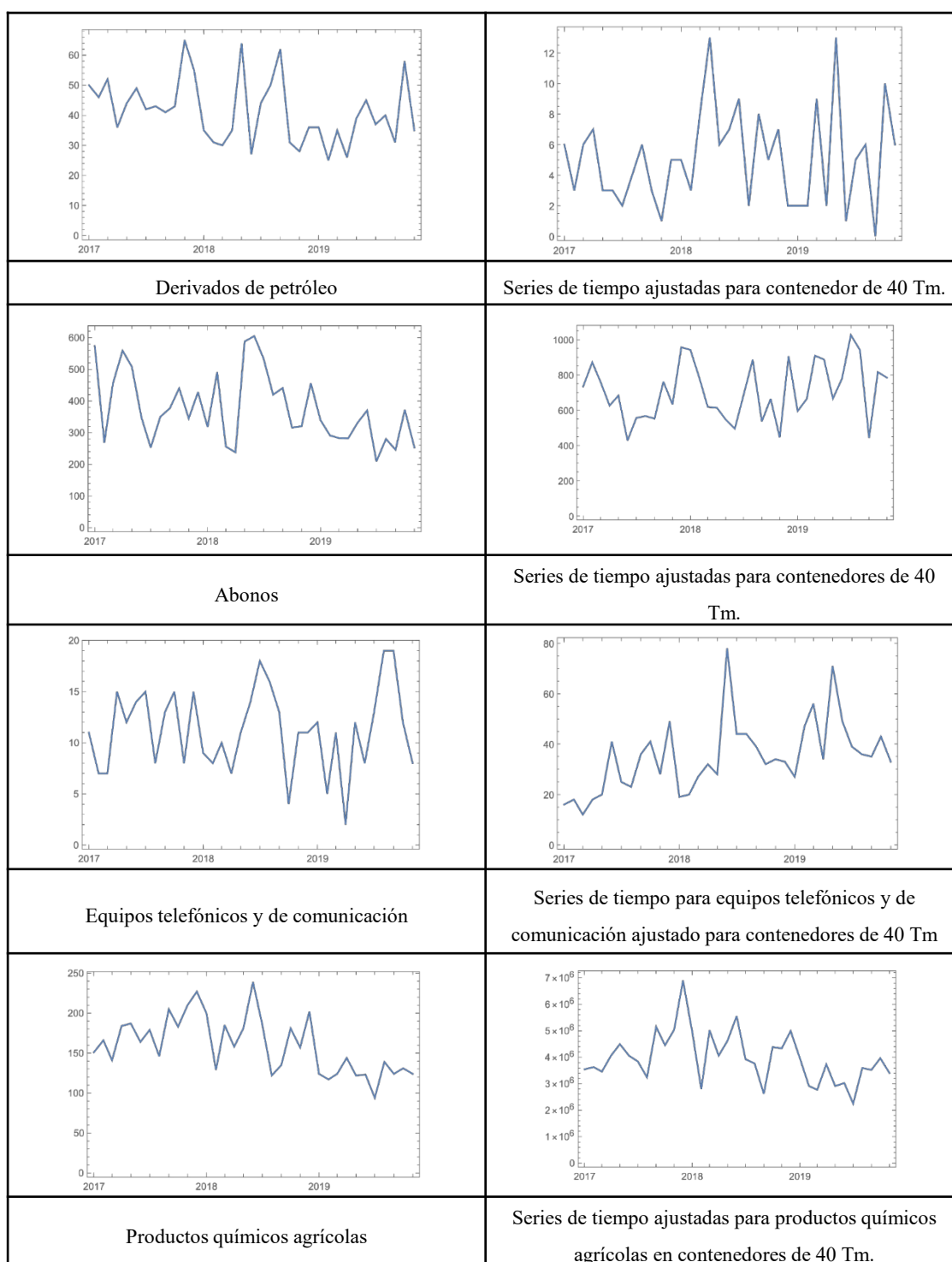


Figura 1: Distribuciones y movimientos de contenedores relacionados con el estudio

analizados, y se adjuntan las diferencias respecto de las series de tiempo ajustadas.

Pronóstico de la demanda de productos para el periodo 2020.

Un pronóstico temprano me puede ayudar a augurar el margen neto; por producto, por ejemplo, la (CFN, 2017), con el producto Abono, por cada \$100 de ven-

tas de abono, sobran para los propietarios \$6,7 de utilidad neta. A continuación, en la Figura 2, se presenta el pronóstico de los productos seleccionados para los próximos meses.

Según la presente investigación, el impacto de las importaciones de productos como equipos telefónicos y de comunica-

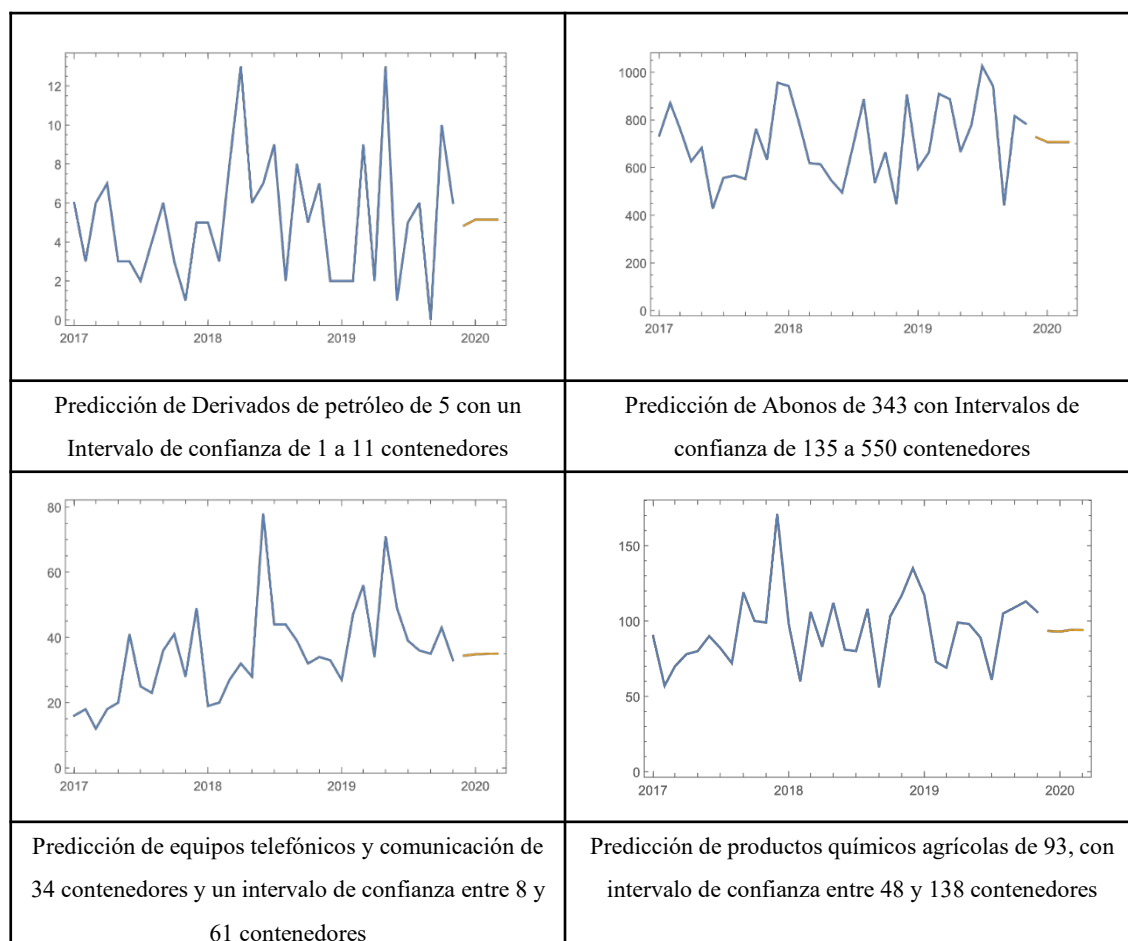


Figura 2: Pronóstico de la serie de tiempo y proyecciones de los productos analizados.

Nota. Para $t =$, $\pm$ valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95%

ción tienen una mayor proyección o estabilidad para mantenerse en el 2020, además las proyecciones de abonos presenta mejores proyecciones al futuro considerando los valores medios, los productos derivados de petróleo tienen una ligera baja similar a los productos químicos agrícolas, con un nivel de confianza del 95 % se puede definir que

el producto con mayor confianza de importaciones son abonos y equipos telefónicos.

La importación y el pronóstico de materia prima para productos no tradicionales se incrementan acorde con las necesidades insatisfechas de los consumidores. Pudiendo modificar la estacionalidad de una serie, siendo más estable a lo largo del

año (Flores, 1997). Las importaciones desde el punto de vista económico son explicadas en gran medida por el gasto de consumo de hogares y la formación de capital como medida de inversión (Pocaterra, 2019).

CONCLUSIONES

Las importaciones en Ecuador han evolucionado, especialmente a través de las nuevas alternativas de productos en el mercado, sin embargo, siguen predominando productos para el transporte dentro de la estructura altamente heterogénea. Los productos seleccionados sirven como ejemplos de las proyecciones y modelos encontrados con diferencias a pesar de las homogeneizaciones; sirven como base para el monitoreo de productos que tienen diversidad de factores influyentes en la demanda, como la estacionalidad y la innovación en los productos, especialmente relacionados con la tecnología.

Los modelos utilizados tienen la capacidad de pronosticar la demanda de los productos luego de un ajuste, primero estimando las necesidades del consumidor, las mismas que presentaron intervalos de confianza estables para pronosticar hasta 5 meses en el futuro, sin embargo, es necesario considerar la observación periódica con el propósito de incorporar nuevos datos que generen una serie para correr el modelo e incorporar esta nueva información.

Queda demostrado la utilidad de los pronósticos en la toma de decisiones de los inversionistas, como consecuencia de ello, disminuye la incertidumbre en las operaciones y permite realizar una planificación más clara de los procesos.

Acorde a los resultados de este estudio, se encuentran similitudes de series y también diferencias entre productos. En el caso de los abonos la serie presente mayores

importaciones comparados con los productos; Equipos telefónicos y de comunicación, productos químicos agrícolas y derivados de petróleo esto depende de las inversiones, capacidad de adquisición, ubicación en puerto, entre otros factores. Sin embargo, los niveles económicos considerados en la serie de tiempos indican un crecimiento de importe de productos

Después de comparar las series debemos ser más competitivos en la predicción, el orden de influencia de factores ayuda para tener mayor claridad y eficiencia en futuros trabajos la colección y análisis de otros productos en mayores periodos, utilizando la metodología de causa y efecto de las series de tiempo en futuros estudios.

En el modelo predictivo puede presentar desajustes periódicos posiblemente a los cambios estructurales, por lo que es recomendable evaluar periódicamente los modelos para mejorar la precisión de los pronósticos. La experiencia práctica muestra que se debe modelar y obtener varios resultados de diferentes modelos y generar una mayor confianza en la predicción al momento de la toma de decisiones.

Una vez realizado el procesamiento de los datos, se debe proceder a la homogeneidad de las series de tiempo, lo que garantiza la calidad de la data y por ende de los resultados que se obtengan a partir de los mismos.

Con respecto a los pronósticos económicos posiblemente factores como la inflación, oferta y demanda, factores externos (pandemia), pueden afectar con una inseguridad económica los valores de volatilidad en variables sujetas a cambios exógenos, con una incertidumbre y expectativas los modelos son difíciles de modelar y por ende los resultados de predicción tendería a tener un alto componente de error.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzúa, L., y Gosis, M. (2020). Impacto Social y Económico de la COVID-19 y Opciones de Políticas en Argentina. *PNUD América Latina y El Caribe*, 6, 1–27. www.latinamerica.undp.org
- Andersen, T., Boilerslev, T., Diebold, F., y Labys, P. (2001). Modeling and forecasting realized volatility. *Finance, January*. <https://www.kellogg.northwestern.edu/faculty/yandersen/html/4.pdf>
- Antunez, C. (2011). *Análisis de Series de Tiempo Lineales: Vol. I*.
- Banco Central del Ecuador (BCE) (2020a). *Información Estadística Mensual No. 2019 - Mayo 2020 Exportaciones FOB por grupos de productos* (p. IEM-312-e). <https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp>
- Banco Central del Ecuador (BCE), (2020b). *Información Estadística Mensual No. 2019 - Mayo 2020 Importaciones CIF por uso o Destino Económico (I)* (p. IEM-317-e). <https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp>
- Cervantes, L., Caro, A., y Chávez, M. (2017). Filtros econométricos en el análisis de series de tiempo. In F. Editorial (Ed.), *Universidad Inca Garcilaso de la Vega*. Textos Universitarios. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1221>
- Chang, V. (2019). Un análisis de series de tiempo mediante modelos SARIMAX para la proyección de demanda de carga en el puerto del Callao. *Análisis Económico y Financiero*, 1(3), 15–31. <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/raef/article/view/1694/1707>
- Chaves, R., Góis, M. R., y Ulises, C. (2007). Previsão de preços futuros de Commodities agrícolas com diferenciações inteira e fracionária, e erros heteroscedásticos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45(3), 621–644. <https://doi.org/10.1590/s0103-20032007000300004>
- Clavijo, P. (2017). Balance comercial y volatilidad del tipo de cambio nominal: Un estudio de series de tiempo para Colombia. *Economía y Región*, 11(1), 37–58. https://revistas.utb.edu.co/index.php/economia_y_region/article/view/146135
- Contreras, A., Atziry, C., Martínez, J., y Sánchez, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Estudios Gerenciales*, 32(141), 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.11.002>
- Corporación Financiera Nacional (CFN) (2017). *Ficha Sectorial I*, 1, p. 24. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/10/FS-October-2017.pdf>
- Cryer, J. D., y Chan, K.-S. (2008). *Time Series With Applications in R*.
- Cuenca, N., Chavarro, F., y Díaz, O. (2018). Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 21(2), 49–59. <https://doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2015.v18i2.05>

- Delgadillo, O., Ramírez, P. P., Leos, J. A., Salas, J. M., y Valdez, R. D. (2016). Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México. *Acta Universitaria*, 26(3), 23–32. <https://doi.org/10.15174/au.2016.882>
- Dos Santos, L., Portela, A., y Da Costa, N. (2008). Podemos prever a taxa de cambio brasileira? Evidência empírica utilizando inteligência computacional e modelos econométricos. *Gestao e Producao*, 15(3), 635–647. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2008000300016>
- Echavarría, J., Giraldo, I., y Jaramillo, F. (2019). Estimaciones de las elasticidades de oferta y demanda de importaciones en Colombia. *Borradores de Economía*, 1081. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9710be_1081.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Fares, F., Zack, G., y Martínez, R. (2017). Cálculo de los índices de precio sectoriales de las importaciones argentinas. *Revista Economía y Desafíos Del Desarrollo*, 1, 1–476. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Farooqi, A. (2014). ARIMA model building and forecasting on imports and exports of Pakistan. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 10(2), 157–168. <https://doi.org/10.18187/pjsor.v10i2.732>
- Flores, F. (2019). Pronóstico y determinación datos faltantes en series de tiempo meteorológicas de la región Moquegua, provincia de ILO. *Revista de Divulgación Sincretismo*, 01, 49–54. <http://200.60.83.162/index.php/sincretismo/article/view/149.pdf>
- Flores, M. (1997). Importaciones totales: Reformulación del Modelo ARIMA y actualizaciones de los factores estacionales. *Banco Central de Costa Rica. Departamento de Investigaciones Económicas*. <https://activos.bccr.fi.cr/sitios/bccr/ndieDocNdieEC-11-1997.PDF>
- Fokin, N., y Polbin, A. (2019). Forecasting Russia's Key Macroeconomic Indicators with the VAR-LASSO Model. *Russian Journal of Money and Finance*, 78(2), 67–93. <https://doi.org/10.31477/rjmf.201902.67>
- Garcia, F., Batyrshin, I., y Gelbukh, A. (2016). Similitud de series de tiempo basada en longitud de patrones de la transformada por aproximación móvil. *Research in Computing Science*, 115(1), 79–92. <https://doi.org/10.13053/rcs-115-1-7>
- Hevia, C., y Neumeyer, A. (2020). Un marco conceptual para analizar el impacto económico de COVID-19 y sus implicaciones políticas. *Undp.Org*, 1, 1–18. www.latinamerica.undp.org
- Idrees, S., Alam, A., y Agarwal, P. (2019). A Prediction Approach for Stock Market Volatility Based on Time Series Data. *IEEE Access*, 7, 17287–17298. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2895252>
- Kamal, I. M., Bae, H., Sunghyun, S., y Yun, H. (2020). DERN: Deep ensemble learning model for short and long-term prediction of Baltic Dry Index. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041504>

- Kim, J. (2008). The forecasting of port-container volume in Korea. *The Journal of Shipping and Logistics*, 59(1), 175–194. <http://www.kci.go.kr/kciportal/cisereArticleSearch/cisereArticleView.kcisereArticleSearchBean.artiId=ART001299806&locale=en&SID=7CSJRQTXVFEldg26ZS.pdf>
- Liu, L., y Park, K. (2011). Empirical analysis of influence factors to container throughput in Korea and China ports. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 27(2), 279–303. [https://doi.org/10.1016/S2092-5212\(11\)80013-1](https://doi.org/10.1016/S2092-5212(11)80013-1)
- Paniagua, J. (2017). Modelación econométrica de la demanda de semilla de chile dulce lamuyo y blocky en Costa Rica mediante series de tiempo univariadas. *E-Agronegocios*, 3(2), 1–12. <https://sites.google.com/site/eagronegociosucr/>
- Peña, D. (2010). *Análisis de series temporales* (Www.alianzaeditorial.es (ed.)). alianzaeditorial@anaya.es.
- Pocaterra, V. (2019). Elasticidades de corto y largo plazo en las importaciones de Ecuador. *Revista De Ciencias Sociales*, 25(2), 217–231. <https://doi.org/10.31876/rcs.v25i2.27349>
- Salazar, L., Nicolis, O., Ruggeri, F., Kisel'ák, J., y Stehlík, M. (2019). Predicting hourly ozone concentrations using wavelets and ARIMA models. *Neural Computing and Applications*, 31(8), 4331–4340. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3345-0>
- Saturnino, O., Lucenam, P., y Saturnino, V. (2013). Liquidez y valor de mercado de Stock Brasileño: Modelo de cinco factores. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Villarreal, F. G. (2005). Elementos teóricos del ajuste estacional de series económicas utilizando X-12-ARIMA y TRAMO-SEATS. In C. D. de E. y P. Económicas (Ed.), *Estudios estadísticos y prospectivos*. Publicación de las Naciones Unidas.
- Villavicencio, J. (2018). *Introducción a Series de Tiempo*.
- Yaselga, D. (2019). Un indicador de factores dinámicos para la evolución del PIB a corto plazo para el Ecuador. *Cuestiones Económicas*, 29(1). <http://estudioseconomicos.bce.fin.ec/index.php/RevistaCE/article/view/3944.pdf>

Declaración de roles de autores:

- Iván Analuisa Aroca: Conceptualización; metodología y administración del proyecto.
- Emanuel Muñoz: Conceptualización; metodología; estadística y revisión y edición. Análisis de datos y conclusiones.
- Ruth Paulina Solorzano Casco: Información documental, conceptualización.

Efecto del bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno sobre el rendimiento y calidad de frutos del camu camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) clon E3F8

Effect of cattle manure biofertilizer on the yield and fruit quality of camu-camu (Myrciaria dubia HBK Mc Vaugh) clone E3F8

 Ena V. Velazco-Castro

 Victor E. Sotero-Solis

 Cindy P. Castro-Muñoz

 A. Aguirre-Ruiz

 Alex Álvarez-García

evelazcoc@unia.edu.pe 

Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. Ucayali, Perú

Recibido: 12/01/2026

Revisado: 02/03/2026

Aceptado: 25/04/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La codigestión anaerobia de estiércol de ganado y diversas biomásas genera biogás como recurso energético renovable incrementando la disponibilidad de nutrientes en una forma accesible para las plantas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensiva sobre el rendimiento y calidad del fruto del camu camu (*Myrciaria dubia*) Clon E3F8. Tuvo un diseño experimental completo al azar con tres tratamientos y un testigo (dosis de bioabono T1: testigo, T2: 4 %, T3: 8 % y T4: 12 %) y tres repeticiones resultando 12 unidades experimentales. Se utilizaron plantaciones de *Myrciaria dubia* de 20 años, instaladas en terraza baja inundable (TBI). Se aplicaron las dosis de bioabono/ tratamiento cada semana, hasta entrada a la floración; se midieron número de frutos/cosecha, rendimiento ($t\ ha^{-1}$), concentración de materia seca en la hoja (%), tamaño unitario del fruto (cm) y peso unitario del fruto (g). Hubo significancia estadística ($p < 0,05$) en el número de frutos, rendimiento (t/ha) al utilizar 8 % de bioabono. La aplicación de bioabono incrementa el rendimiento del camu camu (*Myrciaria dubia*).

Palabras clave: Camu camu, clon E3F8, biol, biofertilizante, *Myrciaria dubia*.

ABSTRACT

The anaerobic co-digestion of cattle manure and various biomasses generates biogas as a renewable energy resource while increasing nutrient availability in a form accessible to plants. The aim of this study was to evaluate the effect of bio-fertilizer produced from cattle manure (sourced from an extensive rearing system) on the yield and fruit quality of camu-camu (*Myrciaria dubia*) clone E3F8. A completely randomized experimental design was employed, comprising three treatments and a control (bio-fertilizer dosages:



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;37-44

T1 = control, T2 = 4%, T3 = 8%, and T4 = 12%) with three replicates, resulting in 12 experimental units. Twenty-year-old *Myrciaria dubia* plants established on a low-lying, flood-prone terrace (FPT) were used. Biofertilizer dosages were applied weekly until the onset of flowering. Measured parameters included the number of fruits per harvest, yield (t ha^{-1}), leaf dry matter concentration (%), unit fruit size (cm), and unit fruit weight (g). Statistically significant differences ($p < 0.05$) were observed in the number of fruits and yield (t/ha) with the use of 8% biofertilizer. Bio-fertilizer application increases the yield of camu-camu (*Myrciaria dubia*).

Keywords: Camu camu, E3F8 clone, biol, biofertilizer, *Myrciaria dubia*.

INTRODUCCIÓN

El camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) constituye un fruto perteneciente a la familia Myrtaceae, el cual es habitual en la región amazónica que abarca Brasil, Perú, Colombia y Venezuela. Se ha documentado que en la pulpa, cáscara y semillas de *M. dubia* se encuentran principalmente compuestos bioactivos como los fenólicos, la vitamina C y los carotenoides (García-Chacón *et al.*, 2023).

Aguirre *et al.* (2011) identificaron los clones más prometedores para la generación de camu camu en la región de Ucayali, evaluando cuatro genotipos: 3B-F1, E3-F7, E3-F8 y E3-F10. Se observó que el genotipo E3-F7 presentó el mayor rendimiento en términos de producción total de pulpa; así como, el contenido más elevado de ácido ascórbico.

El cultivo de camu camu, necesita cantidades variables de nutrientes para su producción, es así como estudios realizados por Velazco *et al.* (2022) y Panduro *et al.* (2021), señalaron que la extracción de nutrientes en el ciclo fenológico reproductivo de *Myrciaria dubia* presentó un orden de extracción: $\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{K}$ y $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ (Panduro *et al.*, 2021 y Velazco *et al.*, 2022).

Por otra parte, su cultivo está afectado por una alta pérdida en el cuajado de

los frutos, y una de las posibles causas se atribuye a problemas nutricionales; de esta manera, se hace necesario brindar a los agricultores alternativas ecológicas y económicas en la nutrición orgánica del camu camu, presentándose como una buena opción el bioabono, formulándose a partir de los residuos generados por la actividad ganadera (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana [IIAP], 2010).

La producción de frutos de camu-camu ha sufrido un impacto significativo, alcanzando aproximadamente entre 1,5 y 2,5 t ha^{-1} ; esto se debe, en gran medida, a la reducción de elementos esenciales como nitrógeno, potasio y magnesio en los suelos, lo cual es provocado fundamentalmente por las variaciones en los niveles de inundación en las distintas áreas de cultivo; así como, por la falta de tecnologías de fertilización asequibles que permitan la reposición de los nutrientes que se extraen anualmente durante las cosechas y al incremento en la aparición de plagas y enfermedades, como resultado de la implementación de prácticas agronómicas inadecuadas (Abanto *et al.*, 2019).

El excremento de ganado se emplea con frecuencia como fuente fundamental de fertilización. Debido a su alta concentración de materia orgánica; así como, a todos

los minerales imprescindibles para el desarrollo vegetal, la utilización de estiércol puede resultar más ventajosa que la aplicación de fertilizantes químicos, para potenciar la fertilidad del suelo. Se ha evidenciado que con la incorporación de estiércol de ganado se incrementan los niveles de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes en el suelo (Abou-Sreya *et al.*, 2021 y Liu *et al.*, 2025).

Sin embargo, la concentración de nutrientes es bastante baja; por lo que, son necesarias altas dosis de aplicación para proporcionar una cantidad equivalente de nutrientes; como estos se encuentran en forma orgánica, deben someterse a mineralización para convertirse en su forma inorgánica. El estiércol incluye entre un 10 % y un 20 % de nitrógeno que, es fácilmente accesible en la fracción inorgánica; se estima que la disponibilidad de fósforo es cercana al 50 % comparado con los fertilizantes fosfatados comerciales (Abou-Sreya *et al.*, 2021).

Pinedo *et al.* (2018) determinó que los biofertilizantes producidos a partir de estiércol de ganado bovino y aves de corral incrementaron de manera notable el rendimiento, tamaño y peso de los frutos en las plantas de camu-camu.

Cabe resaltar que, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), mediante el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ha desarrollado el camu-camu INIA 395 VITAHUAYO. Esta variedad presenta una producción de 2,660 frutos por planta, lo que se traduce en aproximadamente 38 kg y genera más de 42 t ha⁻¹, aportando 2 000 a 2 500 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de pulpa. (MIDAGRI, 2021). Esto con la finalidad de garantizar la calidad del fruto, haciéndose importante para el mercado nacional

e internacional; así mismo, se aportará a la finalidad de la Ley N° 29196, Ley de Promoción de la Producción Orgánica o Ecológica (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

En tal sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensiva sobre el rendimiento y calidad del fruto del camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh) clon E3F8.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la Región Ucayali, Provincia de coronel Portillo, Distrito de Yarinacocha, Caserío San Juan de Yarinacocha, fisiográficamente pertenece a un ecosistema de terraza baja inundable (TBI), geográficamente ubicada en la parte central y oriental del territorio peruano. Cuya ubicación geográfica es 8° 19' 22.31" S; 74° 36' 07.45" O y sistema de referencia: WGS 84, UTM zona 18S.

Diseño de la investigación

El estudio se trabajó bajo un diseño de bloques completo al azar (DBCA) con tres tratamientos y un testigo (dosis de bioabono T1: testigo, T2: 4 %, T3: 8 % y T4: 12 %) y tres repeticiones, resultando 12 unidades experimentales.

La población estuvo integrada por 30 plantas de camu-camu - clon E3F8, en etapa fenológica reproductiva. La muestra (n: 12 plantas); el método de muestreo fue no probabilístico, por conveniencia.

Las plantas instaladas por el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana - IIAP (plantas con 20 años), fueron sembradas a un distanciamiento de 3 x 3 m, con una densidad de siembra de 1111 plantas ha⁻¹.

Procedimiento

Se realizó la poda sanitaria, poda de fructificación, deschuponado y defoliación a cada planta de camu-camu, después del inicio de la foliación, a los ocho días posteriormente, se inició la aplicación de bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno, en sistema de crianza extensivo.

Se determinaron las variables: número de frutos a la cosecha, rendimiento (t ha⁻¹), concentración de materia seca en la hoja (%), tamaño unitario del fruto (cm) y peso unitario del fruto (g).

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron analizados, mediante el Análisis de Varianza previo cumplimiento de los criterios de homocedasticidad; también, se aplicó la prueba de medias de Tukey. El nivel de significancia estadístico se consideró $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el número, peso, rendimiento y tamaño de fruto de camu-camu por efecto de aplicar bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensivo. El tratamiento con la aplicación del 8 % de bioabono resultó en la producción de 1 264 frutos de camu-camu por planta a la cosecha y un rendimiento de 5,5 t ha⁻¹. El peso unitario de los frutos de camu-camu evidencia que, a dosis creciente el peso de la fruta disminuye, es así como a 4 % de bioabono el peso de la fruta es de 5,8 g y a 12 % de bioabono llega a pesar 4,0 g en promedio.

En cuanto al tamaño unitario de los frutos de camu camu se muestra que, llega a 2,1 cm de diámetro cuando se aplicó la concentración de bioabono de 4 %; mientras que, alcanzó 1,6 cm con 12 % de bioabono.

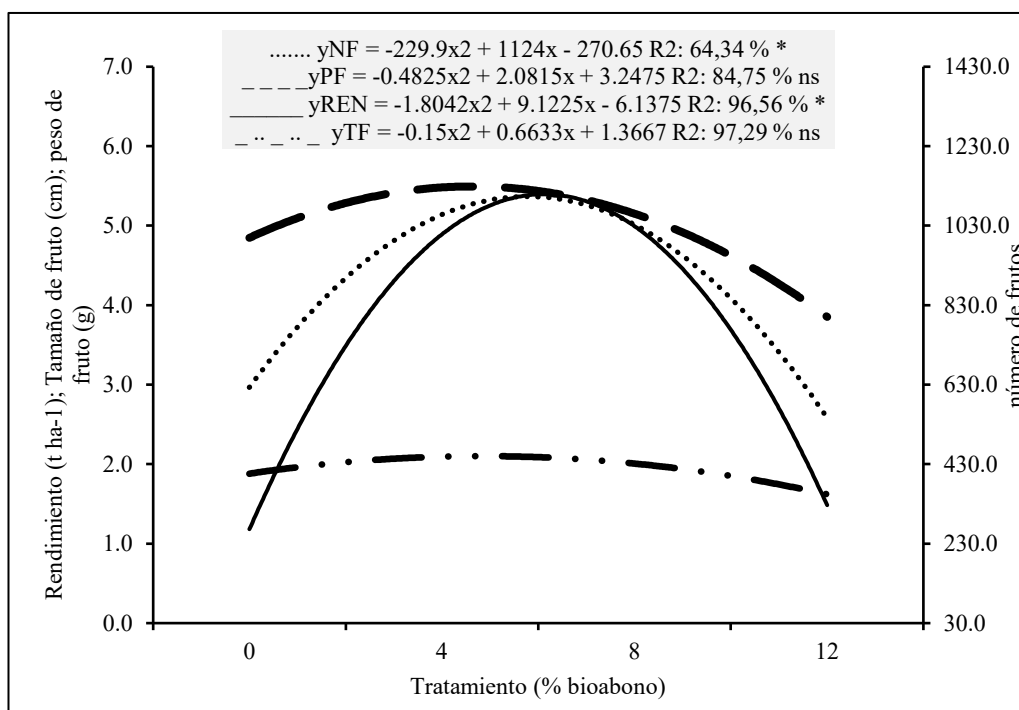


Figura 1: Número de fruto-NF, peso de fruto-PF (g), rendimiento-REN (t ha⁻¹) y tamaño de fruto-TF (cm) de camu-camu por efecto de aplicar bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensivo.

Estos resultados son menores a los evidenciados por Abanto Rodríguez *et al.* (2015), quienes evaluaron la aplicación de cuatro tratamientos administrados T1 (control); T2 (estiércol de vacuno), T3 (estiércol de ovino) y T4 (estiércol de cuyaza) en plantas de camu-camu de 9 años, reportándose que, los biofertilizantes de ovino y vacuno demostraron los resultados más sobresalientes, alcanzando 2 096 frutos/planta, un peso de 8,9 g y 8 g y un rendimiento de 17,53 t ha⁻¹ y 14,18 t ha⁻¹, respectivamente; por lo tanto, ejercieron un impacto positivo más significativo; esta eficacia de ambos bioles, tanto la cantidad como el peso de los frutos de camu-camu podría estar atribuida a su composición química, debido a la disponibilidad de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Así mismo, en otra investigación de Rodríguez *et al.* (2013) se determinó que la gallinaza se establece como el sustrato más efectivo para el crecimiento de las plantas de camu-camu, siendo el sustrato de humus de lombriz el segundo en eficacia.

Este estudio se realizó en un sistema perteneciente a un ecosistema de terraza baja inundable (TBI). Con respecto a esto, en el proceso de aclimatación del camu-camu a entornos de tierra firme, es fundamental tener en cuenta la gestión de la fertilización en función de las condiciones hídricas de la región; así como, evaluar las tecnologías de cultivo disponibles. Por ello, López *et al.* (2020) evaluaron cualitativa y cuantitativamente los frutos de camu-camu recolectados durante la primera cosecha en áreas de tierra firme, aplicando tanto fertilización mineral como orgánica. Se implementó un diseño experimental de bloques al azar, con un total de 10 tratamientos y cuatro repeticiones. La aplicación de fertilizantes orgánicos (ceniza de bagazo de caña

de azúcar y semillas de guaraná y compost) cada cuatro meses condujo a un incremento en el rendimiento de frutos, alcanzando 326 g/planta. En contraste, el rendimiento fue inferior al emplear fertilización mineral o su combinación con materia orgánica, registrándose 76 ± 40 g/planta. La fertilización orgánica favoreció un aumento en el peso del fruto (8,91 g) y su tamaño (2,47 cm de diámetro y 2,30 cm de longitud). No se observaron efectos de la fertilización mineral y orgánica sobre las características químicas (pH, sólidos solubles) de los frutos de camu-camu. Las concentraciones de ácido ascórbico mostraron variaciones significativas entre las muestras analizadas, lo que puede ser atribuible a la heterogeneidad del material genético. Asimismo, el rendimiento de pulpa y cáscara no presentó diferencias considerables bajo ninguno de los tratamientos de fertilización, en comparación con las muestras que no recibieron fertilización.

El estudio de Oroche (2018), reportó 15,72 t/ha⁻¹ al aplicar biofertilizante de bovinaza al cultivo de camu-camu.

La Figura 2, muestra la materia seca en hojas de camu-camu por efecto de la aplicación de bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensivo. Las hojas de camu-camu al finalizar la cosecha presentó 24,52 % de materia seca con 8 % de bioabono.

Por otra parte, el estudio de Jaque, (2019) estableció las características vegetativas, productivas y de postcosecha en nueve clones de *Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh de seis años. Todos los clones fueron fertilizados con una dosis de 5 kg/planta, la cual incluyó la utilización de un fertilizante tanto orgánico como mineral, compuesto por 4 kg de Gallinaza, dolomita y un abono comercial de micronutrientes.

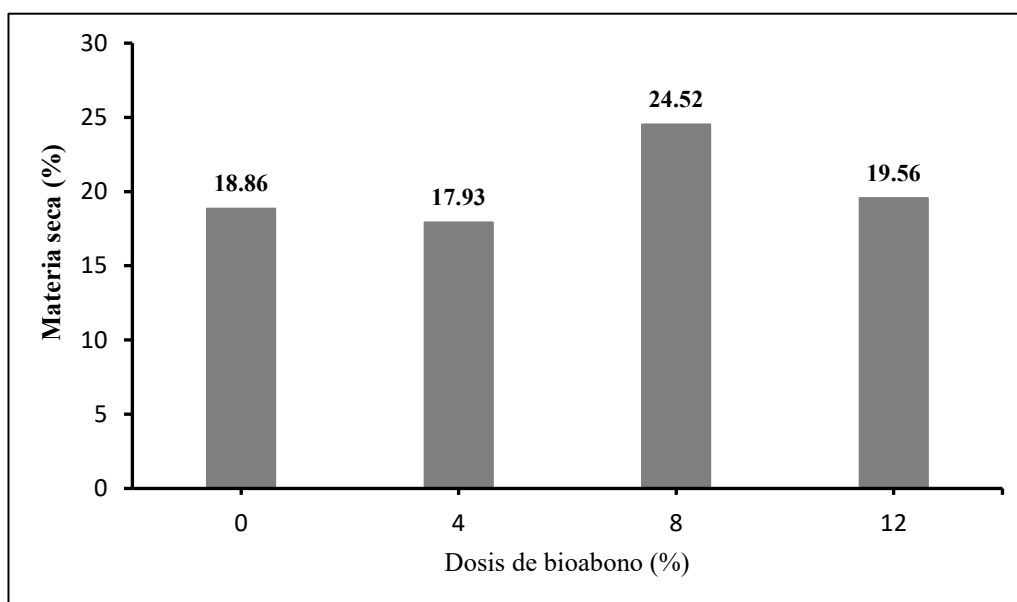


Figura 2: Materia seca en hojas de camu-camu por efecto de aplicar bioabono elaborado con estiércol de ganado vacuno en sistema de crianza extensivo.

Se realizaron poda y defoliación de manera manual. Los clones CA-168, CA-242, CA-81, CA-253 y CA-84 alcanzaron un promedio en el rendimiento de 15,62 t/ha⁻¹, obteniendo así los resultados más destacados.

Abanto *et al.* (2014) evaluó las repercusiones de la poda para la fructificación junto con diversas modalidades de defoliación en la conducta productiva de plantas adultas de camu camu que cuentan con una edad de 10 años; además, se constató que el método de defoliación manual acompañado de poda mostró una superioridad estadística en comparación con los otros tratamientos, sobresaliendo

en su capacidad para producir botones florales, frutos de menor tamaño, frutos destinados a la cosecha y en términos de rendimiento en t ha⁻¹, con valores promedio de 11,135; 7,867; 1,862 y 19,7 respectivamente.

CONCLUSIONES

Los frutos del camu-camu clon E3F8 están clasificados como fruto mediano de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP – NA 0085.

Los resultados de esta investigación son de utilidad práctica para el agricultor porque permitirá utilizar la mejor dosis de bioabono, para obtener frutas de camu-camu con alta calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, C., Alves, E., Pinedo, M., García, D., Sánchez-Choy, J., Bardales, R., y Saldaña, G. (2013). Producción de plantas de camu camu con diferentes sustratos orgánicos en camas de vivero convencional. *Scientia Agropecuaria*, 4, 321-324. <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633707006.pdf>

- Abanto, C., del Castillo, D., Alves, E., y Tadashi, R. (2015). Efecto de la fertilización orgánica en la producción y calidad de frutos de plantas de camu camu en Ucayali-Perú. *Cadernos de Agroecologia*, 10 (3). <https://www.aba-agroecologia.org.br/revista/cad/article/view/16867/13084>
- Abanto-Rodriguez, C., Pinedo-Panduro, M., Bardales-Lozano, R., y Alves-Chagas, E. (2014). Efecto de la poda de fructificación y defoliación en el proceso productivo de camu camu en la región UCAYALI-PERÚ. *Folia Amazónica*, 23(1), 17-24. <https://doi.org/10.24841/fa.v23i1.4>
- Abanto-Rodríguez, C., Soregui, G., Pinedo, M., Velazco, E., Paredes, E., y Medeiros de Oliveira, E. (2019). Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. *Revista Ceres*, 66 (2), 108-116. <https://www.scielo.br/j/rceres/a/3RT5jXWrDb79XzDCs3rWTjh/?format=pdf&lang=es&ilang=en>
- Abou-Sreea, A., Rady, M., Roby, M., Ahmed, S., Majrashi, A., y Ali, E. (2021). Cattle manure and bio-nourishing royal jelly as alternatives to chemical fertilizers: Potential for sustainable production of organic *Hibiscus sabdariffa* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 25, 100334. 10.1016/j.jar-map.2021.100334
- Aguirre, O., Abanto, C., Oliva, C., Prince Sangama, D., y Chia, J. (2011). Evaluación agronómica de cuatro clones de camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh) en un suelo aluvial inundable de la región Ucayali. *Investigación y Amazonía*, 1(2), 70-77
- García-Chacón, J., Marín-Loaiza, J., y Osorio, C. (2023). Camu Camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh): An Amazonian Fruit with Biofunctional Properties-A Review. *ACS Omega*, 8(6), 5169-5183. doi: 10.1021/acsomega.2c07245
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana [IIAP] (2010). *Control integrado de caída de fruta en camu-camu (Myrciaria dubia McVaugh H.B.K.)*. http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1666.pdf
- Jaque, B. (2019). Caracterización vegetativa, productiva y de postcosecha de nueve clones de *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, “camu camu” bajo condiciones del IIAP- Ucayali. [Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. <https://hdl.handle.net/20.500.14646/202>
- Liu, Y., Xu, M., Liu, M., Cheng, C., Qiao, L., Li, Y., y Li, Z. (2025). Responses of soil available nutrients and microbial performance in a newly established apple orchard after five-year fertilization with different sources of livestock manure. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101635. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101635>
- Lopez, C., Villacis, J., Taube, P., Silva do Sacramento, J., y de Barros, E. (2020). Initial production and quality of camu-camu fruits under organic and mineral fertilization. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50, e60821. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5060821>

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) (2021). MIDAGRI lanza primera variedad de camu camu con alta concentración de vitamina C y que incrementará 40% rentabilidad de 6 mil agricultores. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/349836-midagri-lanza-primer-variedad-de-camu-camu-con-alta-concentracion-de-vitamina-c-y-que-incrementara-40-rentabilidad-de->
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Ley N.º 29196. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317487-29196>
- Oroche, D. (2018). Biofertilizantes y su influencia sobre las características agronómicas y el rendimiento de *Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh "camu-camu" en la comunidad de Moena Caño. Belén. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6839>
- Panduro, N., Vega-Jara, L., Ramírez, N., y Herrera-Veramendi, R. (2021). Absorción de nutrientes y metales pesados del cultivo de camu camu en un entisol de Yarinacocha. <https://isbn.bnpgob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=119521>
- Pinedo, M., Abanto-Rodríguez, C., Oroche, D., Paredes, E., Bardales-Lozano, R., Alves, E., Lopes, J., y Vargas, J. (2018). Mejoramiento de las características agronómicas y rendimiento de fruto de camu-camu con el uso de biofertilizantes en Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 527-533. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.08>
- Velazco, E., Sánchez, J., y Castro, C. (2022). Fenología reproductiva y extracción de nutrientes del fruto de *Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh "camu camu" en Ucayali. <https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/book/9>

Declaración de roles de autores:

- Ena Vilma Velazco Castro: conceptualización, análisis formal, metodología, revisión y edición final.
- Víctor Erasmo Sotero Solis: administración del proyecto, investigación, conceptualización.
- Cindy Paola Castro Muñoz: curación de datos, análisis de datos, redacción.
- Arturo Aguirre Ruíz: visualización, supervisión, metodología.
- Alex Álvarez García: investigación, borrador original.

Respuesta fotosintética del cacao (*Theobroma cacao* L.) frente al estrés térmico asociado con el niño en escenarios de variabilidad climática

Photosynthetic response of Cacao (Theobroma cacao L.) to El Niño Southern-Oscillation associated heat stress under climate variability scenarios

 Mario Fleitas-Díaz¹

 Dalton Guarnizo-Crespo²

 Mayra Cuenca-Zambrano³

 Talhita Benitez-Pardillo⁴

 José Valdivia Fernández-Dávila⁵

mfleitas@itecsur.edu.ec 

- 1.- Instituto Superior Universitario Compu Sur. Quito, Ecuador
- 2.- Universidad Estatal de Milagro. Milagro, Guayas, Ecuador
- 3.- Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador
- 4.- Instituto Tecnológico Universitario Libertad. Quito, Ecuador
- 5.- Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

Recibido: 20/03/2026

Revisado: 29/04/2026

Aceptado: 10/06/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La creciente variabilidad climática asociada a fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) representa un riesgo creciente para cultivos tropicales perennes altamente sensibles a la temperatura, como el cacao (*Theobroma cacao* L.). El presente estudio tuvo como objetivo analizar la respuesta fotosintética del cacao frente a la variación térmica asociada con El Niño, relacionando la temperatura ambiental con la actividad fotosintética y el rendimiento del cultivo, para valorar su vulnerabilidad térmica desde un enfoque fisiológico. Metodológicamente, se desarrolló un estudio cuantitativo de carácter analítico basado en la integración de literatura científica y registros climáticos y productivos, organizando la información en tablas y figuras según los rangos térmicos y su correspondencia con la respuesta fotosintética, el fotosistema II y el rendimiento. Los resultados evidenciaron una respuesta no lineal y dependiente del proceso evaluado: la conductancia estomática se favorece entre 20-30 °C, la eficiencia del fotosistema II alcanza su máximo entre 24,1- 25,6 °C, y la asimilación de CO₂ se optimiza entre 30-33 °C, mientras que por encima de 30 °C la vulnerabilidad fisiológica aumenta según la radiación, el déficit de presión de vapor y el genotipo. Se concluye que el riesgo fotosintético asociado con el fenómeno El Niño depende de la coincidencia de múltiples variables ambientales y no de un único umbral térmico.

Palabras clave: Cacao (*Theobroma cacao* L.), fotosíntesis; estrés térmico; fotosistema II, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).



ABSTRACT

The increasing climate variability associated with phenomena such as El Niño-Southern Oscillation (ENSO) represents a growing risk for temperature-sensitive perennial tropical crops such as cacao (*Theobroma cacao* L.). This study aimed to analyze the photosynthetic response of cacao to thermal variation associated with El Niño, relating ambient temperature to photosynthetic activity and crop yield, in order to assess its thermal vulnerability from a physiological approach. Methodologically, a quantitative analytical study was conducted based on the integration of scientific literature and available climatic and productive records, organizing the information into tables and graphs according to reported temperature ranges and their correspondence with photosynthetic response, photosystem II functioning, and yield. Results showed a nonlinear response that varied depending on the physiological process evaluated: stomatal conductance was favored between 20-30 °C, photosystem II efficiency peaked between 24.1-25.6 °C, and CO₂ assimilation was optimized between 30-33 °C, while above 30 °C physiological vulnerability increased depending on radiation, vapor pressure deficit, and genotype. It is concluded that the photosynthetic risk associated with El Niño depends on the coincidence of multiple environmental variables rather than a single thermal threshold.

Keyword: Cacao (*Theobroma cacao* L.), photosynthesis, heat stress, photosystem II, El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

INTRODUCCIÓN

La creciente variabilidad de las condiciones ambientales asociada al cambio climático está intensificando los factores negativos que pueden comprometer la productividad de los cultivos tropicales, especialmente frente a las modificaciones proyectadas en la temperatura, la precipitación y la frecuencia de eventos climáticos extremos (Fleitas *et al.*, 2026 y Obahoundje *et al.*, 2026).

Entre los principales fenómenos que explican la variabilidad climática interanual se encuentra El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es un sistema de interacción entre el océano Pacífico tropical y la atmósfera que consigue modificar los patrones de temperatura y precipitación a escala regional (Botero y Barnes, 2022 y Kamil *et al.*, 2024). Tales modificaciones, adquieren gran importancia en los sistemas agrícolas tropicales, debido a que pueden alterar tanto la disponibilidad de agua como

el régimen térmico de la zona, con lo que condiciona procesos fisiológicos esenciales para el correcto crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos (Tullu y Habtegebreal, 2025 y Gurazada *et al.*, 2026).

En cultivos perennes como el cacao (*Theobroma cacao* L.) este fenómeno presenta particular interés debido a su elevada sensibilidad a las condiciones ambientales y a la estrecha relación existente entre temperatura, disponibilidad de agua, radiación y funcionamiento fotosintético (González *et al.*, 2025). La productividad del cacao depende de la capacidad de las hojas para mantener una adecuada captación y transformación de la energía luminosa, fijación de CO₂ y la producción de fotoasimilados (Ibe *et al.*, 2024; Benjamín *et al.*, 2025 y Da Vitória *et al.*, 2026).

Por tanto, la persistencia de condiciones ambientales desfavorables altera procesos fisiológicos esenciales y reper-

cuten posteriormente sobre la floración, el cuajado, el crecimiento de las mazorcas, la acumulación de biomasa, entre otros, lo que compromete potencialmente el rendimiento final (Benjamín *et al.*, 2025). En el caso de la temperatura, es reconocida como un factor determinante de la fisiología del cacao, debido a su influencia sobre la actividad fotosintética y el balance energético de las hojas (Mateus *et al.*, 2023).

Aunque la especie puede mantener su actividad fotosintética dentro de un intervalo relativamente amplio, su respuesta depende del genotipo, estado hídrico, radiación y capacidad de aclimatación, situándose las condiciones favorables se sitúan aproximadamente entre 20 y 30 °C (Dhamira y Anggrasari 2024). Desde esta óptica fisiológica, las plantas de cacao alcanzan una mayor eficiencia potencial del fotosistema II (aproximadamente entre 24,1 y 25,6 °C) estimada mediante la relación entre la fluorescencia variable (Fv) y la fluorescencia máxima (Fm), lo que representa una condición favorable para el funcionamiento del aparato fotosintético y no un límite de tolerancia del cultivo (Leiva *et al.*, 2024; Stéphane *et al.*, 2026 y Suárez *et al.*, 2026).

A pesar de la evidencia sobre la sensibilidad térmica del cacao, resulta necesario profundizar en la relación entre la variación de la temperatura y el comportamiento de la fotosíntesis, particularmente en condiciones que puedan superar aquellas favorables para el funcionamiento del aparato fotosintético. El escenario climático asociado con El Niño durante la presente etapa proporciona un marco pertinente para examinar esta relación y valorar sus posibles consecuencias sobre el desempeño productivo del cultivo para el próximo año 2027.

El estudio tiene como objetivo analizar la posible respuesta fotosintética del cacao (*Theobroma cacao* L.) frente a la variación térmica asociada con El Niño durante la actual temporada 2026 - 2027, relacionando la temperatura ambiental con la actividad fotosintética y el rendimiento del cultivo, determinando su correspondencia con variaciones productiva que valore la vulnerabilidad térmica del cacao desde el análisis fisiológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio cuantitativo de carácter analítico basado en la integración de información climática, fisiológica y productiva del cacao (*Theobroma cacao* L.). La temperatura se estableció como variable principal de análisis, mientras que la actividad fotosintética, el funcionamiento del fotosistema II y el rendimiento fueron considerados variables de respuesta. La información se obtuvo de literatura científica, registros climáticos y productivos disponibles, priorizando datos cuantitativos comparables entre condiciones térmicas.

Los datos fueron organizados en tablas y figuras según los rangos de temperatura reportados y su correspondiente respuesta fotosintética, comportamiento del fotosistema II y rendimiento. Se analizaron particularmente los intervalos térmicos asociados con cambios en la actividad fotosintética y en la relación entre fluorescencia variable y fluorescencia máxima, considerando el intervalo de 24,1–25,6 °C como referencia fisiológica de mayor eficiencia potencial del fotosistema II y no como límite de tolerancia térmica.

La relación entre las variables se examinó mediante análisis descriptivo y representaciones gráficas, incluyendo gráficos de dispersión, curvas de respuesta y

líneas de tendencia cuando la disponibilidad y comparabilidad de los datos lo permitieron. Los patrones identificados se contrastaron con las condiciones térmicas asociadas con El Niño durante la actual etapa, con énfasis en lo esperado para el año 2027, para interpretar la posible correspondencia entre la variación térmica, la respuesta fotosintética y el rendimiento del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a lo descrito en la metodología, el análisis permitió identificar

la relación entre la variación térmica y diferentes componentes de la respuesta fotosintética del cacao (*Theobroma cacao* L.), considerando además la radiación, el estado hídrico y la respuesta productiva como factores moduladores. Los resultados muestran que la respuesta fisiológica no se concentra en una única temperatura óptima, sino que presenta diferencias según el proceso evaluado (Tabla 1).

Los resultados evidencian que la relación entre la temperatura y la actividad fotosintética del cacao no es lineal, sino que

Tabla 1.
Rangos térmicos y respuesta fisiológica del cacao (*Theobroma cacao* L.).

Rango térmico (°C)	Proceso fisiológico evaluado	Respuesta observada
20 - 30	Conductancia estomática y flujo hídrico foliar	Rango favorable para la actividad fotosintética; mayor conductancia, intercambio gaseoso y el funcionamiento estomático y flujo de agua
24,1 - 25,6	Eficiencia potencial del fotosistema II (relación Fv/Fm)	Valores máximos de fluorescencia variable/máxima; condición fisiológica óptima, máxima eficiencia fotoquímica potencial dentro del rango analizado.
30 - 33	Asimilación neta de CO ₂	Mayores tasas de asimilación de CO ₂ reportadas en esta ventana térmica
> 30	Conductancia estomática y fotosistema II	Cierre estomático progresivo; afectación del centro de reacción P680 y del complejo OEC; disminución de la tasa fotosintética, incremento de la sensibilidad fisiológica, condicionado por radiación, déficit de presión de vapor, disponibilidad hídrica y genotipo.

Nota. Los rangos corresponden a la síntesis analítica de las respuestas fisiológicas consideradas y no constituyen umbrales universales de tolerancia térmica.

describe una curva de respuesta con un óptimo relativamente estrecho. Entre 20 y 30 °C se favorecen la conductancia estomática y el flujo hídrico foliar, lo que se traduce en tasas fotosintéticas más altas (Baque *et al.*, 2024).

Dentro de este intervalo, el rango de 24,1 a 25,6 °C constituye el punto de mayor eficiencia potencial del fotosistema II, estimado mediante la relación entre la fluorescencia variable y la fluorescencia

máxima (F_v/F_m); no obstante, este valor debe interpretarse como una condición fisiológica favorable y no como un límite de tolerancia térmica del cultivo, tal como se estableció en la metodología.

De manera complementaria, se han reportado tasas máximas de asimilación de CO_2 en plántulas dentro de un intervalo ligeramente superior (30-33 °C), lo que sugiere que distintos procesos del aparato fotosintético alcanzan su óptimo en puntos térmicos no necesariamente coincidentes.

Superado el umbral de 30 °C, el sistema fisiológico del cacao ingresa en una fase de vulnerabilidad creciente. Se observa cierre estomático progresivo y una afectación directa sobre el fotosistema II, particularmente sobre el centro de reacción P680 y el complejo de evolución de oxígeno (OEC), estructuras responsables de la fotólisis del agua y del inicio del flujo de electrones. El deterioro de estas estructuras reduce la capacidad de la hoja para utilizar la energía luminosa captada, lo que se traduce en una disminución progresiva de la tasa fotosintética neta.

Este resultado adquiere especial relevancia al considerar que Vizuite *et al.*

(2024) identificaron temperaturas anuales de 18– 26 °C entre las condiciones asociadas con áreas de diferente aptitud agroecológica para el cacao en la Amazonía ecuatoriana. Sin embargo, dicho intervalo describe condiciones de aptitud territorial y no debe confundirse con una temperatura óptima instantánea para la fotosíntesis.

Respuesta diferencial del aparato fotosintético

La figura 1 muestra que la respuesta fotosintética del cacao frente a la temperatura es no lineal y depende del proceso fisiológico evaluado. La curva A indica que el aparato fotosintético alcanza su máximo alrededor de 25,6 °C, asociado con mayores valores de fluorescencia variable/fluorescencia máxima y mayor eficiencia del fotosistema II. La curva B alcanza su máximo aproximadamente a 33 °C para la asimilación de dióxido de carbono. A partir de 30 °C se señala una zona de estrés térmico, caracterizada por una reducción progresiva de la fotosíntesis, cierre estomático y afectación del fotosistema II.

La comparación permite distinguir dos escalas de análisis: mientras las condiciones agroecológicas determinan la ap-

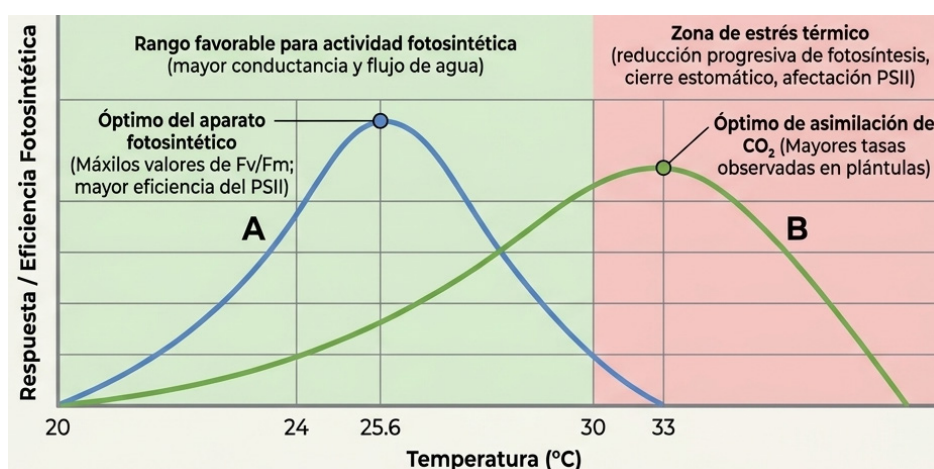


Figura 1: Respuesta diferencial de los procesos fotosintéticos del cacao frente al incremento de la temperatura.

titud general del territorio, los resultados fisiológicos obtenidos en el presente análisis permiten identificar ventanas térmicas asociadas con procesos específicos de la actividad fotosintética.

En este contexto, el resultado obtenido coincide parcialmente con Mateus *et al.* (2023), quienes encontraron que, bajo un déficit de presión de vapor constante de 0,9 kPa, el incremento de la temperatura desde 31/22 hasta 36/27 °C no produjo necesariamente una disminución inmediata de la asimilación neta de CO₂ en los genotipos SCA 6 y PA 107. Por el contrario, las tasas de asimilación, transpiración y conductancia estomática aumentaron con la temperatura. Sin embargo, el incremento térmico sí estuvo acompañado por reducciones en la masa seca y el área foliar.

Este contraste resulta fundamental para interpretar el presente análisis. Una temperatura que mantiene o incluso incrementa temporalmente la asimilación de CO₂ no necesariamente representa una condición óptima para el crecimiento integral de la planta. Mateus *et al.* (2023) también demostraron que la respuesta fotosintética y la respuesta del crecimiento pueden desacoplarse bajo temperaturas elevadas. Por ello, el intervalo de 30-33 °C identificado en este estudio debe interpretarse como una ventana asociada con elevada asimilación bajo determinadas condiciones, y no como una temperatura universalmente óptima para el desarrollo y productividad del cacao.

La evidencia de Baque *et al.* (2024) también respalda la existencia de una respuesta fisiológica dependiente de la temperatura y la radiación. Estos autores analizaron conjuntamente ambos factores y mostraron que la respuesta fisiológica del cacao cambia conforme se modifica la dis-

ponibilidad energética y térmica. Los resultados obtenidos permiten plantear que la temperatura actúa como un regulador de la actividad fotosintética, pero su efecto final depende de las condiciones ambientales bajo las cuales ocurre.

Temperatura, radiación y funcionamiento fotoquímico

Al aumentar la temperatura por encima del intervalo favorable identificado para determinados procesos, la respuesta fisiológica adquiere una mayor sensibilidad. Sin embargo, el análisis no respalda la utilización de 30 °C como un punto de ruptura absoluto. Por encima de este valor, la respuesta depende de la interacción con la radiación, el déficit de presión de vapor, el estado hídrico y la capacidad de aclimatación del genotipo (Tabla 2).

Esta interpretación es consistente con los resultados de Suárez *et al.* (2026), quienes encontraron diferencias importantes entre genotipos de cacao en eficiencia fotoquímica, transporte electrónico, disipación no fotoquímica y capacidad de mantener la funcionalidad fotosintética bajo las condiciones naturales de campo.

Algunos genotipos mostraron mayor estabilidad del fotosistema II frente a combinaciones de elevada temperatura y radiación, mientras que otros presentaron mecanismos diferenciales de fotoprotección. Por consiguiente, el incremento de temperatura no debe interpretarse de manera independiente de la capacidad fisiológica del material vegetal para disipar o utilizar la energía absorbida.

Los resultados muestran además la influencia de la radiación y cómo esta modifica la interpretación de la respuesta térmica, donde, una elevada disponibilidad de energía luminosa puede favorecer la foto-

Tabla 2.
Interacción entre radiación y temperatura sobre la respuesta fotosintética del cacao.

Condición de radiación y temperatura	Respuesta fisiológica asociada
Baja radiación (400–600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), independiente de la temperatura	Conductancia estomática relativamente alta y estable; menor riesgo de estrés térmico agudo
Alta radiación (800–1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con temperatura óptima y sombreado/aclimatación	Mantenimiento de tasas fotosintéticas altas en campo
Alta radiación ($> 800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) combinada con temperatura elevada	Intensificación abrupta del estrés; fotoinhibición y daño estructural del aparato fotosintético

síntesis cuando existe suficiente capacidad bioquímica para utilizarla; sin embargo, cuando coincide con temperaturas elevadas y una mayor demanda evaporativa, puede incrementarse la presión sobre el aparato fotosintético. Por tanto, el escenario de mayor riesgo no corresponde necesariamente a la temperatura máxima registrada de forma aislada, sino a la coincidencia de temperatura elevada, elevada radiación y aumento de la demanda atmosférica de agua.

Los resultados de Leiva *et al.* (2024) permiten reforzar esta interpretación, ya que la respuesta a la radiación mostró diferencias entre los clones CCN51, FSV41 y LK40. Asimismo, Da Vitória *et al.* (2026) encontraron respuestas diferenciales de la eficiencia fotoquímica y de los carbohidratos foliares entre genotipos sometidos a diferentes regímenes de luz y sistemas de cultivo. En consecuencia, la cantidad de radiación incidente no puede clasificarse de manera universal como favorable o perjudicial; su efecto depende de la capacidad del genotipo y del sistema de cultivo para aprovechar, disipar o regular la energía absorbida.

En condiciones de elevada radiación y temperatura, la alteración del balance entre energía absorbida y energía utilizada puede incrementar la necesidad de mecanismos fotoprotectores. Suárez *et al.* (2026) demostraron que los genotipos de cacao presentan estrategias diferentes de fotoprotección, incluyendo variaciones en la disipación no fotoquímica y en la capacidad de mantener la eficiencia fotoquímica. De manera complementaria, Da Vitória *et al.* (2026) observaron que la respuesta fotoquímica y el metabolismo de carbohidratos varían entre genotipos y sistemas de cultivo. Estos resultados respaldan la interpretación de que el riesgo fisiológico asociado con la temperatura elevada depende tanto de la magnitud del estrés como de la capacidad de respuesta del material vegetal.

De la respuesta fotosintética al riesgo productivo

La figura 2 resume la interacción entre la fotosíntesis y el riesgo productivo y permite establecer que la temperatura debe analizarse conjuntamente con la radiación; cuando ambas variables aumentan simultáneamente, la hoja puede enfren-

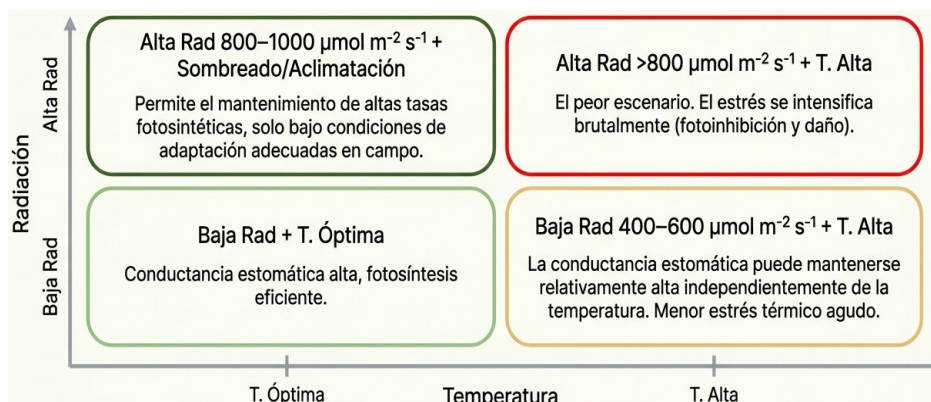


Figura 2: Interacción entre radiación y temperatura en la respuesta fotosintética del cacao.

tar una mayor carga energética y térmica, mientras que el incremento de la demanda evaporativa puede favorecer una reducción de la conductancia estomática. Esta combinación puede limitar la entrada de CO_2 y modificar la capacidad de utilización de la energía absorbida.

La relación entre las respuestas fisiológicas identificadas y el rendimiento debe interpretarse mediante una secuencia causal y no como una equivalencia directa. Una reducción de la conductancia estomática puede disminuir la disponibilidad interna de CO_2 y limitar la fijación de carbono; simultáneamente, una elevada temperatura y radiación pueden aumentar la demanda de mecanismos de protección fotoquímica. Si estas condiciones persisten y superan la capacidad de aclimatación de la planta, la reducción de la actividad fotosintética puede disminuir la disponibilidad de fotoasimilados destinados al crecimiento y desarrollo reproductivo.

Estos resultados sugieren que la ventana térmica favorable del cacao, relativamente estrecha, enfrenta un riesgo creciente de ser superada bajo el escenario actual de El Niño 2026–2027, particularmente durante los periodos de mayor in-

solación entre eventos de lluvia, cuando la combinación de temperatura elevada y alta radiación podría replicar las condiciones de estrés fotoquímico descrito (Figura 3). Lo que refuerza la pertinencia de estrategias de manejo agroforestal, como el sombreado parcial inferior al 30 %, en tanto amortiguador biofísico frente a la variabilidad térmica proyectada para el bienio 2026–2027.

En este punto, resulta necesario diferenciar entre una respuesta fisiológica puntual y una pérdida de rendimiento. Lander *et al.* (2025), mediante un análisis global de sistemas de producción de cacao en Brasil, Ghana e Indonesia, encontraron que una reducción de aproximadamente 7 °C durante la estación cálida podía incrementar sustancialmente el rendimiento, con aumentos de hasta 31 %. Además, identificaron relaciones negativas entre temperaturas elevadas y producción, evidenciando que las condiciones térmicas pueden trascender el nivel foliar y manifestarse en la productividad del cultivo.

Sin embargo, el rendimiento no depende exclusivamente de la fotosíntesis. Lander *et al.* (2025) también demostraron la importancia de la polinización y de los recursos disponibles para la planta, lo que

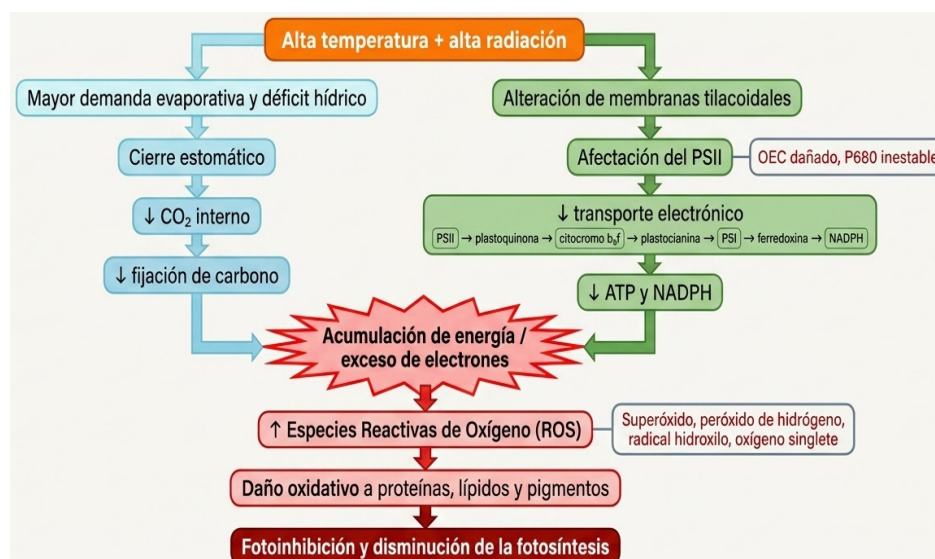


Figura 3: Mecanismos fisiológicos asociados al estrés térmico y sus posibles efectos sobre el rendimiento del cacao.

confirma que la producción final resulta de la interacción entre múltiples procesos. Por ello, los resultados del presente estudio deben interpretarse como evidencia de vulnerabilidad fisiológica potencial, no como una estimación directa de pérdidas productivas asociadas a una determinada temperatura.

Esta variabilidad constituye una oportunidad para la adaptación. Ceccarelli *et al.* (2024), mediante modelos de distribución climática para Ecuador, proyectaron modificaciones importantes en las áreas adecuadas para el cultivo de cacao bajo escenarios futuros y señalaron la necesidad de promover genotipos con mayor capacidad de adaptación.

Implicaciones para El Niño 2026–2027

La utilidad predictiva del análisis se establece al contrastar las ventanas fisiológicas identificadas con las condiciones climáticas asociadas al desarrollo de El Niño durante 2026–2027. En este contexto, se debe considerar como un forzante climático capaz de modificar el régimen térmico y otras variables ambientales, pero no como

una causa que determine de manera directa una temperatura foliar específica.

Esta distinción es particularmente importante para evitar una interpretación lineal del fenómeno. La intensidad de El Niño, expresada mediante anomalías de temperatura superficial del océano Pacífico, no equivale directamente a un incremento de igual magnitud en la temperatura del aire sobre las plantaciones. Por ello, la evaluación del riesgo fisiológico debe realizarse mediante variables que tengan una relación más directa con el funcionamiento foliar.

González *et al.* (2025) aportan evidencia particularmente relevante para esta interpretación, al encontrar señales de disminución de la productividad primaria bruta asociadas con eventos de ENSO en zonas cacaoteras de tierras bajas de América Latina. Este resultado respalda la pertinencia de considerar la actividad fotosintética como una variable sensible a la variabilidad climática asociada con ENSO, aunque no permite atribuir las modificaciones observadas exclusivamente a la temperatura.

Asimismo, Gurazada *et al.* (2026) demostraron que ENSO puede favorecer la ocurrencia de extremos térmicos asociados con diferentes condiciones de humedad en tierras agrícolas a escala global. Esta evidencia refuerza la necesidad de analizar el riesgo mediante la combinación de variables ambientales y no mediante un único indicador climático, para el cacao ecuatoriano resulta más apropiado vigilar simultáneamente la temperatura máxima, la temperatura foliar, el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa.

A partir de los resultados obtenidos, se propone la siguiente clasificación operativa (Tabla 3) para el seguimiento del riesgo fisiológico durante El Niño 2026–2027:

Tabla 3.
Indicadores climáticos propuestos para la vigilancia de la respuesta fotosintética del cacao durante El Niño 2026–2027

Indicador (Unidad)	Condición favorable	Vigilancia	Alerta fisiológica
Temperatura máxima (°C)	≤ 30	30–33	> 33
Anomalía térmica (°C)	≤ +1	+1 a +2	> +2
Temperatura foliar (°C)	24–30	30–33	> 35
Déficit de presión de vapor (kPa)	0,5–1,5	1,5–2,0	> 2,0
Radiación fotosintéticamente activa (μmol m ⁻² s ⁻¹)	300–800	800–1200	> 1200

Para las zonas productoras de Ecuador, esta interacción adquiere especial importancia. Vizuite *et al.* (2024) demostraron que la aptitud agroecológica del cacao depende de la integración de variables térmicas, hídricas, edáficas y topográficas. Por tanto, una modificación del régimen climático durante El Niño puede alterar simultáneamente diferentes componentes del ambiente productivo. La temperatura debe interpretarse conjuntamente con la disponi-

La utilidad de esta clasificación radica en identificar combinaciones ambientales potencialmente críticas. Así, una temperatura máxima superior a 33 °C no debería interpretarse automáticamente como evidencia de daño fisiológico; su relevancia aumenta cuando coincide con temperaturas foliares elevadas, déficit de presión de vapor alto y radiación intensa. Esta aproximación es coherente con los resultados de Mateus *et al.* (2023), quienes demostraron que la respuesta térmica del cacao puede cambiar sustancialmente cuando el déficit de presión de vapor se mantiene bajo control, y con Suárez *et al.* (2026), quienes evidenciaron diferencias genotípicas en la respuesta a condiciones de elevada temperatura y radiación.

bilidad de agua y las condiciones del suelo, especialmente en sistemas donde pueden coexistir periodos de elevada humedad con episodios de elevada demanda atmosférica.

En este sentido, la respuesta esperada en la zona ecuatoriana no debería extrapolarse directamente desde regiones productoras donde El Niño se manifiesta principalmente mediante déficit hídrico. La combinación entre temperatura, precipitación, humedad del suelo, radiación y enfer-

medades puede generar trayectorias fisiológicas diferentes. El presente análisis, por tanto, no plantea que El Niño produzca necesariamente un único tipo de estrés, sino que establece las condiciones bajo las cuales el incremento térmico podría adquirir mayor importancia para el funcionamiento fotosintético.

Implicaciones para el manejo y la adaptación

Los resultados obtenidos también permiten interpretar el sombreado como una herramienta de regulación microclimática, más que como una estrategia destinada simplemente a reducir la radiación. Heming *et al.* (2022) demostraron que los sistemas agroforestales se puede reducir la temperatura máxima diaria hasta aproximadamente 6 °C respecto de plantaciones sin sombra, disminuyendo la exposición térmica del cultivo.

De manera complementaria, Stéphane *et al.* (2026) encontraron que el sombreado agroforestal puede mejorar la eficiencia potencial del fotosistema II, evaluada mediante Fv/Fm, bajo condiciones de estrés lumínico. Con ello se respalda la interpretación de que el manejo de la radiación puede contribuir a reducir la presión sobre el aparato fotosintético cuando las condiciones térmicas y lumínicas se vuelven desfavorables.

No obstante, el sombreado no debe plantearse como una solución universal. Una reducción excesiva de la radiación puede limitar la disponibilidad energética necesaria para la fotosíntesis, mientras que una cobertura insuficiente puede dejar al cultivo expuesto a temperaturas foliares y cargas radiactivas elevadas. Leiva *et al.* (2024) y Da Vitória *et al.* (2026) muestran que la respuesta a la luz depende del clon

o genotipo y del sistema de cultivo. Por lo cual, la regulación del sombreado debe orientarse a mantener un balance entre protección térmica y disponibilidad lumínica.

En conjunto, los resultados muestran que la respuesta térmica del cacao presenta una naturaleza no lineal y dependiente del proceso fisiológico. La máxima eficiencia potencial del fotosistema II se sitúa alrededor de 25,6 °C, mientras que la mayor asimilación neta de CO₂ se ubica aproximadamente entre 30 y 33 °C bajo las condiciones analizadas. Esta diferencia demuestra que no existe una única temperatura que pueda representar por sí misma el óptimo fisiológico del cacao.

La evidencia contrastada con Mateus *et al.* (2023), Leiva *et al.* (2024), Baque *et al.* (2024), Lander *et al.* (2025), Suárez *et al.* (2026) y Da Vitória *et al.* (2026) indica además que la respuesta térmica se encuentra modulada por la radiación, el déficit de presión de vapor, el estado hídrico, el genotipo y la capacidad de aclimatación. El riesgo asociado con El Niño para la temporada 2026–2027 debe evaluarse a partir de la coincidencia de condiciones ambientales, y no mediante un único umbral térmico.

Al contrastar estos umbrales fisiológicos con el escenario climático asociado con El Niño durante 2026–2027, se plantea un panorama de particular atención para el cacao cultivado en la costa ecuatoriana. Los pronósticos climáticos más recientes coinciden en que el evento alcanzaría una intensidad muy fuerte, con anomalías de temperatura superficial del mar en la región que podrían aproximarse a 3–3,5 °C durante su punto álgido, previsto entre octubre de 2026 y los primeros meses de 2027. De confirmarse, este evento superaría en magnitud al registrado en 2015–2016, hasta ahora el más intenso de la serie histórica del Índice Oceánico Niño.

De hecho, eventos de El Niño de fuerte intensidad se han asociado con reducciones de hasta el 40 % en la producción nacional de cacao, lo que resulta consistente con la vulnerabilidad fisiológica descrita en los resultados de este estudio, aun cuando la vía dominante de afectación combine el estrés térmico con el exceso hídrico y no únicamente con la sequía.

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que la respuesta térmica del cacao no responde a un único óptimo fisiológico, sino a una serie de ventanas térmicas específicas según el proceso evaluado: la conductancia estomática se favorece entre 20 y 30 °C, la eficiencia potencial del fotosistema II alcanza su máximo entre 24,1 y 25,6 °C, y la asimilación neta de CO₂ se optimiza entre 30 y 33 °C, no constituyendo un punto de

ruptura absoluto, sino que la vulnerabilidad fisiológica del cultivo depende de la interacción simultánea entre radiación, déficit de presión de vapor, disponibilidad hídrica y capacidad de aclimatación del genotipo.

Frente al escenario de El Niño 2026-2027, pronosticado como un evento de intensidad muy fuerte, estos hallazgos indican que el riesgo para el cacao ecuatoriano no puede evaluarse mediante un único umbral térmico, sino mediante la vigilancia conjunta de indicadores como la temperatura foliar, el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa.

El manejo agroforestal mediante sombreado parcial se plantea como una estrategia de adaptación pertinente, aunque su efectividad requerirá validación específica por genotipo y sistema de cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baque, E., Ceme, G., y Jaimez, R. (2024). Efecto de la temperatura y la radiación sobre la respuesta fisiológica del cacao (*Theobroma cacao* L.): Estrategias de mejoramiento. *Ciencia y Tecnología*, 17(1), 24–32. <https://doi.org/10.18779/cyt.v17i1.713>
- Benjamín, C., Dias, L., Martins, S., Aucique-Perez, C., y Rosmaninho, L. (2025). Unlocking the potential of cacao yield with full sun cultivation. *Scientific Reports*, 15, 4368. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87793-z>
- Ceccarelli, V., Fremout, T., Chavez, E., Argüello, D., Llor Solórzano, R., Sotomayor, I. A., y Thomas, E. (2024). Vulnerability to climate change of cultivated and wild cacao in Ecuador. *Climatic Change*, 177, 103. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03756-9>
- Da Vitória, J., de Souza, V., Tercio, A., Cezario, M., da Silva, C., Nascimento de Santana, E., Tesch, K., de Oliveira, L., Machado, J., Batista, R., Spaggiari, C., Romais, E., y Dousseau-Arantes, S. (2026). Photochemical efficiency and leaf carbohydrates of *Theobroma cacao* L. genotypes under different light regimes and cultivation systems. *Plants*, 15(2), 297. <https://doi.org/10.3390/plants15020297>
- Dhamira, A., y Anggrasari, H. (2024). Indonesian climatic factors and its effect on cocoa productivity. *West Science Interdisciplinary Studies*, 2(5), 963–974. <https://doi.org/10.58812/wsis.v2i05.873>

- Fleitas, M., Guarnizo, D., Balarezo-Saltos, L., y Benitez, T. (2026). Retos actuales del manejo integrado de plagas en la era del cambio climático. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 5(1), 84–96. <https://doi.org/10.57107/hyw.v5i1.107>
- González-González, A., Quesada, B., Clerici, N., y Fernández-Manjarrés, J. (2025). Gross primary productivity analyses suggest higher ENSO-mediated impacts in lowland cacao areas compared to mountain coffee regions in Latin America. *Scientific Reports*, 15, 39136. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27292-3>
- Gurazada, M., Abatzoglou, J., y Singh, D. (2026). ENSO's influence on co-occurring hot-dry and hot-wet extremes across global croplands. *Environmental Research Letters*, 21, 054018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ae4a3d>
- Heming, N., Schroth, G., Talora, D., y Faria, D. (2022). Cabruca agroforestry systems reduce vulnerability of cacao plantations to climate change in southern Bahia. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 48. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00780-w>
- Ibe, O., Nduka, B., Adejobi, K., y Ayegboyin, K. (2024). Surface temperature changes and effects on cocoa yield in the top four cocoa producing countries of Africa: A comparative analysis. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2024/v11i4335>
- Kamil, N., Xiao, S., Syed, S., Xu, H., y Zhuang, C. (2024). Nonlinear impacts of climate anomalies on oil palm productivity. *Heliyon*, 10(15), e35798. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35798>
- Lander, T. A., Atta-Boateng, A., Toledo-Hernández, M., Wood, A., Malhi, Y., Solé, M., Tschardtke, T., y Wanger, T. (2025). Global chocolate supply is limited by low pollination and high temperatures. *Communications Earth & Environment*, 6, 97. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02072-z>
- Leiva, E., Hernández, C., y Ramírez, R. (2024). Application of photosynthesis models to determine light requirements in three cacao clones. *Ingeniería e Investigación*, 44(3), e107078. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.107078>
- Mateus-Rodríguez, J., Lahive, F., Hadley, P., y Daymond, A. (2023). Effects of simulated climate change conditions of increased temperature and [CO₂] on the early growth and physiology of the tropical tree crop, *Theobroma cacao* L. *Tree Physiology*, 43(12), 2050–2063. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpad116>
- Obahoundje, S., Tilahun, S., y Schmitter, P. (2026). Climate–yield interactions in West Africa: Machine learning insights for cocoa production in Ghana and Côte d'Ivoire. *PLOS Climate*, 5(7), e0000970. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000970>
- Suárez, J., Vanegas, J., y Leite, F. (2026). Understanding mechanistic responses underlying diurnal photoprotection and photosynthetic plasticity among cacao genotypes under natural Amazonian field conditions. *PLOS ONE*, 21(6), e0351655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0351655>

- Tullu, G., y Habtegebreal, A. (2025). The effects of ENSO phenomenon on rainfall and crop yield in the Arsi zone, Ethiopia. *International Journal of Agricultural and Applied Sciences*, 6(1), 7–16. <https://doi.org/10.52804/ijaas2025.612>
- Vizuite-Montero, M., Figueroa-Saavedra, H., Barbaru-Grajales, A., Zapata-Mayorga, H., Herrera-Ocaña, H., y Moya, W. (2024). Physio-edaphoclimatic factors show optimal soil suitability for three tropical crops in the Ecuadorian Amazon. *Scientia Agricola*, 81, e20220214. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2022-0214>

Declaración de roles de autores:

- Mario Fleitas Díaz: Conceptualización; metodología, revisión, edición final y administración del proyecto.
- Dalton Michel Guarnizo Crespo: análisis formal; metodología; redacción, estadística y edición.
- Mayra Magali Cuenca Zambrano: Obtención de financiación, investigación, análisis de datos y borrador original.
- Talhita Benitez Pardillo: Borrador original, redacción, análisis de datos, supervisión y edición final.
- José Valdivia Fernández Dávila: Investigación, redacción, análisis de datos y borrador original.

Estructura y composición florística del bosque de *Polylepis weberbaueri* en Paríamarca Alto, Huancabamba – Piura

Structure and Floristic Composition of the Polylepis weberbaueri Forest in Paríamarca Alto, Huancabamba–Piura

 Manuela V. Cuya-Bueno¹

 Jesús M. Charcape-Ravelo¹

 Vicky A. Correa-Seminario²

 José Mostacero-León³

jcharcaper@unp.edu.pe 

1.- Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú

2.- Universidad de Barcelona. Barcelona, España

3.- Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

Recibido: 03/03/2026

Revisado: 17/04/2026

Aceptado: 25/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

Los bosques relictos de *Polylepis* constituyen formaciones altoandinas de elevada importancia ambiental y de distribución fragmentada. El objetivo de este estudio fue caracterizar la estructura horizontal y vertical, así como describir la composición florística del bosque dominado por *Polylepis weberbaueri* en Paríamarca Alto, distrito de Huancabamba, Piura, Perú. El área de estudio correspondió al predio “La Ovejería”, con 12 ha y un rango altitudinal de 2980–3012 msnm. Se evaluaron 10 parcelas rectangulares de 25 × 10 m, seleccionadas mediante un diseño sistemático no alineado; en cada parcela se registraron los individuos leñosos con diámetro ≥ 5 cm según el protocolo del documento fuente. La estructura horizontal se describió mediante densidad, frecuencia, dominancia e índice de valor de importancia (IVI), y la estructura vertical mediante clases de altura y diámetro. El inventario estructural sumó 1,132 individuos, de los cuales 985 correspondieron a *P. weberbaueri*, 76 a *Baccharis* spp. y 71 a *Oreocallis grandiflora*, con una densidad total de 4,528 ind. ha⁻¹. *P. weberbaueri* presentó 87.01 % de la densidad relativa, 90.25 % de la dominancia relativa y un IVI de 214.30 %. La distribución diamétrica mostró una fuerte concentración de individuos en las clases menores y una tendencia exponencial decreciente. La composición florística reportó 48 especies, 46 géneros y 26 familias, con predominio de las Asteraceae. La relación entre altura y DAP presentó un ajuste lineal muy alto cuando se analizaron los promedios por clase diamétrica ($R^2=0.9948$). Los resultados describen un rodal estructuralmente dominado por *P. weberbaueri* y con una composición acompañante diversa; sin embargo, la interpretación de regeneración debe considerarse inferencial y requiere monitoreo demográfico para confirmarse.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) International License

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;59-69

Palabras clave: Bosque relicto; estructura horizontal; estructura vertical; flora altoandina; índice de valor de importancia; Rosaceae.

ABSTRACT

Relict *Polylepis* forests are high-Andean formations of high ecological importance and highly fragmented distribution. The aim of this study was to characterize the horizontal and vertical structure and to describe the floristic composition of a *Polylepis weberbaueri* dominated forest in Paríamarca Alto, Huancabamba District, Piura, Peru. The study area comprised the “La Ovejera” property, covering 12 ha at 2980–3012 m a.s.l. Ten rectangular plots of 25 × 10 m were evaluated using a non-aligned systematic sampling design. Woody individuals with diameter ≥ 5 cm were recorded according to the source protocol. Horizontal structure was described through density, frequency, dominance and importance value index (IVI), while vertical structure was described using height and diameter classes. The structural inventory comprised 1,132 individuals: 985 *P. weberbaueri*, 76 *Baccharis* spp. and 71 *Oreocallis grandiflora*, equivalent to a total density of 4,528 ind. ha⁻¹. *P. weberbaueri* represented 87.01 % of relative density, 90.25 % of relative dominance and an IVI of 214.30 %. Diameter distribution was strongly concentrated in the smallest classes and showed a decreasing exponential pattern. Floristic composition comprised 48 species, 46 genera and 26 families, with Asteraceae as the richest family. Height and diameter showed a very high linear fit when class means were analyzed ($R^2=0.9948$). The results describe a forest structurally dominated by *P. weberbaueri* and accompanied by a diverse flora; however, the interpretation of regeneration should be regarded as inferential and requires demographic monitoring for confirmation.

Keywords: Relict forest; horizontal structure; vertical structure; Andean flora; importance value index; Rosaceae.

INTRODUCCIÓN

El Perú presenta una elevada diversidad biológica asociada a la complejidad fisiográfica y climática de su territorio. En los Andes, esta heterogeneidad origina mosaicos de pajonales, matorrales, bosques montanos y formaciones boscosas de distribución restringida. Entre estas últimas destacan los bosques de *Polylepis*, que persisten como parches aislados y fragmentados en diferentes pisos altitudinales del sistema andino (Sagástegui *et al*, 2003 y Cordero, 2012).

Los bosques de *Polylepis* cumplen funciones ambientales relevantes como refugio para flora y fauna, protección del suelo y regulación local de la humedad. Su estructura y composición florística consti-

tuyen indicadores útiles para valorar el estado de conservación de los rodales y establecer líneas base para manejo, restauración y monitoreo. El documento fuente señala que en Paríamarca Alto existen remanentes de *Polylepis weberbaueri* sometidos a fragmentación, agricultura y pastoreo, con presencia adicional de especies arbóreas y arbustivas asociadas (Servat *et al.*, 2002).

En el norte del Perú, y particularmente en Piura, los estudios florísticos y estructurales de bosques de *Polylepis* son menos frecuentes que en los Andes centro-sur. Esta escasez de información limita la comparación entre rodales, el seguimiento de su dinámica y la identificación de prioridades de conservación. El estudio de Paríamarca

Alto aporta, por tanto, una caracterización local de la estructura forestal y de la flora acompañante (ECOAN, 2006 y Sevillano, 2010).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la estructura horizontal y vertical y describir la composición florística del bosque de *Polylepis weberbaueri* de Paríamarca Alto, Huancabamba, Piura, mediante indicadores dendrométricos y un inventario de la flora vascular acompañante.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El caserío de Paríamarca se localiza en el sector norte del distrito de Huancabamba, provincia de Huancabamba, región Piura. El documento fuente distingue Paríamarca Bajo, Paríamarca Centro y Paríamarca Alto; para este estudio se evaluó el sector de Paríamarca Alto. La zona de estudio correspondió al predio “La Ovejería”, con una superficie de 12 ha, localizado entre 2980 y 3012 m s. n. m. y descrito como un mosaico de colinas, penillanuras y áreas intervenidas por cultivos y pastoreo. Las coordenadas UTM reportadas en la fuente son Este 659700 y Norte 9430173.

Descripción botánica

Polylepis weberbaueri Pilg. 1906, es un arbusto o árbol pequeño de aproximadamente 3–7 (12) m de altura, con ritidoma de color marrón rojizo. La vaina estipular es densamente pubescente, de aspecto lanoso. Las hojas están fuertemente agrupadas en los extremos de las ramas y son imparipinnadas, generalmente con 3–4 pares de folíolos; el pecíolo mide 0,2–0,6 cm de largo y es panoso a densamente lanoso. El raquis presenta los entrenudos densamente pubescentes y, en los puntos de inserción de los folíolos, se observa un penacho de pelos, algunos de ellos glandulares. Los fo-

líolos son ligeramente ovados, obovados u oblongos, de 0,7–1,5 × 0,5–1,5 cm, con la base desigualmente cordada, ápice emarginado y margen entero, fuertemente revolutos; el envés es densamente panoso y el haz ligeramente piloso, principalmente en la depresión de la vena media. La inflorescencia es un racimo simple, de aproximadamente 2–8 cm de longitud, con 4–10 flores; las brácteas florales miden 3–4 mm de largo y son ligeramente lanosas a glabrescentes (Simpson 1979; Mendoza y Cano, 2011 y Mendoza y Cano 2012).

Diseño de muestreo y unidades de evaluación

Se empleó un diseño sistemático no alineado. El área de 12 ha fue delimitada sobre imágenes satelitales y subdividida en una cuadrícula de 25 × 25 m. Los puntos de muestreo se seleccionaron de manera aleatoria y se instalaron 10 parcelas rectangulares de 25 × 10 m (250 m²), orientadas perpendicularmente a la pendiente. El área total muestreada fue de 2500 m², equivalente a 0,25 ha (Czaplewski *et al.*, 2004).

El tamaño de muestra se determinó a partir de un muestreo piloto de 10 parcelas. Con $t=2,262$, $CV=27,4\%$ y error de muestreo $E=20\%$, la expresión $n=t^2(CV)^2/E^2$ produce $n=9,60$; en consecuencia, el número de unidades se redondea a 10 parcelas. Esta formulación sustituye la interpretación original de “9 parcelas + 10 % de seguridad” (CATIE, 2000 y MINAM, 2014).

Registro dendrométrico

En cada parcela se registraron los individuos leñosos con diámetro ≥ 5 cm. El DAP se tomó a 1,30 m del suelo siguiendo criterios dendrométricos para fustes normales, bifurcados, inclinados o con defectos. La altura total se estimó con cli-

nómetro y distancia horizontal. En el documento fuente, los individuos pequeños o arbustivos fueron medidos a 0,70 m; esta medición no es estrictamente equivalente al DAP convencional y, por tanto, debe reportarse como diámetro a 0,70 m en análisis futuros o manejarse por separado (Villa y Ramírez, 2005).

Estructura horizontal

La estructura horizontal se caracterizó mediante densidad absoluta (ind. ha⁻¹), densidad relativa (%), frecuencia absoluta, frecuencia relativa, área basal, dominancia relativa e índice de valor de importancia (IVI). El IVI se calculó como la suma de la densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa, con un máximo teórico de 300 % para una especie en una comunidad con los tres componentes expresados en porcentaje (UNEP-WCMC, 2004).

El área basal individual se calculó como $AB = \pi(DAP^2/4)$, y el área basal de cada especie como la suma de las áreas basales individuales. La dominancia relativa se obtuvo como la proporción del área basal de cada especie respecto al área basal total (Palacios, 2002).

Estructura vertical y distribución diamétrica

La distribución diamétrica se agrupó en clases de amplitud 3 cm, con intervalos desde 4–7 cm hasta 36–39 cm. La distribución de altura se agrupó en clases de 1 m. La forma de las distribuciones se interpretó descriptivamente, evitando equiparar una estructura diamétrica decreciente con prueba directa de regeneración. La relación entre DAP y altura se evaluó mediante un modelo lineal sobre los valores medios por clase diamétrica reportados en la fuente (Cortés, 2003).

Composición florística

La flora acompañante se documentó mediante colecta de ejemplares botánicos, prensado y posterior determinación. Los ejemplares fueron depositados y mantenidos en custodia en las colecciones de la Universidad Nacional de Piura y de la Universidad Nacional de Trujillo.

Tratamiento estadístico

Se utilizaron estadísticos descriptivos para las variables dendrométricas y se generaron distribuciones de frecuencia. El modelo lineal entre altura y DAP se reporta mediante R^2 . No se realizaron pruebas inferenciales de diferencias entre parcelas o especies en el documento fuente; en consecuencia, el manuscrito evita afirmar significancia estadística donde no fue evaluada (Cancino, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de la muestra y esfuerzo de muestreo

Se evaluaron 10 parcelas rectangulares de 25 × 10 m (250 m²), orientadas perpendicularmente a la pendiente, en el predio “La Ovejera”, Pariamarca Alto, Huancabamba, Piura. El área total muestreada fue de 2500 m², equivalente a 0,25 ha. El diseño sistemático no alineado y el tamaño de muestra se justifican a partir de un muestreo piloto con $t = 2,262$; $CV = 27,4$ % y $E = 20$ %, lo que produjo $n = 9,60$ redondeado a 10 parcelas (Czaplewski *et al.*, 2004; CATIE, 2000 y MINAM, 2014).

El inventario estructural sumó 1132 individuos (985 *Polylepis weberbaueri*, 76 *Baccharis* spp. y 71 *Oreocallis grandiflora*), equivalentes a una densidad total de 4528 ind. ha⁻¹. La densidad total reportada (4528 ind. ha⁻¹) proviene de las densidades

Tabla 1.

Individuos y densidad por parcela

Parcela	Individuos	Densidad (ind. ha ⁻¹)
P1	121	4 840
P2	70	2 800
P3	92	3 680
P4	131	5 240
P5	93	3 720
P6	177	7 080
P7	110	4 400
P8	86	3 440
P9	111	4 440
P10	140	5 600

específicas: 3 940 ind. ha⁻¹ de *P. weberbaueri*, 304 ind. ha⁻¹ de *O. grandiflora* y 284 ind. ha⁻¹ de *Baccharis* spp.

Distribución diamétrica de *Polylepis weberbaueri*

El DAP promedio reportado fue de 9 cm, con mediana de 8 cm y moda de 5

cm. El 94,2 % de los individuos se concentró entre 4 y 15 cm. La frecuencia disminuyó marcadamente hacia las clases diamétricas mayores, con un solo individuo en cada una de las clases 32–35 y 36–39 cm. Este patrón es compatible con una estructura poblacional dominada por individuos de pequeño diámetro, frecuentemente descrita

Tabla 2.

*Distribución diamétrica de *Polylepis weberbaueri**

Clase DAP (cm)	n	%	Densidad (ind. ha ⁻¹)
4–7	649	65,9	2 596
8–11	217	22,0	868
12–15	62	6,3	248
16–19	25	2,5	100
20–23	17	1,7	68
24–27	6	0,6	24
28–31	7	0,7	28
32–35	1	0,1	4
36–39	1	0,1	4

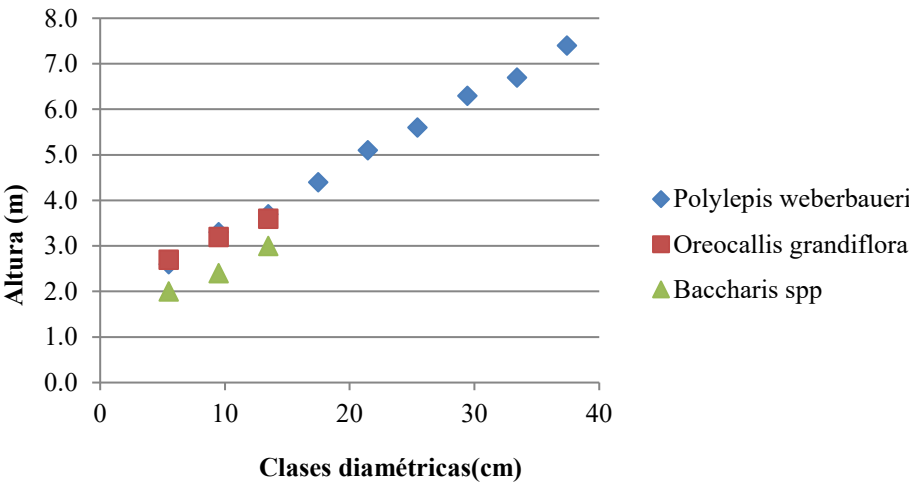


Figura 1: Promedio de clases diamétricas según el promedio de alturas de *Polylepis weberbaueri* “quinawiro” del caserío de Pariamarca alto.

en masas irregulares de *Polylepis* (Kessler, 2006). Sin embargo, una distribución transversal tipo “J invertida” puede ser compatible con reclutamiento continuo, pero no reemplaza la evaluación de plántulas, brinzales y tasas de transición entre clases (Araujo-Murakami *et al.*, 2005 y Araujo y Iturre, 2006).

Polylepis weberbaueri fue la especie estructuralmente dominante, con 87,01 % de la densidad relativa y 90,25 % de la dominancia relativa. *Oreocallis grandiflora* presentó 6,71 % de densidad relativa y 4,34 % de dominancia relativa, mientras que *Baccharis spp.* registró 6,27 % y 5,40 %, respectivamente. El IVI alcanzó 214,30

Tabla 3.
Estructura horizontal de las especies leñosas principales

Especie	Densidad (ind. ha ⁻¹)	Densidad relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Polylepis weberbaueri</i>	3 940	87,01	37,04	25,55	90,25	214,30
<i>Oreocallis grandiflora</i>	304	6,71	33,33	1,23	4,34	44,39
<i>Baccharis spp.</i>	284	6,27	29,63	1,53	5,40	41,31

% para *P. weberbaueri*, frente a 44,39 % para *O. grandiflora* y 41,31 % para *Baccharis* spp. El IVI se calculó como la suma de densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa, con un máximo teórico de 300 % para una especie en una comunidad con los tres componentes expresados en porcentaje (UNEP-WCMC, 2004). El área basal individual se calculó como $AB = \pi(DAP^2/4)$, y la dominancia relativa como la proporción del área basal de cada especie respecto al área basal total (Palacios, 2002).

La dominancia de *P. weberbaueri* es coherente con la condición de bosque dominado por *Polylepis* descrita para el sitio (Kessler, 2006; Servat et al., 2002). *Oreocallis grandiflora* y *Baccharis* spp. representan las principales especies leñosas acompañantes dentro del estrato evaluado. La presencia de claros, cultivos, pastoreo y especies introducidas señalada en la fuente es consistente con un paisaje fragmentado, pero la sola presencia de determinadas especies no debe emplearse como prueba causal de impacto antrópico sin indicadores independientes de disturbio (Grajales y Ramírez, 2005). Además, la identidad taxonómica de *P. weberbaueri* sigue los criterios de Simpson (1979), Mendoza y Cano (2011) y Mendoza y Cano (2012).

Estructura vertical

La altura media reportada fue de aproximadamente 3 m. El 61,62 % de los individuos se concentró entre 3 y 4 m, mientras que el 29,04 % correspondió a 1–2 m. Los individuos de 5–6 m representaron 8,83 % y los de 7–8 m, 0,51 %. Es más preciso hablar de cuatro clases de altura agrupadas en tres estratos descriptivos que de “cuatro estratos”. La estructura vertical muestra que la mayor parte de *P. weberbaueri* se sitúa entre 3 y 4 m, con un segundo contingente importante de 1–2 m. Los individuos de mayor altura son escasos, lo que sugiere una estructura de tamaño concentrada en individuos pequeños y medianos. Este resultado puede ser relevante para restauración y monitoreo, siempre que se complemente con mediciones de regeneración natural y mortalidad (Alvis, 2009).

Relación altura-DAP

Su usó el modelo $y = 0,1527x + 1,7485$, con $R^2 = 0,9948$, a partir de los valores medios de altura por clase diamétrica. El ajuste expresa la proporción de la varianza explicada por la regresión lineal entre los promedios de altura y DAP por clase. La relación positiva entre altura y DAP es biológicamente esperable; sin embargo, el ajuste $R^2 = 0,9948$ fue obtenido usando

Tabla 4.

Estructura horizontal de las especies leñosas principales

Clase de altura (m)	n	%	Densidad (ind. ha ⁻¹)
1–2	286	29,04	1 144
3–4	607	61,62	2 428
5–6	87	8,83	348
7–8	5	0,51	20

promedios de altura por clase diamétrica y no mediciones pareadas individuales. Por ello, el resultado debe interpretarse como una relación alométrica descriptiva del conjunto de clases, no como evidencia inferencial sobre todos los individuos del bosque (MINAM, 2011 y Cortés, 2003). La relación entre DAP y altura se evaluó mediante un modelo lineal sobre los valores medios por clase diamétrica.

Composición florística

La composición florística reportó 48 especies, 46 géneros y 26 familias, con predominio de las *Asteraceae*. Esta composición florística de 48 especies en 26 fami-

lias confirma que el rodal de *Polylepis* no constituye una comunidad monoespecífica. La alta riqueza de *Asteraceae* y la presencia de *Orchidaceae*, *Ericaceae*, *Lycopodiaceae* y otras familias reflejan un sotobosque y una flora acompañante que merecen considerarse en planes de conservación (Arce y Toivonen, 2002). Esta alta riqueza coincide con la diversidad florística del norte del Perú (Sagástegui *et al.*, 2003) y con la condición de bosque relictual andino (Cordero, 2012). Estudios previos en bosques de *Polylepis* de Piura son escasos (ECOAN, 2006 y Sevillano, 2010), por lo que esta caracterización local aporta una línea base para comparaciones futuras.

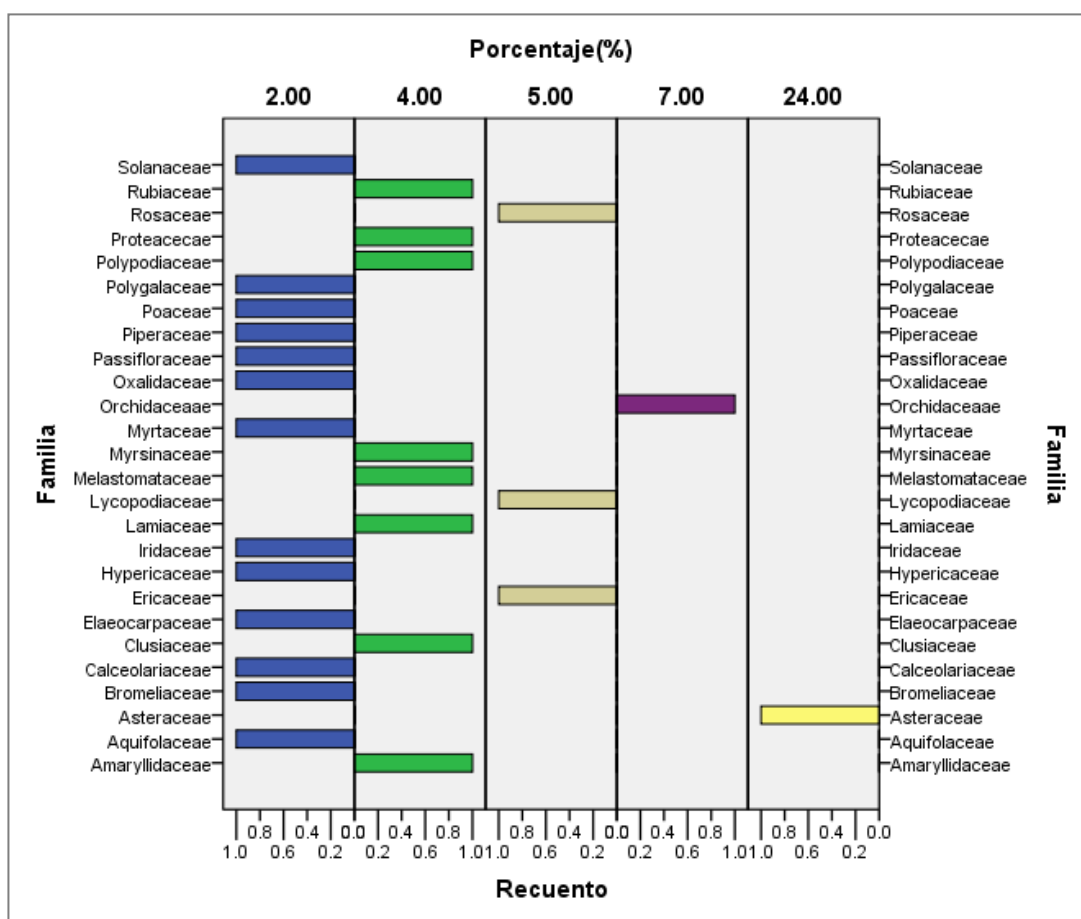


Figura 2: Porcentaje de individuos por familia del bosque de *Polylepis weberbaueri* “quinawiro”, del caserío de Pariamarca alto.

CONCLUSIONES

El bosque evaluado estuvo estructuralmente dominado por *Polylepis weberbaueri*, que presentó 3 940 ind. ha⁻¹, 87,01 % de densidad relativa, 90,25 % de dominancia relativa y el mayor IVI (214,30 %).

La distribución diamétrica se concentró en las clases de menor diámetro: 94,2 % de los individuos se ubicó entre 4 y 15 cm. Este patrón es compatible con una estructura de población con alta representación de individuos pequeños, pero no demuestra por sí mismo regeneración temporal.

La estructura de altura estuvo dominada por la clase 3–4 m (61,62 %), seguida por 1–2 m (29,04 %); los individuos de 5–8 m fueron escasos.

La flora registrada en el apartado de resultados comprendió 48 especies, 46 géneros y 26 familias, con Asteraceae como la familia más rica.

La relación entre los valores medios de altura y DAP por clase mostró un ajuste lineal elevado ($R^2=0,9948$), que debe interpretarse como una relación descriptiva entre clases y no como una correlación individual del 99,48 %.

El estudio establece una línea base útil para monitoreo del bosque de Paríamarca Alto, pero requiere la reconciliación de los conteos de individuos y la validación de la identidad de los taxones del anexo antes de su publicación.

RECOMENDACIONES

Implementar parcelas permanentes y monitorear anualmente reclutamiento, crecimiento y mortalidad para comprobar si la distribución diamétrica observada se mantiene en el tiempo.

Evitar usar DAP medido a 0,70 m como equivalente al DAP a 1,30 m; para estudios comparativos, separar ambas variables o estandarizar el protocolo.

Delimitar y cartografiar los fragmentos, claros, áreas agrícolas y zonas de pastoreo para relacionar la estructura forestal con gradientes de disturbio.

Incorporar variables ambientales como pendiente, cobertura de dosel, humedad del suelo y exposición para explicar la variación espacial de la estructura del bosque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Araujo, P., y Iturre, M. (2006). Ordenación de bosques irregulares. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales.
- Araujo-Murakami, A., Møller, P., Maldonado, C., Paniagua, N., Cardona, V., de la Quintana, D., Fuentes, A., Miranda, T. y Seidel, R. (2005). Estructura y diversidad de plantas leñosas en un bosque amazónico preandino en el sector del río Quendeque, Parque Nacional Madidi, Bolivia.
- Arce, R., y Toivonen, J. (2002). Estudio de los bosques del género *Polylepis* en el Santuario Histórico de Machupicchu. FANPE-INRENA.
- Cancino, J. (2006). Dendrometría básica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. http://www.sibudec.cl/ebook/UDEC_Dendrometria_Basica.pdf

- CATIE (2000). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE.
- Cordero, D. (2012). Una mirada integral a los bosques del Perú. UICN.
- Cortés, S. (2003). Estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el costado oriental de la serranía de Chía, Colombia. *Caldasia*, 25(1), 119–137.
- Czaplewski, R., McRoberts, R., y Tomppo, E. (2004). Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales. FAO–IUFRO.
- ECOAN. (2006). Evaluación de la biodiversidad en bosques de *Polylepis* de la región de Puno.
- Grajales, A y Ramírez, J. 2005. Trabajo de grado realizado para optar el título de ingenieros forestales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias Sede Medellín.
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Mendoza, W., y Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. Revista Peruana de Biología. https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332011000200011
- Mendoza, W., y Cano, A. (2012). El género *Polylepis* en el Perú: Taxonomía, morfología y distribución. Editorial Academia Española.
- MINAM, 2011. Guía de evaluación de Flora Silvestre. Lima-Perú. <https://goo.su/805D-fW>
- MINAM. (2014). Guía de inventario de la flora y vegetación. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://goo.su/yKezd>
- Palacios, W. (2002). Guía para estudios de flora y vegetación. Fundación Jatun Sacha/ Programa SUR.
- Sagástegui, A., Sánchez, I., Zapata, M., y Dillon, M. (2003). Diversidad florística del norte del Perú. Tomo II: Bosques montanos.
- Servat, P., Mendoza, W., y Ochoa, J. (2002). Flora y fauna de cuatro bosques de *Polylepis* (Rosaceae) en la cordillera del Vilcanota (Cusco, Perú). Ecología Aplicada.
- Sevillano, C. (2010). Efectos de la fragmentación y degradación de hábitat de queñual (*Polylepis* spp.) con respecto a la avifauna asociada en la Reserva de Biosfera Huascarán. Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Simpson, B. (1979). A revision of the genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). Smithsonian Institution Press.
- UNEP-WCMC. (2004). United Nations Environment Programme – World Conservation Monitoring Centre.
- Villa, A., y Ramírez, J. (2005). Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del cerro Murrucucú. Universidad Nacional de Colombia.

Declaración de roles de autores:

- Manuela Victoria Cuya Bueno: Conceptualización, metodología.
- Jesús Manuel Charcape Ravelo: Administración del proyecto, curación de datos.
- Vicky Almendra Correa Seminario: Conceptualización; estadística y revisión y edición.
- José Mostacero León: Conceptualización; metodología, revisión y edición final.

Especies vegetales de uso dual alimenticio-medicinal en el distrito de Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Perú: aporte etnobotánico a la seguridad alimentaria y nutricional andina

Dual food-medicinal plant species in the district of Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Peru: an ethnobotanical contribution to Andean food and nutritional security

 Ada A. Diaz-González¹

 José L. Castillo-Zavala²

adiazg@unitru.edu.pe 

1.- Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

2.- Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú

Recibido: 07/01/2026

Revisado: 23/02/2026

Aceptado: 21/04/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

Las plantas de uso simultáneamente alimenticio y medicinal constituyen un componente estratégico de la seguridad alimentaria y nutricional de las comunidades rurales andinas, al integrar en un mismo recurso el sustento cotidiano y el cuidado de la salud. El objetivo fue caracterizar las especies de uso dual alimenticio-medicinal de Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Perú, y determinar su valor de uso frente al resto del inventario etnomedicinal local. Se entrevistó a 96 pobladores, seleccionados por muestreo no probabilístico por bola de nieve, obteniéndose un inventario de 73 especies medicinales, del cual se extrajo el subconjunto con uso alimenticio reconocido. Se identificaron 22 especies de uso dual (30,1 % del total), distribuidas en 13 familias botánicas, con predominio de Passifloraceae, Lamiaceae y Poaceae. Estas especies registraron un índice de valor de uso superior al del resto del inventario ($M = 0,531$ frente a $M = 0,376$; U de Mann-Whitney = 845,0; $p = ,0006$), encabezadas por ajo (*Allium sativum* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.). Las afecciones digestivas concentraron el mayor número de usos. Se concluye que estas especies poseen particular relevancia cultural en la etnomedicina de Cascas, respaldando su valor como recurso complementario de bajo costo para la seguridad alimentaria y nutricional rural andina.

Palabras clave: Plantas alimenticio-medicinales, seguridad alimentaria, etnobotánica, valor de uso, Perú.

ABSTRACT

Plants with simultaneous food and medicinal use represent a strategic component of food and nutritional security in rural Andean communities, integrating within a single resource both daily sustenance and primary health care. The objective was to characterize the



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;70-80

dual food-medicinal plant species used in Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Peru, and to determine their use value compared with the rest of the local ethnomedicinal inventory. A total of 96 residents were interviewed through non-probabilistic snowball sampling, yielding an inventory of 73 medicinal species, from which the subset with recognized food use was extracted. Twenty-two dual-use species were identified (30.1% of the total), distributed across 13 botanical families, with Passifloraceae, Lamiaceae, and Poaceae predominating. These species showed a higher use value index than the rest of the inventory ($M = 0.531$ vs. $M = 0.376$; Mann-Whitney $U = 845.0$; $p = .0006$), led by *Allium sativum* L. (“garlic”) and *Solanum tuberosum* L. (“potato”). Digestive conditions accounted for the largest share of uses. It is concluded that these species hold particular cultural relevance in the ethnomedicine of Cascas, supporting their value as a low-cost complementary resource for rural Andean food and nutritional security.

Keywords: Food-medicinal plants, food security, ethnobotany, use value, Peru.

INTRODUCCIÓN

La relación entre alimentación y salud constituye uno de los ejes más antiguos y persistentes del conocimiento tradicional humano, expresada de manera particularmente nítida en aquellas especies vegetales que las comunidades rurales emplean simultáneamente como alimento cotidiano y como recurso terapéutico de primera línea (Bermúdez *et al.*, 2005). En las comunidades andino-amazónicas contemporáneas, este vínculo primigenio entre naturaleza, alimentación y salud continúa vigente, integrando el cuidado del cuerpo con el aprovechamiento de la biodiversidad vegetal disponible en el entorno inmediato del poblador rural (Mostacero-León *et al.*, 2026). Comprender qué especies cumplen esta doble función alimenticia y medicinal resulta particularmente relevante para las ciencias de la alimentación, en la medida en que dichas especies constituyen, por definición, recursos de bajo costo, alta disponibilidad estacional y aceptabilidad cultural inmediata, características que las convierten en potenciales aliados de las estrategias de seguridad alimentaria y nutricional en contextos rurales de acceso limitado a los servicios formales de salud (Ramírez-Preciado *et al.*, 2025).

El distrito de Cascas, capital de la provincia de Gran Chimú, en la región La Libertad, Perú, se inscribe en una línea de investigación etnobotánica que se ha consolidado en los últimos años en la sierra liberteña y en la vecina región Cajamarca, con estudios que han caracterizado sistemáticamente la flora medicinal de Trujillo (De La Cruz-Castillo *et al.*, 2023), Guadalupe (Muñoz-Guerra *et al.*, 2025), Huamachuco (Castillo-Zavala *et al.*, 2025), Laredo (Mostacero-León *et al.*, 2020a) y la Comunidad Andina de Jesús, Cajamarca (Mostacero-León *et al.*, 2020b; Mostacero-León *et al.*, 2022). Este último antecedente, publicado precisamente en la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, documentó 24 especies de flora medicinal promisorias en Jesús, de las cuales 18 fueron consideradas de alta importancia según su índice de valor de uso (Mostacero-León *et al.*, 2020b), evidenciando el interés sostenido de esta línea de investigación por vincular la valoración cultural de las especies vegetales con su potencial aplicativo. Sin perjuicio de ello, ninguno de los estudios etnobotánicos disponibles para la región ha aislado de manera específica el subconjunto de especies de uso dual ali-

menticio-medicinal, pese a que dicho subconjunto reviste un interés particular para las ciencias agroalimentarias, al articular directamente la dimensión nutricional con la terapéutica.

Numerosas de las especies vegetales de mayor relevancia etnobotánica en la sierra de La Libertad corresponden, en efecto, a cultivos alimentarios de uso cotidiano. El ajo (*Allium sativum*) y la cebolla (*Allium cepa*), por ejemplo, concentran más de 400 compuestos bioactivos identificados, entre ellos flavonoides, compuestos organosulfurados y ácidos fenólicos, con propiedades antimicrobianas, antidiabéticas y cardioprotectoras documentadas en revisiones sistemáticas recientes (Elattar *et al.*, 2024; Bedir *et al.*, 2025 y Teotia *et al.*, 2025). La manzanilla (*Matricaria chamomilla*), infusión de consumo cotidiano en los hogares andinos, posee un perfil fitoquímico con más de trescientos compuestos y actividades antiinflamatoria, antiespasmódica y ansiolítica ampliamente respaldadas (El-MiHYaoui *et al.*, 2022; Dai *et al.*, 2023; Al-Snafi y Hasham, 2023). De manera análoga, en la comunidad campesina de Cuspón, Áncash, la papa (*Solanum tuberosum*) y el maíz (*Zea mays*) registraron los índices culturales más elevados de todo el inventario etnobotánico local, por encima de especies de uso exclusivamente medicinal (Ramírez *et al.*, 2020), lo que sugiere que la condición de recurso alimentario básico, disponible durante todo el año, podría reforzar de manera consistente la valoración cultural de una especie vegetal, independientemente de sus propiedades terapéuticas específicas. Esta evidencia, dispersa entre distintos estudios y regiones, no había sido todavía sistematizada como objeto de análisis independiente para ningún distrito de la región La Libertad.

En este contexto, el presente artículo se propuso como objetivo caracterizar etnobotánicamente el subconjunto de especies vegetales de uso dual alimenticio-medicinal empleadas por los pobladores del distrito de Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Perú, y determinar si su valor de uso relativo difiere significativamente del correspondiente al resto del inventario etnomedicinal local, con el fin de aportar evidencia específica sobre el papel de estas especies como recurso complementario para la seguridad alimentaria y nutricional de la población rural andina.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente artículo deriva de un estudio observacional, transversal y de enfoque mixto con predominio cuantitativo, ejecutado en el distrito de Cascas, provincia de Gran Chimú, región La Libertad, Perú, durante el año 2025, orientado originalmente a determinar la efectividad de la flora medicinal sobre la calidad de vida percibida por la población local. Dicho estudio generó, como uno de sus resultados, un inventario etnobotánico de 73 especies medicinales, cuya caracterización taxonómica y etnobotánica completa será reportada en detalle en otra publicación. Para efectos del presente artículo, se empleó específicamente la información etnobotánica primaria referida a las 22 especies de dicho inventario con reconocido uso dual alimenticio-medicinal, así como sus respectivos índices de valor de uso, comparados frente al resto del inventario (51 especies de uso exclusivamente medicinal), con el fin de circunscribir el análisis a su relevancia para la seguridad alimentaria y nutricional.

La información se recolectó mediante una guía de entrevista estructurada, aplicada a 96 pobladores mayores de

18 años que reportaron haber empleado flora medicinal para el tratamiento de alguna enfermedad o dolencia durante los últimos 12 meses. Ante la ausencia de un marco muestral actualizado para la población usuaria de flora medicinal en Cascas, la selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por bola de nieve (Bailey, 1994). Para cada especie mencionada, se registraron la familia botánica, el nombre científico y común, el hábito de crecimiento, la parte utilizada, el tipo de preparado, el modo de aplicación y la enfermedad o dolencia tratada. La determinación taxonómica se efectuó mediante comparación directa con ejemplares de referencia depositados en el *Herbarium Truxillense* (HUT) de la Universidad Nacional de Trujillo y mediante literatura botánica especializada (Turland *et al.*, 2018), verificándose la nomenclatura vigente en las bases de datos Tropicos, World Flora Online y Plants of the World Online.

El índice de valor de uso (IVU) de cada especie se calculó mediante la fórmula propuesta por Zambrano *et al.* (2015): $VUs = \sum VUis / Ns$, donde $VUis$ corresponde al valor de uso de la especie referido por cada informante y Ns al número total de informantes de la especie, adoptando valores entre 0 y 1.

A partir del inventario etnobotánico completo (73 especies), se conformó el subconjunto de especies de uso dual alimenticio-medicinal, definidas operacionalmente como aquellas especies que, además del uso terapéutico reportado por los informantes, son reconocidas y consumidas regularmente como alimento, condimento o bebida en la dieta cotidiana peruana (frutas, tubérculos, cereales, bulbos, condimentos culinarios e infusiones de consumo habitual), condición verificada mediante

literatura etnobotánica y agroalimentaria de referencia para el contexto andino. Se compararon los valores de IVU de las especies de uso dual frente a los del resto del inventario mediante estadística descriptiva (media, mediana, desviación estándar) y la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, dado el carácter no normal de la distribución de los valores de IVU, fijándose un nivel de significancia estadística de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del inventario etnobotánico de 73 especies medicinales registradas en Cascas, se identificaron 22 especies de uso dual alimenticio-medicinal (30,1 % del total), distribuidas en 13 familias botánicas. Las familias más representadas fueron *Passifloraceae*, *Lamiaceae* y *Poaceae* (3 especies cada una; 13,6 %), seguidas de *Rutaceae*, *Amaryllidaceae* y *Solanaceae* (2 especies cada una; 9,1 %); las siete familias restantes (*Cactaceae*, *Musaceae*, *Asphodelaceae*, *Zingiberaceae*, *Asteraceae*, *Annonaceae* y *Myrtaceae*) aportaron una sola especie cada una. Según el hábito de crecimiento, predominaron las especies herbáceas (13; 59,1 %), seguidas de las arbustivas (5; 22,7 %) y las arbóreas (4; 18,2 %).

La Tabla 1 presenta el listado completo de las 22 especies de uso dual identificadas, ordenadas según su índice de valor de uso. Ajo (*Allium sativum* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) registraron el IVU más elevado del subconjunto (IVU = 0,812 ambas), seguidas de *Citrus limon* (L.) Osbeck (“limón”; IVU = 0,792), *Allium cepa* L. (“cebolla”; IVU = 0,781) y *Matricaria chamomilla* L. (“manzanilla”; IVU = 0,760). En el extremo opuesto, *Musa × paradisiaca* L. (“plátano”; IVU = 0,333) y *Rosmarinus officinalis* L. (“romero”; IVU = 0,281) presentaron los valores más bajos del subconjunto. Este predominio de la

papa como una de las especies de mayor valoración cultural resulta convergente con lo reportado por Ramírez *et al.* (2020) en la comunidad campesina de Cuspón, Áncash, donde la papa (*Solanum tuberosum*) y el maíz (*Zea mays*) alcanzaron igualmente los índices culturales más altos de todo el inventario local, superando incluso a especies empleadas exclusivamente con fines terapéuticos. La coincidencia de este patrón en dos comunidades andinas geográficamente distantes, obtenida además mediante formulaciones metodológicas distintas del valor de uso (índice cultural en Cuspón, IVU clásico en Cascas), sugiere que la condición de recurso alimentario básico —disponible de manera constante, de bajo costo y de aceptabilidad cultural inmediata— podría constituir un factor estructural que refuerza la relevancia etnobotánica de una especie vegetal, con independencia de sus propiedades terapéuticas específicas.

El índice de valor de uso de las especies de uso dual ($M = 0,531$; $DE = 0,175$; $Mdn = 0,490$) fue significativamente superior al del resto del inventario etnobotánico, constituido por las 51 especies de uso exclusivamente medicinal ($M = 0,376$; $DE = 0,160$; $Mdn = 0,365$), según la prueba U de Mann-Whitney ($U = 845,0$; $p = .0006$). La Figura 1 ilustra esta diferencia mediante la distribución comparada del IVU en ambos grupos de especies. Esta diferencia estadísticamente significativa debe interpretarse, sin embargo, con la cautela metodológica de que los índices etnobotánicos cuantitativos reflejan la importancia cultural percibida por los informantes y no necesariamente la eficacia farmacológica objetiva de una especie (Leonti, 2022), por lo que la elevada valoración de estas especies alimenticio-medicinales debe entenderse como el resultado combinado de su utilidad

nutricional y terapéutica, y no de esta última exclusivamente.

Respecto a la parte de la planta empleada con fines terapéuticos, las hojas concentraron el mayor número de menciones entre las especies de uso dual (11 menciones; 42,3 %), seguidas del fruto y el tallo (3 menciones cada uno; 11,5 %) y el bulbo y la raíz (2 menciones cada uno; 7,7 %). En cuanto al tipo de preparado, la infusión predominó ampliamente (13 menciones; 41,9 %), seguida de la tisana (6; 19,4 %), el jugo (5; 16,1 %) y el extracto (4; 12,9 %). La vía de administración oral fue prácticamente exclusiva en este subconjunto de especies (22 de 26 menciones; 84,6 %), en concordancia con su condición de recursos primariamente alimentarios.

Se registraron 35 usos medicinales distintos atribuidos a las especies de uso dual, concentrados mayoritariamente en afecciones del sistema digestivo: el dolor estomacal (9 menciones) y la gastritis (8 menciones) constituyeron los usos más frecuentes, seguidos de la fiebre y la hipertensión (4 menciones cada uno), la tos, los resfríos y los cólicos menstruales (3 menciones cada uno). Esta concentración de los usos reportados en afecciones digestivas (33,3 % de las menciones) resulta biológicamente coherente con la condición de alimentos de consumo habitual de estas especies, en la medida en que las molestias digestivas leves constituyen, en la práctica cotidiana de las poblaciones rurales, uno de los motivos de autocuidado más frecuentes y accesibles mediante el ajuste de la dieta y el consumo de infusiones caseras. Esta lectura es respaldada por la evidencia fitoquímica disponible para varias de las especies identificadas: el ajo y la cebolla concentran más de 400 compuestos bioactivos con actividades antimicrobianas y digestivas do-

Tabla 1.
Especies vegetales de uso dual alimenticio-medicinal identificadas en Cascas, Gran Chimú, La Libertad, Perú, ordenadas por índice de valor de uso

Nombre científico	Familia	Nombre común	Parte utilizada	Preparado	IVU
<i>Allium sativum</i> L.	<i>Amaryllidaceae</i>	"ajo"	Bulbo	Infusión, Machacado	0,812
<i>Solanum tuberosum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	"papa"	Tubérculo	Jugo	0,812
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	<i>Rutaceae</i>	"limón"	Fruto	Jugo, Extracto	0,792
<i>Allium cepa</i> L.	<i>Amaryllidaceae</i>	"cebolla"	Bulbo	Infusión	0,781
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<i>Asteraceae</i>	"manzanilla"	Tallo, hoja, flor	Cocimiento, Infusión	0,760
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	<i>Cactaceae</i>	"tuna"	Hojas	Fresco	0,646
<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	<i>Asphodelaceae</i>	"sábila"	Hoja	Ungüento, Licuado	0,594
<i>Zea mays</i> L.	<i>Poaceae</i>	"maíz"	Semilla, flor masculina	Infusión, Pasta, Tisana	0,594
<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	<i>Rutaceae</i>	"lima"	Fruto	Jugo	0,573
<i>Origanum vulgare</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	"orégano"	Hojas	Tisana, Infusión	0,542
<i>Passiflora edulis</i> Sims	<i>Passifloraceae</i>	"maracuyá"	Fruto	Jugo	0,490
<i>Annona muricata</i> L.	<i>Annonaceae</i>	"guanábana"	Hoja	Infusión	0,490
<i>Passiflora ligularis</i> Juss.	<i>Passifloraceae</i>	"granadilla"	Hoja	Extracto, Infusión	0,479
<i>Passiflora tripartita</i> (Juss.) Poir.	<i>Passifloraceae</i>	"poro poro"	Hoja, fruto	Infusión, Jugo	0,427
<i>Hordeum vulgare</i> L.	<i>Poaceae</i>	"cebada"	Semilla	Tisana, Infusión	0,438
<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf	<i>Poaceae</i>	"hierba luisa"	Hojas	Infusión	0,438
<i>Physalis peruviana</i> L.	<i>Solanaceae</i>	"tomatito de la sierra"	Raíz, tallo, hojas	Extracto, Tisana	0,417
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	<i>Zingiberaceae</i>	"kion"	Raíz	Infusión	0,375
<i>Melissa officinalis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	"toronjil"	Hojas	Infusión, Extracto, Tisana	0,344
<i>Musa × paradisiaca</i> L.	<i>Musaceae</i>	"plátano"	Látex	Fresco	0,333
<i>Psidium guajava</i> L.	<i>Myrtaceae</i>	"guayaba"	Tallo, hojas	Infusión	0,271
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	"romero"	Hoja	Tisana	0,281

Nota: IVU = Índice de Valor de Uso. n = 22 especies de uso dual, sobre un total de 73 especies del inventario etnobotánico de Cascas.

cumentadas (Elattar *et al.*, 2024 y Bedir *et al.*, 2025), mientras que la manzanilla, quinta especie de mayor valor de uso en el presente subconjunto, posee un perfil fitoquímico con reconocidas propiedades antiinflamatorias y antiespasmódicas so-

bre el tracto digestivo (El-Mihyaoui *et al.*, 2022; Dai *et al.*, 2023 y Al-Snafi y Hasham, 2023). La convergencia entre la relevancia cultural, el patrón de uso terapéutico y la evidencia fitoquímica disponible refuerza la plausibilidad biológica del rol funcional

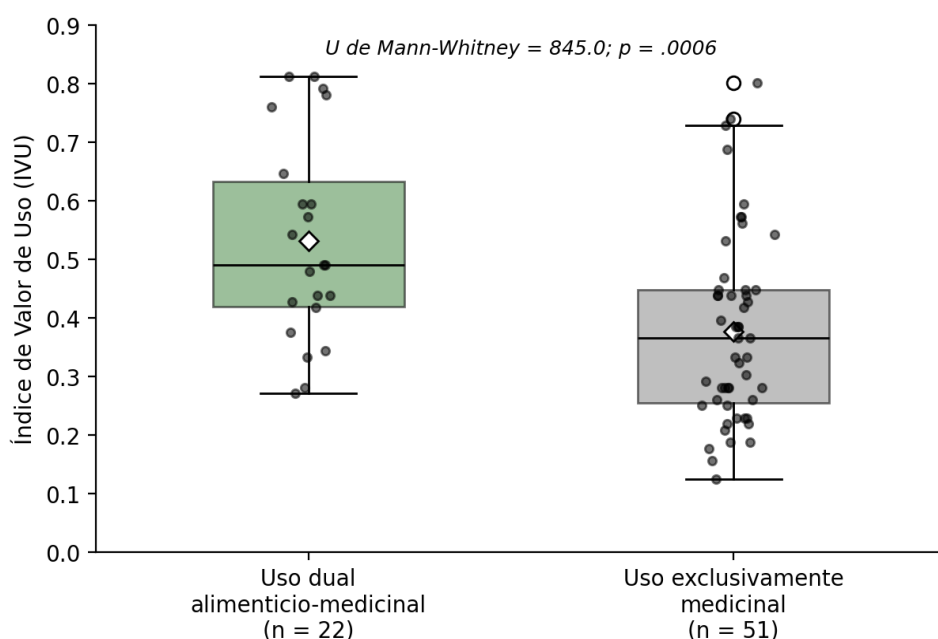


Figura 1: Distribución comparada del índice de valor de uso entre las especies de uso dual alimenticio-medicinal y el resto del inventario etnobotánico de Cascas.

Nota: El rombo blanco representa la media y la línea horizontal interior la mediana de cada grupo; los círculos representan valores atípicos.

que estas especies desempeñan en la dieta y la salud digestiva de la población de Cascas.

Desde la perspectiva de las ciencias de la alimentación, estos hallazgos poseen una implicancia práctica directa para la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones rurales de la sierra de La Libertad. En un contexto en el que las brechas estructurales de acceso a los servicios formales de salud continúan siendo significativas en el ámbito rural peruano (Ramírez-Preciado *et al.*, 2025), la disponibilidad de especies vegetales que combinan simultáneamente valor nutricional y terapéutico representa una estrategia de bajo costo, culturalmente aceptada y de fácil acceso para complementar la atención primaria de salud, sin requerir inversión adicional en insumos externos a la propia canasta alimentaria familiar. Este hallazgo es igualmente relevante para la conserva-

ción de germoplasma local, en la medida en que la promoción del cultivo doméstico o comunitario de estas 22 especies, varias de ellas están integradas en las prácticas agrícolas de la zona, como el ajo, la cebolla, la papa y el maíz podría fortalecer de manera conjunta la seguridad alimentaria y la disponibilidad del recurso etnomédico local, en línea con la necesidad de articular los estudios de efectividad terapéutica de la flora medicinal con criterios de conservación y uso sostenible de los recursos vegetales, ya señalada para la comercialización de plantas medicinales en la región Cajamarca (Chávez-López *et al.*, 2026).

La identificación de especies alimenticio-medicinales de amplia aceptación cultural constituye, en este sentido, una oportunidad concreta para promover dietas diversificadas basadas en recursos vegetales locales, en línea con el reconocimiento de que la diversidad de la dieta se asocia

con una mejor calidad nutricional y una mayor resiliencia de los sistemas alimentarios rurales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] *et al.*, 2023 y Hanley-Cook *et al.*, 2023). La incorporación deliberada de estas 22 especies varias de ellas ya disponibles en las chacras y huertos familiares de Cascas en programas de educación alimentaria y nutricional podría, de este modo, contribuir simultáneamente a la seguridad alimentaria de la población y a la preservación del conocimiento etnobotánico tradicional, sin requerir la introducción de cultivos ajenos al sistema agrícola local.

El presente estudio se limita, sin embargo, a un análisis descriptivo y comparativo de la valoración etnobotánica de estas especies, sin incluir una caracterización nutricional o fitoquímica directa del material vegetal de Cascas, por lo que sus hallazgos deben interpretarse como una primera aproximación exploratoria que amerita ser complementada con estudios composicionales y de bioaccesibilidad de nutrientes y metabolitos secundarios en las especies de mayor valor de uso iden-

tificadas, particularmente *Allium sativum*, *Solanum tuberosum*, *Citrus limon*, *Allium cepa* y *Matricaria chamomilla*.

CONCLUSIONES

Se identificaron 22 especies vegetales de uso dual alimenticio-medicinal en el distrito de Cascas, equivalentes al 30,1 % del inventario etnobotánico registrado, las cuales presentaron un índice de valor de uso significativamente superior al de las especies de uso exclusivamente medicinal. Este hallazgo evidencia que las especies de uso dual ocupan una posición de especial relevancia cultural dentro de la etnomedicina local.

En conjunto, los resultados respaldan el potencial de estas especies como recursos complementarios para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones rurales andinas, debido a su disponibilidad, aceptabilidad cultural y doble función alimenticia y terapéutica. No obstante, este potencial deberá corroborarse mediante estudios nutricionales, fitoquímicos y farmacológicos que permitan validar experimentalmente su aporte funcional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Snafi, A. E., y Hasham, L. F. (2023). Bioactive constituents and pharmacological importance of *Matricaria chamomilla*: A recent review. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(2), 079–098. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0477>
- Bailey, K. (1994). *Methods of social research* (4th ed.). The Free Press.
- Bedir, A. S., Almasri, R. S., Azar, Y. O., Elnady, R. E., y Al Raish, S. M. (2025). Exploring the therapeutic potential of *Allium cepa* and *Allium sativum* extracts: Current strategies, emerging applications, and sustainability utilization. *Biology*, 14(8), 1088. <https://doi.org/10.3390/biology14081088>
- Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., y Velázquez, D. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: Una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia*, 30(8), 453–459.

- Castillo-Zavala, J. L., Mostacero León, J., Martínez, J. L., De La Cruz, A. J., Gil, A. E., Lopez Medina, S. E., Gonzales, C. L. Y., León, C. A., y Bardales-Vásquez, C. B. (2025). Impacto sobre la eficiencia y calidad de vida de la flora medicinal en la comunidad andina de Huamachuco, La Libertad-Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 24(5), 740–764. <https://doi.org/10.37360/blacpma.25.24.5.52>
- Chávez-López, J., Mostacero León, J., Martínez, J. L., De la Cruz, A. J., Charcape, J. M., Gonzales, C. L. Y., Gil, A. E., López, S. E., León, C. A., y Castillo, J. L. (2026). Demanda y desafíos para la sostenibilidad de la comercialización de plantas medicinales en Cajamarca, Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 25(2), 314–327. <https://doi.org/10.37360/blacpma.26.25.2.23>
- Dai, Y.-L., Li, Y., Wang, Q., Niu, F.-J., Li, K.-W., Wang, Y.-Y., Wang, J., Zhou, C.-Z., y Gao, L.-N. (2023). Chamomile: A review of its traditional uses, chemical constituents, pharmacological activities and quality control studies. *Molecules*, 28(1), 133. <https://doi.org/10.3390/molecules28010133>
- De La Cruz-Castillo, A. J., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., Vásquez-Boyer, C. A., Villacorta-Vásquez, J. A., y Alipio-Rodríguez, A. L. (2023). Estudio etnobotánico de la flora medicinal de la provincia de Trujillo, Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 23(1), 12–28. <https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.1.2>
- El-Mihyaoui, A., Esteves da Silva, J. C. G., Charfi, S., Candela, M. E., Lamarti, A., y Arnao, M. B. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): A review of ethnomedicinal use, phytochemistry and pharmacological uses. *Life*, 12(4), 479. <https://doi.org/10.3390/life12040479>
- Elattar, M. M., Darwish, R. S., Hammoda, H. M., y Dawood, H. M. (2024). An ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological overview of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 324, 117779. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117779>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, United Nations Children's Fund, World Food Programme, & World Health Organization. (2023). *The state of food security and nutrition in the world 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Hanley-Cook, G. T., Daly, A. J., Remans, R., Jones, A. D., Murray, K. A., Huybrechts, I., De Baets, B., y Lachat, C. (2023). Food biodiversity: Quantifying the unquantifiable in human diets. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7837–7851. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2051163>
- Leonti, M. (2022). The relevance of quantitative ethnobotanical indices for ethnopharmacology and ethnobotany. *Journal of Ethnopharmacology*, 288, 115008. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115008>

- Mostacero-León, J., De La Cruz-Castillo, A. J., López-Medina, E., Gil-Rivero, A. E., y Alfaro-Aguirre, E. T. (2020a). Efecto de la medicina herbolaria en la calidad de vida: inventario de especies etnomedicinales y percepción del poblador de Laredo, Perú. *Agroindustrial Science*, 10(2), 181–190. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.09>
- Mostacero-León, J., García Izquierdo, L. G., De La Cruz Castillo, A., Alva Calderón, R., Charcape Ravelo, M., y Taramona-Ruiz, L. (2020b). Importancia de la flora medicinal promisoría del distrito de Jesús, Cajamarca, Perú. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 7(2), 78–86. <https://doi.org/10.36955/RIUL-CB.2020v7n2.008>
- Mostacero-León, J., García-Izquierdo, L. G., López-Medina, S. E., De La Cruz-Castillo, A. J., y Gil-Rivero, A. E. (2022). Valor de uso medicinal de la flora empleada por la Comunidad Andina de Jesús, Cajamarca, Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 21(5), 561–576. <https://doi.org/10.37360/blacpma.22.21.5.34>
- Mostacero-León, J., Charcape Ravelo, J. M., De La Cruz Castillo, A. J., Yurac Gonzales Velásquez, C. L., Venegas-Casanova, E., y Martínez, J. L. (2026). Contribution of magical-religious practices to ethnobotanical knowledge in Peru. En J. L. Martínez, J. Mostacero-León, y I. Aneva (Eds.), *Ethnomedicine: Ancestral legacy and use of medicinal plants* (Chap. 4). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003500926-4>
- Muñoz-Guerra, K. M., Arévalo-Ramírez, D. J., Mostacero-León, J., Martínez, J. L., De La Cruz-Castillo, A. J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., Alvarez-Carrasco, M. A., Vela-Urbina, G. J., Ugarte-López, W., León-Torres, C. A., Alarcón-Rojas, N. M., y Gonzales-Velásquez, C. L. Y. (2025). Etnobotánica de las plantas medicinales utilizadas por los pobladores de Guadalupe, La Libertad, Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 24(6), 960–986. <https://doi.org/10.37360/blacpma.25.24.6.64>
- Ramírez, L., Mostacero, J., López, E., De La Cruz, A., y Gil, A. (2020). Aspectos etnobotánicos de Cuspón, Perú: Una comunidad campesina que utiliza 57 especies de plantas en sus diversas necesidades. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 7–14. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.01>
- Ramírez-Preciado, M. C., Apolinar, N., Zavaleta, E. W., Guzmán, M., y Correa, D. (2025). Acceso a la salud en la periferia del Perú: Una revisión sistemática. *Revista Invecom*, 6(3), e60330. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17372482>
- Teotia, D., Agrawal, A., Kumar, V., Jain, P., Kumar, A., Agrawal, B., y Malik, V. (2025). Ethnobotany, phytochemistry and biological activities of the genus *Allium* L. *Environment Conservation Journal*, 26(3), 1058–1076. <https://doi.org/10.36953/ECJ.32103049>

Turland, N. J., Wiersema, J. H., Barrie, F. R., Greuter, W., Hawksworth, D. L., Herendeen, P. S., Knapp, S., Kusber, W.-H., Li, D.-Z., Marhold, K., May, T. W., McNeill, J., Monro, A. M., Prado, J., Price, M. J., y Smith, G. F. (Eds.). (2018). *International code of nomenclature for algae, fungi, and plants* (Shenzhen Code). Koeltz Botanical Books. <https://doi.org/10.12705/Code.2018>

Zambrano, L., Buenaño, M., Mancera, N., y Jiménez, E. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. *Universidad y Salud*, 17(1), 97–111.

Declaración de roles de autores:

- Ada Azucena Díaz González: Administración del proyecto, conceptualización, investigación, redacción.
- Jose Luis Castillo Zavala: Conceptualización, investigación, supervisión.

Efecto de la raza del macho sobre la densidad de empadre e indicadores reproductivos de cuyes (*Cavia porcellus*) mejoradas de Chota-Cajamarca

*Effect of sire breed and mating density on the reproductive indicators of improved guinea pigs (*Cavia porcellus*)*

 Benito Bautista-Espinoza¹  Julia Ramírez-Sánchez²  Napoleón Corrales-Rodríguez¹

bbautista@unitru.edu.pe 

1.- Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú

2.- Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

Recibido: 12/02/2026

Revisado: 04/04/2026

Aceptado: 02/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la influencia de la raza del macho y la densidad de empadre sobre los indicadores reproductivos de cuyes mejoradas en Chota, Cajamarca, se ejecutó un estudio entre mayo de 2022 y mayo de 2024. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2×3, evaluando la interacción de dos razas de machos (Kuri y Perú) con tres densidades de empadre (1:6, 1:7 y 1:8) durante dos partos consecutivos. Se utilizaron 42 hembras y 6 machos distribuidos aleatoriamente. El peso al nacimiento presentó una interacción estadística significativa tanto en gazapos machos ($p = 0,019$) como en hembras ($p = 0,036$). El tamaño de camada al nacimiento no evidenció efectos de interacción significativa ($p = 0,664$); no obstante, el modelo aditivo determinó que la raza del macho influyó significativamente en esta variable ($p = 0,0016$). Los machos Kuri produjeron un promedio de $3,45 \pm 1,21$ crías/parto frente a las $2,52 \pm 1,52$ crías/parto obtenidas con la raza Perú, lo que representa una ventaja productiva del +37,0%, comportamiento ratificado mediante pruebas t, U de Mann-Whitney y regresión de Poisson. El orden de parto afectó significativamente el tamaño de camada ($p = 0,0070$), incrementándose en 0,78 crías durante el segundo ciclo, aunque esto indujo una reducción consecuente en el peso individual al nacimiento. Se concluyó que la raza del macho determina la densidad de empadre óptima para maximizar el peso al nacimiento y el tamaño de la camada, recomendándose el uso de reproductores Kuri bajo densidades de 1:6 y 1:8 con hembras mejoradas en la región.

Palabras clave: Densidad de empadre; prolificidad; raza Kuri; tamaño de camada.

ABSTRACT

To evaluate the influence of sire breed and mating density on the reproductive indicators of improved guinea pigs in Chota, Cajamarca, a study was conducted between May 2022 and May 2024. A Completely Randomized Design with a 2×3 factorial arrangement was



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) International License

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;81-91

implemented to evaluate the interaction of two male breeds (Kuri and Peru) with three mating densities (1:6, 1:7, and 1:8) across two consecutive parities. Forty-two females and six males were randomly distributed. Birth weight showed a significant statistical interaction for both male ($p = 0.019$) and female ($p = 0.036$) kits. Litter size at birth showed no significant interaction effects ($p = 0.664$); however, the additive model determined that the sire breed significantly influenced this variable ($p = 0.0016$). Kuri sires produced an average of 3.45 ± 1.21 offspring/litter compared to 2.52 ± 1.52 offspring/litter obtained with the Peru breed, representing a +37.0% productive advantage, which was confirmed by t-test, Mann-Whitney U test, and Poisson regression. Parity order significantly affected litter size ($p = 0.0070$), increasing by 0.78 kits during the second cycle, although this induced a consequent reduction in individual birth weight. It is concluded that the sire breed determines the optimal mating density to maximize birth weight and litter size, recommending the use of Kuri sires under 1:6 and 1:8 densities with improved females in the region.

Keywords: Mating density; prolificacy; Kuri breed; litter size.

INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) constituye una especie pecuaria de gran importancia socioeconómica en la región andina, particularmente en el Perú, destacando la explotación de la raza Perú por su alta prolificidad, precocidad y eficiencia en la conversión de forraje en proteína animal de alta calidad (Chauca, 2023), características que influyen en las técnicas de manejo aplicado por los productores a otras razas esperando encontrar los mismos o mejores resultados ignorando que cada una tiene una potencialidad diferente como la raza Kuri, liberada por el INIA en 2021, caracterizada por tener mayor cantidad de crías por parto con respecto a la Perú y mayor porcentaje de celo post parto en las hembras, lo cual favorece la productividad por jaula o poza durante la vida útil de los reproductores.

La relación macho-hembra o densidad de empadre es un factor de manejo determinante del desempeño productivo y de acuerdo y comúnmente se maneja la relación 1:7 para raza Perú, la cual es la más

utilizada en la provincia de Chota, región Cajamarca, lo cual limita el refrescamiento de sangre en los productores y buscan otras razas como alternativa a esta situación.

En este contexto, la raza Kuri se presenta como una alternativa para empadrarse con hembras mejoradas con raza Perú, porque existen antecedentes que demuestran un incremento en el tamaño de camada de hembras de la región Lambayeque (Bustamante, 2015) y La Libertad (Carrasco, 2019).

Ante esta situación, el presente estudio se justifica por la necesidad de evaluar alternativas de manejo específicos para las razas de cuyes, buscando contribuir al conocimiento técnico sobre estrategias de manejo reproductivo eficiente de las razas disponibles para la producción de cuyes.

Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la raza sobre la densidad de empadre e indicadores reproductivos de cuyes mejoradas de Chota-Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó entre mayo de 2022 y mayo de 2024 en el Caserío de Llasavilca Centro, provincia y distrito de Chota, Región Cajamarca, Perú. La zona se encuentra ubicada a una altitud de 2 270 m.s.n.m., registrando una temperatura media anual que oscila entre los 10 °C como mínima y 25 °C como máxima, con una precipitación fluvial promedio de 916 mm (Senamhi, 2024).

Manejo experimental

Los animales se manejaron bajo un sistema de empadre continuo en jaulas. Se aplicó una estrategia de alimentación mixta basada en el suministro de alfalfa fresca y alimento balanceado comercial peletizado con un valor nutricional de 18 % de proteína cruda (PC), 2,9 Mcal/Kg de energía digestible (ED) y un mínimo de 6 % de fibra cruda (FC), disponiendo de agua *ad libitum*.

Se emplearon 42 hembras jóvenes mejoradas con base genética de la raza Perú procedentes de la provincia de Chota, las cuales registraron un peso promedio inicial de $771,07 \pm 8,03$ g. Las hembras fueron distribuidas de forma aleatoria para ser emparejadas con seis machos reproductores: tres de la raza Kuri provenientes del INIA Lima (peso promedio: $1\,138,67 \pm 15,28$ g) y tres de la raza Perú procedentes del INIA Cajamarca (peso promedio: $1\,215,33 \pm 41,63$ g). La evaluación del peso inicial de las hembras demostró normalidad y homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$) sin diferencias estadísticas entre grupos, mientras que el análisis del peso de los machos mediante la prueba de Welch tampoco determinó diferencias significativas ($p = 0,072$).

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2×3 , evaluándose el efecto de dos factores principales: Raza del macho (Kuri y Perú) y Densidad de empadre (6, 7 y 8 hembras por macho), lo que generó un total de seis tratamientos independientes evaluados de forma longitudinal durante dos partos consecutivos (considerados como repeticiones en el tiempo). Debido a la naturaleza intrínseca de las densidades por poza, el diseño contempló un número desigual de unidades experimentales (repeticiones) por tratamiento. Los tratamientos se estructuraron de la siguiente manera:

- T1: Macho Kuri $\times$ densidad de 6 hembras mejoradas.
- T2: Macho Kuri $\times$ densidad de 7 hembras mejoradas.
- T3: Macho Kuri $\times$ densidad de 8 hembras mejoradas.
- T4: Macho Perú $\times$ densidad de 6 hembras mejoradas.
- T5: Macho Perú $\times$ densidad de 7 hembras mejoradas.
- T6: Macho Perú $\times$ densidad de 8 hembras mejoradas.

Variables evaluadas

Las variables de respuesta zootécnica registradas durante el primer y segundo parto correspondieron a:

- Tasa de fertilidad (TF): Proporción de hembras preñadas y paridas con respecto al total de hembras expuestas al macho (%).
- Tamaño de camada al nacimiento (TCn): Número total de crías nacidas por parto.
- Peso al nacimiento por sexo (PN): Masa corporal individual de los gazapos regis-

trada en gramos dentro de las primeras 24 horas post-parto, clasificada por sexo (machos y hembras).

- Frecuencia de ocurrencia del TCn (FOTCn): Distribución porcentual y probabilidad del número de crías obtenidas por evento de parto.

Modelo estadístico y análisis de datos

Para contrastar el efecto de los tratamientos sobre las variables continuas, se planteó la hipótesis nula ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$) de igualdad de medias frente a la hipótesis alternativa (H_a) de diferencia en al menos uno de los tratamientos. Los datos fueron analizados mediante el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + D_j + P_k + (RD)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Variable respuesta observada en la unidad experimental.
- μ : Media general del experimento.
- R_i : Efecto fijo de la i-ésima raza del macho reproductor ($i = \text{Kuri, Perú}$).
- D_j : Efecto fijo de la j-ésima densidad de empadre ($j = 6, 7, 8$).
- P_k : Efecto fijo del k-ésimo orden de parto o repetición temporal ($k = \text{I, II}$).
- $(RD)_{ij}$: Efecto de la interacción entre la i-ésima raza y la j-ésima densidad de empadre.
- ε_{ijk} : Efecto del error experimental residual asociado a las observaciones.

Los datos cuantitativos se procesaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) factorial. En los escenarios donde la interacción Raza $\times$ Densidad no resultó estadísticamente significativa, el modelo estadístico se redujo de forma estricta a sus efectos aditivos con la finalidad

de suprimir los sesgos de estimación que induce la suma de cuadrados Tipo III ante la presencia de interacciones irrelevantes. Las comparaciones múltiples de medias se ejecutaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Para validar la consistencia del efecto del factor raza sobre la variable discreta de conteo (TCn), se aplicaron de forma complementaria la prueba t de Student, la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney y un modelo de regresión de Poisson. El procesamiento estadístico de la información se realizó con el software Infostat versión 2020

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de fertilidad

De las 42 hembras evaluadas, la tasa de fertilidad (TF) general alcanzó el 90,5 % en el primer parto (38/42) y el 88,1 % en el segundo (37/42). El 83,3 % (35/42) de las hembras concibió exitosamente en ambos ciclos, mientras que el 95,2 % (40/42) parió al menos en una oportunidad. Al discriminar por la variable del reproductor, el 100,0 % de las hembras empadradas con machos Kuri parieron en el primer parto, frente al 81,0 % registrado para la raza Perú. En el segundo parto, los índices de fertilidad se situaron en 95,2 % para Kuri y 81,0 % para Perú (Tabla 1).

La TF global obtenida (95,2 % con al menos un parto) se alinea con el comportamiento reproductivo estándar de 95 % reportado por Cahui (2019). Sin embargo, se sitúa ligeramente por debajo del 98 % para la raza Perú y del 100 % para la raza Kuri estimado por Chauca (2022). Estas variaciones son atribuidas comúnmente a factores fisiológicos y ambientales como el retraso en el primer celo, la manifestación de periodos de anestro o condiciones críticas de alimentación y variabilidad climáti-

ca que restringen el óptimo funcional del aparato reproductor (Rosel, 2001).

Por otra parte, se determinó una asociación estadística altamente significativa entre la raza del macho y la fertilidad ($\chi^2 = 4,48$; $p = 0,034$; Cochran-Mantel-Haenszel = 6,16; $p = 0,013$; OR = 11,18). Este comportamiento demuestra que las hembras asignadas a reproductores Kuri poseen una probabilidad significativa-

mente mayor de concretar un parto exitoso. Es fundamental destacar que la TF no está supeditada de forma exclusiva al potencial de la hembra. Factores del macho como la calidad seminal, el vigor sexual (libido) y la capacidad de servicio alteran los indicadores bajo esquemas de parición continua, donde limitantes adicionales como el estrés térmico pueden comprometer la viabilidad reproductiva (Benavides *et al.*, 2020; Quispe-Ccasa *et al.*, 2023).

Tabla 1.
Porcentaje de hembras fértiles por raza del macho y número de parto

Raza n	% Parto I	% Parto II
Kuri	100,0	95,2
Perú	81,0	81,0

Tamaño de camada al nacimiento

El análisis de varianza factorial (ANAVA) determinó la ausencia de un efecto de interacción significativo entre los factores raza y densidad de empadre sobre el tamaño de camada al nacimiento (TCn) ($F = 0,41$; $p = 0,664$). Debido a esto, el modelo estadístico se redujo a sus efectos aditivos para corregir el sesgo inherente a la suma de cuadrados tipo III ante interacciones no significativas.

El modelo aditivo reveló diferencias estadísticas significativas para el factor principal raza ($F = 10,70$; $p = 0,0016$), donde la variedad Kuri superó en 0,93 crías por parto a la raza Perú. El promedio para Kuri se fijó en $3,45 \pm 1,21$ crías/parto frente a $2,52 \pm 1,52$ crías/partos obtenidos en Perú, lo que representa una ventaja productiva del +37,0% (Tabla 2).

La variable densidad de empadre no evidenció modificaciones estadísticas significativas sobre el TCn ($F = 2,43$; $p = 0,095$). En contraposición, el orden de parto ejerció un efecto significativo ($F = 7,66$;

$p = 0,0070$), constatándose un incremento real de 0,78 crías durante el segundo parto ($3,38 \pm 1,55$ crías/parto) en comparación con el primero ($2,60 \pm 1,23$ crías/parto).

El incremento genotípico en el tamaño de camada al emplear reproductores machos Kuri concuerda con la base conceptual y las evaluaciones de prolificidad descritas por Chauca (2023). Pese a ello, la diferencia del 37,0 % detectada en la provincia de Chota resultó ligeramente inferior al parámetro de ventaja del 41 % difundido originalmente por el MIDAGRI/INIA (2021).

Respecto al orden cronológico de los partos, la mayor productividad cuantitativa del segundo ciclo coincide con las dinámicas documentadas por Rodríguez *et al.* (2015) y Moya (2024). Este fenómeno responde a la madurez fisiológica uterina de la madre y al desarrollo de sus capacidades homeostáticas y gestacionales tras superar el primer ciclo reproductivo.

Tabla 2.

Tamaño de camada de cuyes según la raza del reproductor, densidad de empadre y orden de parto (Media $\pm$ DE)

Factor evaluado	Nivel	n / Σ crías	Crías por parto
Interacción Raza $\times$ Densidad	Kuri — 1:6	—	3,58 $\pm$ 1,16
	Kuri — 1:7	—	3,93 $\pm$ 1,21
	Kuri — 1:8	—	2,94 $\pm$ 1,12
	Perú — 1:6	—	2,75 $\pm$ 1,22
	Perú — 1:7	—	2,64 $\pm$ 1,45
	Perú — 1:8	—	2,25 $\pm$ 1,81
Efecto Fijo: Raza	Kuri	42 / 145	3,45 $\pm$ 1,21 a
	Perú	42 / 106	2,52 $\pm$ 1,52 b
Efecto Fijo: Parto	I	42 / 109	2,60 $\pm$ 1,23 a
	II	42 / 142	3,38 $\pm$ 1,55 b

Nota: Medias con letras distintas dentro de una misma sección del factor indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Para validar estadísticamente que los efectos detectados correspondían a un comportamiento genético real y descartar sesgos derivados de los niveles de infertilidad observados en el grupo asociado a la raza Perú, se ejecutaron pruebas estadísticas de contraste independientes del tipo de suma de cuadrados lineal. Las metodologías analíticas aplicadas (Prueba t de Student, U de Mann-Whitney y Regresión de Poisson) ratificaron de manera unánime y robusta la significancia estadística crítica de los factores raza y orden de parto sobre el TCn (Tabla 3).

Peso al nacimiento de gazapos por sexo

El factor densidad de empadre (DE) modificó de forma estadísticamente significativa el peso al nacimiento (PN) tanto en ejemplares machos ($F = 10,02$; $p = 0,0001$) como en hembras ($F = 13,23$; $p < 0,001$). El factor principal raza no demostró efectos significativos sobre el peso de las crías macho ($F = 2,45$; $p = 0,120$), pero sí generó diferencias en las crías hembra ($F = 10,29$; $p = 0,0017$).

Se determinó una interacción estadística significativa entre los factores raza

y densidad de empadre para ambos sexos (machos: $F = 4,08$, $p = 0,019$; hembras: $F = 3,42$, $p = 0,036$). Esto indica rigurosamente que el impacto de la densidad de manejo pecuario sobre el PN está condicionado por el tipo de raza utilizado y viceversa.

Asimismo, el orden de parto ejerció una influencia altamente significativa en el peso de ambos sexos (machos: $F = 69,16$, $p < 0,001$; hembras: $F = 44,34$, $p < 0,001$). Se registraron pesos significativamente superiores en el primer parto (machos: $150,82 \pm 28,28$ g; hembras: $145,86 \pm 25,93$ g) respecto al segundo parto (machos: $118,12 \pm 25,82$ g; hembras: $127,23 \pm 14,51$ g).

Al evaluar las interacciones específicas (Tabla 4), los mayores Pesos al Nacimiento en los machos correspondieron a los tratamientos Kuri $\times$ 1:6 ($155,00 \pm 7,89$ g) y Kuri $\times$ 1:8 ($136,01 \pm 5,42$ g). En el caso de las hembras, las medias más altas se concentraron en los grupos Kuri $\times$ 1:6 ($141,49 \pm 5,88$ g), Kuri $\times$ 1:8 ($145,12 \pm 3,59$ g) y Perú $\times$ 1:8 ($147,32 \pm 4,26$ g). El peso general de nacimiento integrado para la totalidad de gazapos evaluados ($n = 251$) se situó en $133,96 \pm 1,71$ g.

Tabla 3.

Modelos estadísticos alternativos de verificación para el efecto de la raza y número de parto sobre el tamaño de camada

Factor evaluado	Metodología estadística	Estadístico de prueba	Valor de significancia (p)
Raza del macho (Kuri vs. Perú)	ANOVA (Efectos aditivos)	F = 10,70	0,0016
	Prueba t de Student	t = 3,10	0,0027
	U de Mann-Whitney	U = 1172,5	0,0076
	Regresión de Poisson	LR = 6,08	0,0136
Número de parto (Parto I vs. Parto II)	ANOVA (Efectos aditivos)	F = 7,66	0,0070
	Prueba t de Student	t = 2,58	0,0117
	U de Mann-Whitney	U = 540,5	0,0017
	Regresión de Poisson	LR = 4,35	0,0370

Tabla 4.

Peso al nacimiento (g) clasificado por sexo bajo efectos de la interacción raza y densidad de empadre (Media ± EE)

Raza	Densidad	n	Peso machos (g)	Peso hembras (g)
Kuri	1:6	16/27	155,00 ± 7,89 a	141,49 ± 5,88 a
Kuri	1:7	31/24	120,81 ± 6,94 b	122,75 ± 2,83 b
Kuri	1:8	25/22	136,01 ± 5,42 a	145,12 ± 3,59 a
Perú	1:6	16/17	137,46 ± 7,85 a	125,59 ± 3,21 b
Perú	1:7	21/16	118,62 ± 5,48 b	123,79 ± 3,52 b
Perú	1:8	18/18	143,47 ± 1,35 a	147,32 ± 4,26 a

Nota: Medias con letras distintas dentro de una misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

El notable descenso del PN evidenciado durante el segundo parto responde de forma directa al incremento simultáneo verificado en el tamaño de la camada. Esta respuesta biológica coincide plenamente con los principios de fisiología e interacciones de espacio intrauterino reportados por Wuebker (2021), donde un mayor número de fetos en desarrollo disminuye la disponibilidad individual de nutrientes y restringe el peso final al parto.

La marcada homogeneidad en la reducción del PN observada de mane-

ra transversal entre las razas Kuri y Perú (Tabla 4) confirma que este parámetro está condicionado prioritariamente por la escala física del tamaño de la camada más que por determinantes genéticos exclusivos del progenitor. Los pesos promedio obtenidos para la raza Kuri guardan estrecha correspondencia con los estándares productivos de líneas genéticas mejoradas reportados previamente en el país por Carrasco (2019) y Cruz *et al.* (2021).

La ausencia de diferencias significativas entre ambas razas al aislar los aná-

lisis dentro de un mismo número de parto fundamenta la postura de que el TCn constituye el factor crítico determinante del peso fetal individual, tal como sostienen investigaciones previas en la especie (Rodríguez *et al.*, 2015; Rubio *et al.*, 2019 y Guerrero *et al.*, 2020).

Frecuencia de ocurrencia del tamaño de camada

La tasa de nuliparidad (ausencia de partos) se situó en un 4,8 % para las hembras empadradas con machos Kuri durante el parto II, mientras que el grupo asociado a machos Perú reflejó una ausencia de partos del 19,0 % de manera constante en ambos

ciclos productivos. Al analizar la distribución de frecuencias (Tabla 5), la mayor tasa de ocurrencia para el grupo Kuri se concentró en camadas de 3 crías durante el parto I (42,9 %) y de 4 crías en el parto II (52,4 %). En contraste, el grupo de empadre con raza Perú concentró sus mayores frecuencias en camadas de 2 y 3 crías para el parto I (33,3 % y 23,8 %) y de 3 y 4 crías en el parto II (42,9 % y 19,0 %).

Las frecuencias de camadas numerosas (5 crías) alcanzaron niveles de 9,5 % y 14,3 % (partos I y II) en el grupo Kuri, frente a un 14,3 % exclusivo en el grupo de la raza Perú. Por último, la ocurrencia

Tabla 5.

Frecuencia de número de crías por parto según tratamiento reproductivo e interacción en cuyes mejoradas

N° Crías	K-1:6	K-1:7	K-1:8	P-1:6	P-1:7	P-1:8
Frecuencia Acumulada General						
0	0 (0%)	0 (0%)	1 (6,3%)	1 (8,3%)	2 (14,3%)	5 (31,3%)
1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (8,3%)	0 (0%)	0 (0%)
2	2 (16,7%)	2 (14,3%)	4 (25%)	1 (8,3%)	4 (28,6%)	3 (18,8%)
3	4 (33,3%)	3 (21,4%)	5 (31,3%)	6 (50%)	4 (28,6%)	4 (25%)
4	4 (33,3%)	4 (28,6%)	6 (37,5%)	3 (25%)	3 (21,4%)	2 (12,5%)
5	1 (8,3%)	4 (28,6%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (7,1%)	2 (12,5%)
6	1 (8,3%)	1 (7,1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Frecuencia en Parto I						
0	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (16,7%)	0 (0%)	3 (37,5%)
1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (16,7%)	0 (0%)	0 (0%)
2	1 (16,7%)	2 (28,6%)	4 (50%)	1 (16,7%)	3 (42,9%)	3 (37,5%)
3	4 (66,7%)	2 (28,6%)	3 (37,5%)	2 (33,3%)	1 (14,3%)	2 (25%)
4	1 (16,7%)	1 (14,3%)	1 (12,5%)	1 (16,7%)	3 (42,9%)	0 (0%)
5	0 (0%)	2 (28,6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
6	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Frecuencia en Parto II						
0	0 (0%)	0 (0%)	1 (12,5%)	0 (0%)	2 (28,6%)	2 (25%)
1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
2	1 (16,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14,3%)	0 (0%)
3	0 (0%)	1 (14,3%)	2 (25%)	4 (66,7%)	3 (42,9%)	2 (25%)
4	3 (50%)	3 (42,9%)	5 (62,5%)	2 (33,3%)	0 (0%)	2 (25%)
5	1 (16,7%)	2 (28,6%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14,3%)	2 (25%)
6	1 (16,7%)	1 (14,3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

extrema de camadas de 6 crías se registró únicamente en el segundo parto de las hembras empadradas con Kuri (9,5 %) (Figura 1).

La mayor recurrencia de partos múltiples numerosos, específicamente en los rangos de 5 y 6 crías observados en el lote Kuri, se asocia directamente a la elevada tasa de prolificidad que caracteriza a este genotipo compuesto bajo condiciones controladas de densidad pecuaria. La integración analítica de los datos sugiere que los componentes de manejo zootécnico (densidad de empadre), la base genética (raza del macho reproductor) y las variaciones intrínsecas del tamaño de camada deben interactuar de manera coordinada para optimizar los pesos al nacimiento y elevar los techos de eficiencia en los sistemas comerciales de cría de la región.

CONCLUSIONES

El genotipo del reproductor macho constituye un factor determinante sobre el tamaño de la camada y la distribución del peso al nacimiento de los gazapos en la provincia de Chota, Región Cajamarca,

demonstrando que la introducción de la raza Kuri incrementa significativamente la eficiencia productiva frente a la raza Perú.

La utilización de machos de la raza Kuri genera una ventaja zootécnica crítica del +37,0% en el tamaño de camada al nacimiento en comparación con los machos de la raza Perú, alcanzando un promedio de $3,45 \pm 1,21$ crías por parto.

Existe un efecto de interacción estadísticamente significativo entre la raza del reproductor y la densidad de empadre sobre el peso al nacimiento de las crías de ambos sexos, identificándose que los mayores pesos individuales se maximizan bajo relaciones de manejo pecuario de 1:6 y 1:8 empleando la raza Kuri en hembras mejoradas.

El orden de parto ejerce una influencia inversa entre la prolificidad y el desarrollo fetal; el segundo parto consolida una mayor productividad cuantitativa en el número de crías (+0,78 gazapos), pero induce un descenso consecuente en el peso individual al nacimiento debido a restricciones de espacio intrauterino, independientemente de la raza del macho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavides, F., Sutovsky, P., López, V., Kennedy, C., y Echevarría, L. (2020). Parámetros del semen de cobayas fértiles (*Cavia porcellus*) recolectados mediante electroeyaculación transrectal. *Animales*, 10 (5), 767. <https://doi.org/10.3390/ani10050767>
- Cahui, N. (2019). Eficiencia productiva y reproductiva en la crianza comercial de cuyes (*Cavia porcellus* L.) en dos zonas ecológicas. *Revista de Investigaciones*, 8(2), 986-996. <https://doi.org/10.26788/riepg.v8i2.589>
- Carrasco, G. I. (2019). *Tamaño de camada y sobrevivencia de gazapos de cuyes (Cavia porcellus) machos jóvenes línea sintética en la Región La Libertad*. [Tesis pregrado. Facultad de Ingeniería Zootecnia. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9063>

- Cedano-Castro, J. I., Wurzinger, M., Gutiérrez, G., Jiménez, R., Huamán Cristóbal, A. E., y Sölkner, J. (2023). Scarce evidence of heterosis for growth traits in Peruvian guinea pigs. *Animals*, 13(17), 2738. <https://doi.org/10.3390/ani13172738>
- Chauca, L. (2022). Desarrollo del mejoramiento genético en cuyes en el Perú: Formación de nuevas razas. *Anales Científicos*, 83(2), 109–125. <https://doi.org/10.21704/ac.v83i2.1879>
- Cruz, D. J., Passuni Huayta, J., Corredor, F.-A., y Pascual, M. (2021). Parámetros productivos y reproductivos de cuyes (*Cavia porcellus*) de las líneas Saños y Mantaro. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32 (3), e20397. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20397>
- Genzer, S. C., Flietstra, T., Coleman-McCray, J. D., Tansey, C., Welch, S. R., y Spengler, J. R. (2023). Effect of parental age, parity, and pairing approach on reproduction in strain 13/N guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Animals*, 13(5), 895. <https://doi.org/10.3390/ani13050895>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI/INIA]. (2021, 20 de diciembre). KURI es la nueva raza compuesta de cuy con alta calidad genética que tiene el Perú. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/571437-kuri-es-la-nueva-raza-compuesta-de-cuy-con-alta-calidad-genetica-que-tiene-el-peru>
- Moya, K. B. (2024). Influencia del número de partos sobre el tamaño de la camada y los efectos en los parámetros productivos de los cuyes del CEASA [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11963/1/PC-003227.pdf>
- Quispe-Ccasa, H.A., Briceño-Mendoza, Y.M., y Cayo-Colca, I.S. (2023). Morfología y fertilidad del esperma de cobaya bajo diferentes fotoperiodos. *Animals*, 13 (14), 2249. <https://doi.org/10.3390/ani13142249>
- Rodríguez, L. H., Gutiérrez, R. G., Palomino, T. M., y Hidalgo, V. (2015). Características maternas al nacimiento y destete en cuyes de la costa central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(1), 77–85. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172015000100010&lng=es&tlng=es.
- Rubio, P., Deza, H., Alvarado, J., Castillo, E., y Maldonado, M. (2019). Efecto del sexo, tamaño de camada y número de parto sobre los pesos al nacimiento y al destete de cobayos (*Cavia porcellus*) del genotipo Cieneguilla. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/29614>
- Senamhi (2024). Pronóstico del tiempo para Chota. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0033>
- Wuebker, W. J. (2021). Análisis de la supervivencia de los lechones como rasgos de producción en cerdas Landrace y Large White. [Tesis. Post Grado. Iowa State University]. <https://doi.org/10.31274/td-20240329-62>

Declaración de roles de autores:

- Benito Bautista Espinoza: Conceptualización e implementación del proyecto; determinación de la metodología y administración; registro y tabulación de datos.
- Julia Mercedes Ramírez Sánchez: Supervisión; apoyo en la determinación de la metodología; redacción, investigación, revisión y edición.
- Napoleón Corrales Roriguez: Análisis estadístico de los datos, análisis formal, búsqueda de información e investigación, redacción y borrador original.

Efecto de la intensidad lumínica y fertilización sobre el crecimiento de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley en condiciones de vivero

Effect of light intensity and fertilization on growth of Billbergia pyramidalis (Sims) Lindley under nursery conditions

 Geine Alvarado

 Reinaldo Pire

geine.alvarado@ucla.edu.ve 

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela

Recibido: 10/02/2026

Revisado: 05/03/2026

Aceptado: 20/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

Billbergia pyramidalis es una planta ornamental de alto valor para uso en paisajismo y maceta, y en condiciones del trópico es necesario generar información sobre la irradiancia que puede tolerar; así como, su respuesta a la fertilización. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la intensidad lumínica y fertilización sobre el crecimiento de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley, en condiciones de vivero. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluaron altura y alcance lateral de la planta, número y longitud de las hojas y contenido de clorofila foliar. La planta mostró un mayor crecimiento y nivel de clorofila en condiciones de sombra y fertilización. Los tratamientos aplicados no afectaron el número de hojas, ni su longitud.

Palabras clave: Altura de planta, irradiancia, largo de la hoja, plantas ornamentales, contenido de clorofila foliar, medidor SPAD.

ABSTRACT

Billbergia pyramidalis is a highly valued ornamental plant for landscaping and container use; under tropical conditions, it is necessary to generate information regarding the irradiance levels it can tolerate, as well as its response to fertilization. The aim of this study was to evaluate the effect of light intensity and fertilization on the growth of *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley under nursery conditions. A completely randomized design with a factorial arrangement of four treatments and four replicates was used. Plant height and lateral spread, number and length of leaves, and leaf chlorophyll content were evaluated. The plants exhibited greater growth and higher chlorophyll levels under shaded and fertilized conditions. The treatments applied did not affect the number or length of the leaves.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;92-101

Keywords: Plant height, irradiance, leaf length, ornamental plants, leaf chlorophyll content; SPAD meters.

INTRODUCCIÓN

Billbergia pyramidalis, conocida comúnmente como antorcha llameante, es una especie de planta epífita de la familia de las bromeliáceas, originaria del norte de Sudamérica y partes del Caribe (Lapa Wanderley *et al.*, 2007). Se cultiva con frecuencia como planta ornamental en jardines tropicales y es una bromeliácea importante como planta para paisajismo y maceta. Este cultivo es importante en los mercados de la

industria ornamental por su follaje y vistosa inflorescencia en forma de espiga piramidal de color rojo-carmesí (Fig. 1) y tener bajos requerimientos de agua. El género *Billbergia* spp. tolera bien las altas temperaturas lo que la convierte en una opción ideal para jardines en climas donde no se producen heladas intensas con frecuencia (Booth, 2019).



Figura 1: Aspecto general de *Billbergia pyramidalis*

Nota. La inflorescencia en la parte superior de una espiga floral con forma de pirámide invertida, formada por sépalos rojos con puntas púrpuras y pétalos rojo-carmesí con puntas azul-violeta (fotografía de Timm Stolten).

La exposición a condiciones de alta o baja irradiancia (sombreamiento) es uno de los problemas a los que se enfrenta la producción hortícola, ya que no todas las especies pueden tolerar esas condiciones. La irradiancia, es definida como la energía lumínica que incide por unidad de área y tiempo, es referida en la literatura como tal o como intensidad de luz. El fenómeno del sombreamiento implica modificaciones, tanto en la calidad como en la cantidad de

la energía lumínica, resultando en niveles reducidos de radiación activa que contribuye a la fotosíntesis (PAR); además de, ocasionar una posible disminución en la relación entre la luz roja y la luz roja lejana (R/RL), dependiendo de la fuente de la sombra (Arboleda, 2011).

Estos dos aspectos relacionados con la luz pueden influir de manera directa en la morfogénesis de las plantas; pero en el caso de *B. pyramidalis* cultivadas en po-

tes se requieren mayores estudios dada la importancia de la producción de plantas ornamentales a nivel mundial, la cual ha cambiado drásticamente en las últimas décadas (Darras, 2020). En condiciones del trópico es necesario generar información sobre la irradiancia que puede tolerar la planta; así como, su respuesta a la fertilización, especialmente para su uso como paisajismo en exteriores e interiores.

Las bromelias están presentes desde el sur de Estados Unidos hasta el sudeste de América del Sur, y una especie específica es originaria de África occidental. Pueden encontrarse en una variedad de ecosistemas, que van desde desiertos hasta selvas tropicales, abarcando altitudes que van desde los 51 m s.n.m. hasta áreas montañosas que superan los 4000 m. No obstante, estas plantas tienden a ser más numerosas y diversas en entornos que cuentan con altas precipitaciones y niveles de humedad; así como, en elevaciones intermedias (Ladino *et al.*, 2019).

Con respecto a su nutrición, las bromelias absorben minerales que van desde la absorción radicular convencional en especies terrestres hasta la absorción foliar altamente especializada llevada a cabo por tricomas peltados multicelulares; así como, la asimilación de compuestos tanto inorgánicos como orgánicos disueltos en los reservorios de agua (tanques); además de, la utilización de la deposición atmosférica, tanto húmeda como seca (Vieira Pinto-Junior *et al.*, 2026). La aplicación de nitrógeno (N) reduce la senescencia foliar y posterga el cambio de color de la hoja. En contraste, la falta de este mineral acelera el proceso; por lo que, su evolución se encuentra íntimamente relacionada con el contenido de N en las hojas y presenta variaciones entre cultivares que difieren en su capacidad de

absorción y asimilación de N. Los valores obtenidos mediante el método SPAD en las hojas; así como, el área foliar verde relativa y el contenido de N, varían según las posiciones de las hojas (Xu *et al.*, 2025).

Debido a que el N representa un elemento fundamental en la composición de la mayoría de los fertilizantes, la producción de plantas en macetas ha sido evaluada como una posible fuente de lixiviación y/o escorrentía de este. Si esta producción se realiza en volúmenes significativos y de manera continua a lo largo del año, podría tener un impacto negativo en la calidad, tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas. Además, las plantas que se cultivan en macetas muestran notables variaciones en términos de su crecimiento, desarrollo y requerimientos de N (Chen y Wei, 2018).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la intensidad lumínica y fertilización sobre el crecimiento de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley, en condiciones de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Material Vegetal

La fase experimental se ejecutó en las instalaciones del Posgrado de Agronomía de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, en Cabudare, Venezuela. Dicha ubicación se sitúa geográficamente en las coordenadas 10 ° 01' N y 69 ° O, a una altitud de 510 m.s.n.m. Para el ensayo se seleccionaron propágulos de *Billbergia pyramidalis* con una dimensión longitudinal promedio de 15 cm.

Las unidades vegetales se establecieron en contenedores plásticos de 17 cm de diámetro. Como medio de crecimiento se preparó una mezcla sustrato compuesta por aserrín de coco, arena, estiércol de

caballo y cáscara de arroz, combinados en una relación volumétrica de 1,5:1:2:1,5, respectivamente. Las características físicas determinadas para este sustrato mostraron un 61,74 % de porosidad total, 15,63 % de porosidad de aireación, 45,97 % de capacidad de retención hídrica y una densidad aparente de 0,50 mg/m³, considerándose propiedades estructurales idóneas para el manejo de cultivos en envases.

Diseño de la investigación

Se empleó un diseño experimental, completamente al azar estructurado bajo un arreglo factorial de 2x2 (dos regímenes de luz × dos condiciones de fertilización), lo que generó un total de 4 tratamientos con 4 repeticiones, definiendo a una planta individual como la unidad experimental.

Manejo de tratamientos y condiciones ambientales

El desarrollo del ensayo se llevó a cabo en una estructura de invernadero protegida con cubiertas de mallas plásticas. Con la finalidad de evaluar la respuesta de la especie a la radiación solar incidente, las plantas se sometieron a dos escenarios de

luminosidad controlada mediante sombreamiento artificial regulado: un lote expuesto a alta irradiancia (20 % de sombreamiento artificial) y otro bajo condiciones de baja irradiancia (80 % de sombreamiento artificial). cubierta con mallas de 20 y 80 % de sombra. La malla de 20 % (sol) permitió una irradiancia promedio diaria de 920 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mientras que con la malla de 80 % (sombra) la irradiancia promedio fue de 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

El suministro hídrico se realizó a través de riegos manuales efectuados con una frecuencia de dos veces por semana durante todo el periodo de evaluación. Dentro de cada régimen de irradiancia establecido, las plantas se dividieron en dos grupos para evaluar el factor nutricional: a.- con fertilización: un lote de cuatro plantas recibió aplicaciones semanales de fertilizante foliar utilizando el producto comercial Solub (fórmula equilibrada 18-18-18 enriquecida con micronutrientes), diluido en una dosis de 0,5 g L⁻¹; b.-sin fertilización: un lote testigo de cuatro plantas que se mantuvo únicamente bajo riego hídrico, sin aporte de nutrientes exógenos (Tabla 1).

Tabla 1.

Identificación de los tratamientos del ensayo

Tratamiento	Con fertilizante	Sin fertilizante
Sol (20 % sombra)	T1	T2
Sombra (80 % sombra)	T3	T4

Las evaluaciones morfológicas se efectuaron de manera quincenal, registrando las variables altura de la planta (longitud medida verticalmente desde la base del sustrato hasta el ápice de la hoja más prominente), alcance lateral de la roseta, cuantificación total del número de hojas por planta

y longitud individual del órgano foliar. Por otra parte, la concentración relativa de clorofila se determinó mensualmente a los 30 y 60 días del ensayo utilizando un medidor electrónico portátil SPAD-502 Minolta; para esta variable se promedió la lectura obtenida en tres hojas por cada unidad experimental.

Análisis Estadístico

Los datos recolectados se procesaron mediante análisis de varianza (ANOVA). En el caso de las variables sujetas a mediciones cronológicas sucesivas sobre los mismos individuos, se aplicaron pruebas estadísticas de medidas repetidas. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, ejecutando todos los procedimientos computacionales con el software estadístico Statistix en su versión 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar la densidad del follaje, el análisis no arrojó variaciones estadísticamente perceptibles en lo que respecta al número total de hojas. Dicho comportamiento sugiere que *Billbergia pyramidalis* cuenta con una plasticidad morfológica inherente, idónea para sobrellevar y adecuarse efi-

cientemente a entornos caracterizados por una reducida disponibilidad de radiación solar.

Contenido relativo de clorofila (Índice SPAD)

Las evaluaciones efectuadas a los 30 y 60 días mostraron que la concentración de pigmentos fotosintéticos en el follaje dependió de forma directa, y en primera instancia, del régimen de iluminación, manifestando además una respuesta modulada por el aporte nutricional (Fig. 2). Las plantas sometidas al escenario de baja irradiancia (80 % de sombreamiento artificial) que contaron con el suministro de nutrientes alcanzaron un valor promedio de 28 unidades SPAD, posicionándose estadísticamente por encima de las demás variantes evaluadas.

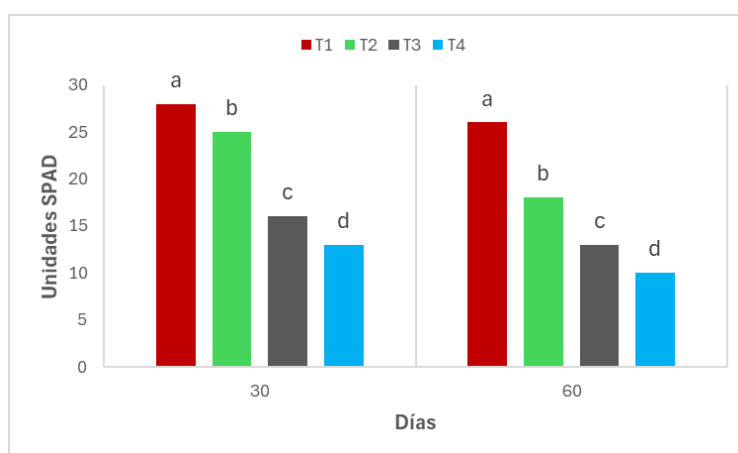


Figura 2: Contenido relativo de clorofila foliar (unidades SPAD) en plantas de *Billbergia pyramidalis* a los 30 y 60 días de edad.

Nota. T1: Plantas con sombra, fertilizadas. T2: Plantas con sombra, no fertilizadas. T3: Plantas con sol, fertilizadas. T4: Plantas con sol, no fertilizadas.

Fisiológicamente, este incremento en condiciones de sombra se fundamenta en lo expuesto por Taiz y Zeiger, (2010), quienes explican que las estructuras foliares desarrolladas bajo un dosel denso o baja luminosidad tienden a incrementar la cantidad de tilacoides por cloroplasto y a con-

centrar una mayor densidad de pigmentos con el propósito de optimizar la captación de los escasos fotones incidentes. No obstante, es oportuno señalar que el registro máximo de 28 unidades SPAD reportado en este ensayo se ubicó por debajo de las 50 unidades SPAD descritas por Ojeda et

al. (2010) al trabajar con ejemplares de esta misma especie pero con una edad cronológica superior (ocho meses).

A nivel comparativo, este patrón de acumulación clorofílica estimulado por el sombreado coincide plenamente con los reportes biológicos obtenidos en otras especies tropicales como *Crescentia cujete* (Piña y Arboleda, 2010). La cantidad de clorofila exhibió una reacción particular en cada especie cuando se expuso a LEDs de luz monocromática o a una combinación de luces roja y azul en la investigación de García-Caparrós *et al.* (2020) al cultivar plantas de *Tradescantia zebrina* y de *Chlorophytum comosum* en una cámara de cultivo durante dos meses, en contenedores plásticos, para evaluar los efectos de diferentes tratamientos lumínicos.

Altura de la planta y alcance lateral

El registro de las dimensiones tridimensionales del cultivo denotó una tasa de incremento vegetativo pausada pero constante a lo largo del tiempo, lo que permitió establecer diferencias con alta significancia estadística al cabo de los 60 días de evaluación (Fig. 3 y 4). El tratamiento

que combinó un entorno de baja irradiancia (80 % de sombreado artificial) con la dosificación del fertilizante foliar fue el que promovió el mayor desarrollo, alcanzando una altura máxima de 20,0 cm y una envergadura o alcance lateral de 24,81 cm.

Los presentes resultados corroboran que la restricción de luz directa actúa como un estímulo que potencia el alargamiento y la expansión vegetativa en diversos taxones de la familia Bromeliaceae (Arboleda, 2011). Respuestas adaptativas equivalentes han sido descritas en una amplia gama de especies de uso ornamental y aromático, cuyo pico de crecimiento vegetativo se concentra al ser establecidas bajo porcentajes de sombreado situados entre el 25 % y el 50 % (Leal *et al.*, 2015).

Aguilar-Luna y Hernández-Vargas en México, (2025) reportaron valores más altos de 32,98 cm para el crecimiento del brote terminal, 4,80 mm. día⁻¹ en la tasa de crecimiento al analizar el impacto de la radiación solar, la naturaleza del sustrato y las condiciones ambientales, en el crecimiento y la calidad ornamental de las plantas de *E. cotinifolia*, propagadas a partir de esquejes semileñosos.

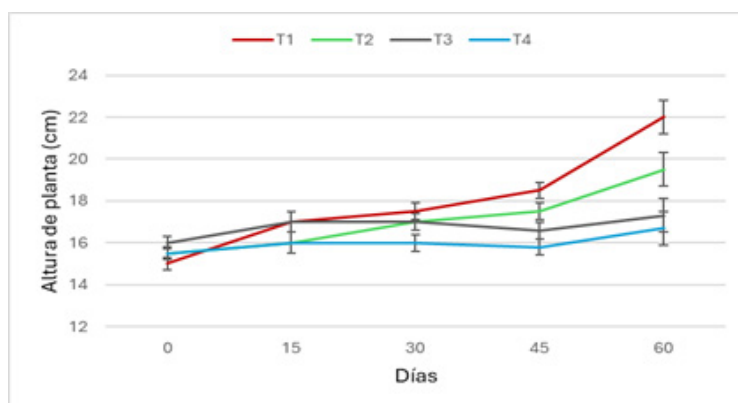


Figura 3: Altura de la planta en *Billbergia pyramidalis* a intervalos de 15 días.

Nota. T1: Plantas con sombra, fertilizadas. T2: Plantas con sombra, no fertilizadas. T3: Plantas con sol, fertilizadas. T4: Plantas con sol, no fertilizadas. Las barras en cada punto representan el error estándar de las mediciones.

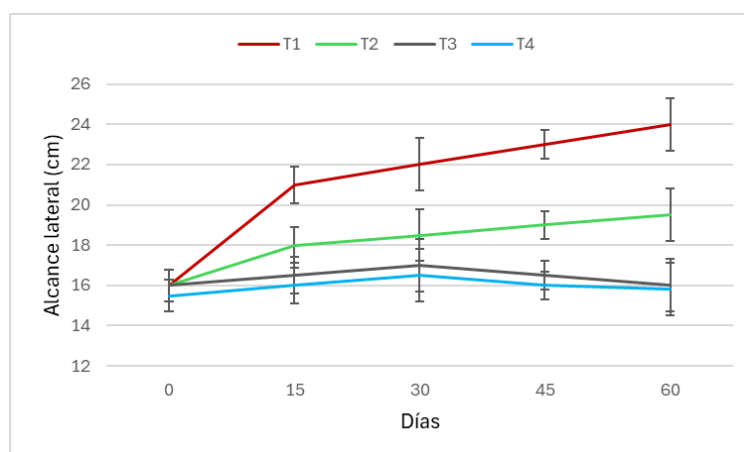


Figura 4: Alcance lateral en plantas de *Billbergia pyramidalis* a intervalos de 15 días.

Nota. T1: Plantas con sombra, fertilizadas. T2: Plantas con sombra, no fertilizadas. T3: Plantas con sol, fertilizadas. T4: Plantas con sol, no fertilizadas. Las barras en cada punto representan el error estándar de las mediciones.

Por otro lado, la notable asimilación del plan de fertilización química foliar se asocia directamente a las características del sustrato empleado, el cual estuvo conformado primordialmente por insumos de naturaleza inerte. Las bromeliáceas que poseen una morfología de tanque (como el género *Billbergia*) tienen la particularidad de absorber agua y minerales mediante un mecanismo sinérgico que involucra, tanto al sistema radicular como a los tricomas peltados especializados distribuidos en la superficie epidérmica de sus hojas (Leroy *et al.*, 2019). De este modo, el suministro quincenal de la dosis de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ del producto equilibrado 18-18-18 dotó a la planta de los requerimientos necesarios sin generar fitotoxicidad; una tendencia benéfica que también se ha verificado en viveros al nutrir especies como *Dracocephalum moldavica* o cultivos en contenedores de *Vaccinium corymbosum* (Clark y Zheng, 2020 y Heydarzadeh *et al.*, 2023).

Número y longitud de las hojas

Al contrario a la dinámica observada en las variables de volumen, los factores evaluados no ejercieron una influencia estadísticamente significativa sobre la tasa de emisión de hojas ni sobre la longitud final de las mismas (Fig. 5 y 6). Al cumplir los dos meses de edad, el grupo de plantas presentó un total de 8,1 hojas por individuo. Al comparar este dato ontogénico con las 18,1 hojas registradas por Ojeda *et al.* (2010) en plantas de la misma especie, pero de ocho meses de edad, se evidencia una clara correspondencia en el ritmo de desarrollo cronológico. Esto demuestra que, ante variaciones en la oferta ambiental, *B. pyramidalis* prefiere regular su arquitectura espacial externa (altura y cobertura radial) mediante elongación celular, antes que alterar el número absoluto o la longitud de sus órganos foliares.

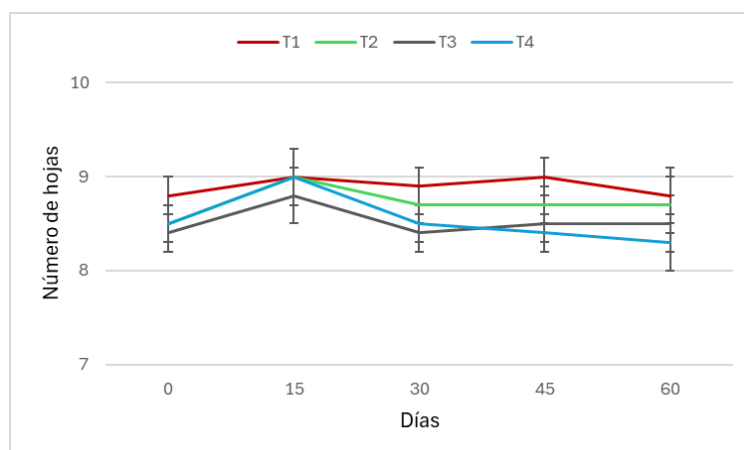


Figura 5: Número de hojas por planta en *Billbergia pyramidalis* a intervalos de 15 días.

Nota. T1: Plantas con sombra, fertilizadas. T2: Plantas con sombra, no fertilizadas. T3: Plantas con sol, fertilizadas. T4: Plantas con sol, no fertilizadas. Las barras en cada punto representan el error estándar de las mediciones.

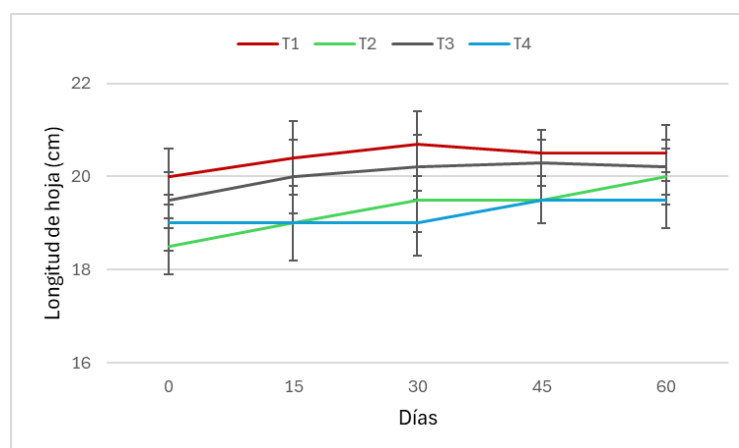


Figura 6: Longitud de la hoja en plantas de *Billbergia pyramidalis* a intervalos de 15 días.

Nota. T1: Plantas con sombra, fertilizadas. T2: Plantas con sombra, no fertilizadas. T3: Plantas con sol, fertilizadas. T4: Plantas con sol, no fertilizadas. Las barras en cada punto representan el error estándar de las mediciones.

CONCLUSIONES

Billbergia pyramidalis mostró una alta aclimatación y plasticidad fisiológica ante escenarios de baja irradiancia (80 % de sombra), evidenciado por un incremento significativo del índice SPAD y del crecimiento vegetativo expresado en la altura y el alcance lateral de la planta.

Los factores de luz y fertilización operan de manera independiente sobre las variables de desarrollo. La combinación de baja irradiancia con un plan de fertilización foliar

optimiza los atributos de calidad comercial del follaje, convirtiendo a esta especie en una opción ideal para condiciones de vivero e interiores.

La densidad foliar, medida a través del número y longitud de las hojas, no se ve afectada por los tratamientos de luz y fertilización aplicados durante los primeros dos meses de cultivo, lo que ratifica que la especie prioriza la expansión celular bajo sombra, antes que la generación de nuevos órganos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar- Luna, J. M., y Hernández- Vargas, L. (2025). Effect of solar irradiation, substrate type and environment on the growth and ornamental quality of *Euphorbia cotinifolia* plants. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 42(3), e254234. DOI: [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n3.V](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n3.V)
- Arboleda, M. E. (2011). Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes como cobertura ornamental. *Bioagro*, 23(3), 175-184. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000300004
- Booth, C. (2019). *Billbergia: Inside and out*. *Bromeliads.info* <https://www.bromeliads.info/billbergia/>
- Chen, J., y Wei, X. (2018). Controlled-release fertilizers as a means to reduce nitrogen leaching and runoff in container-grown plant production. En Amanullah y Shah Fahad (Ed.), *Nitrogen in agriculture-updates*. IntechOpen.
- Clark, M. J., y Zheng, Y. (2020). Fertilization methods for organic and conventional potted blueberry plants. *HortScience*, 55(3), 304-309. DOI:10.21273/HORTSCI14416-19
- Darras, A. I. (2020). Implementation of sustainable practices to ornamental plant cultivation worldwide: A critical review. *Agronomy*, 10(10), 1570. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101570>
- García-Caparrós, P., Martínez-Ramírez, G., Almansa, E. M., Javier Barbero, F., Chica, R. M., y Teresa Lao, M. (2020). Growth, photosynthesis, and physiological responses of ornamental plants to complementation with monochromic or mixed red-blue LEDs for use in indoor environments. *Agronomy*, 10(2), 284. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020284>
- Heydarzadeh, S., Arena, C., Vitale, E., Rahimi, A., Mirzapour, M., Nasar, J., y Gitari, H. (2023). Impact of different fertilizer sources under supplemental irrigation and rainfed conditions on eco-physiological responses and yield characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*). *Plants*, 12(8), 1693. <https://doi.org/10.3390/plants12081693>
- Ladino, G., Ospina-Bautista, F., Estévez Varón, J., Jerabkova, L., y Kratina, P. (2019). Ecosystem services provided by bromeliad plants: A systematic review. *Ecology and Evolution*, 9(12):7360-7372. doi: 10.1002/ece3.5296Leroy
- Lapa, M.G., Shepherd, G.J., Sant'Anna, T., y Giuliatti, A. (2007). *Flora Fanerogâmica del estado de São Paulo*, Instituto de Botânica, São Paulo.
- Leroy, C. L., Gril, E., Si Ouali, L., Coste, S., Gérard, B., Maillard, P., Mercier, H., y Stahl, C. (2019). Water and nutrient uptake capacity of leaf-absorbing trichomes vs. roots in epiphytic tank bromeliads. *Environmental and Experimental Botany*, 163, 112-123. 10.1016/j.envexpbot.2019.04.012

- Leal, C. C., Torres, S. B., Freitas, R. M. D., Nogueira, N. W., y Farias, R. M. D. (2015). Light intensity and type of container on producing *Cassia grandis* L. f. seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 939-945. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p939-945
- Ojeda, M., Mogollón, N., Pérez C, M. y Maciel, N. (2010). Efecto de la irradiancia sobre el crecimiento y la clorofila de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley. scar 7-26. <https://www.semanticscholar.org/paper/Efecto-de-la-irradiancia-sobre-el-crecimiento-y-la-Ojeda-Mogoll%C3%B3n/425b387d74a27df862afb3321e6eaf7f237b726b>
- Piña, M., y Arboleda, M. E. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1), 61-66. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716706008.pdf>
- Taiz, L., y Zeiger, E. (Fifth Edition). (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Sunderland.
- Vieira Pinto-Junior, H., Campanharo, F., Areal de Carvalho, L., Campostrini, R., Falqueto, A. R., y Menezes, L. F. T. (2026). Functional diversification and adaptive evolution in Bromeliaceae: An integrative synthesis of anatomy, physiology, and ecology. *Flora*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2026.153058>.
- Xu, Y., Tao, Y., Ye, C., Xiao, D., Chen, S., Chu, G., Xu, C., Huang, J., y Wang, D. (2025). Cultivar difference in rice leaf color change during the later reproductive stage and its relationship with grain filling and nitrogen level. *The Crop Journal*, 13 (6), 1866-1873. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2025.09.013>

Declaración de roles de autores:

- Geine Alvarado: Investigación, metodología y borrador original.
- Reinaldo Pire: Análisis formal, redacción, edición final.

Edición génica contra el virus de la mancha anular de papaya (*Carica papaya*)

Genome editing against papaya ringspot virus in papaya (Carica papaya)

 Iris Pérez-Almeida¹

 Josué A. Barberán-Álvarez¹

 Erika Domínguez-Ramírez¹

 Irma N. Mandujano-Aylas²

iperez@ecotec.edu.ec 

1.- Universidad Ecotec. Samborondón, Guayas, Ecuador

2.- Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

Recibido: 22/01/2026

Revisado: 27/03/2026

Aceptado: 03/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La papaya (*Carica papaya* L.) constituyó un cultivo tropical de importancia alimentaria e industrial cuya productividad estuvo limitada de forma persistente por el virus de la mancha anular de la papaya (PRSV). Esta revisión analizó cómo la domesticación, la diversidad genética, los recursos fitogenéticos, la biología reproductiva y la arquitectura genómica condicionaron el mejoramiento frente al PRSV, y evaluó la edición de factores de susceptibilidad como estrategia emergente. Se realizó una revisión narrativa crítica de artículos indexados en Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar hasta septiembre de 2026. La evidencia mostró que la resistencia fuerte fue escasa en el acervo cultivado y que las especies de *Vasconcellea* aportaron variantes útiles, aunque su transferencia estuvo restringida por incompatibilidad, esterilidad y arrastre de ligamiento. La resistencia transgénica ha demostrado eficacia comercial, pero su desempeño depende del aislado y su adopción afronta barreras regulatorias y comerciales. Las plantas T0 editadas en *eIF4E* no presentaron acumulación detectable de PRSV en una prueba de concepto, mientras la edición de *eIF(iso)4E* no evitó la infección. Sin embargo, la evidencia se limitó a pocas líneas, un aislado y materiales quiméricos o heterocigotos. Se concluyó que la edición génica ofrece una ruta plausible si se integraba con pangenómica, caracterización de aislados locales, obtención de líneas heredables sin ADN foráneo cuando corresponda y evaluación fitopatológica y agronómica multisitio.

Palabras clave: *Caricaceae*, *eIF4E*, fitomejoramiento, germoplasma, resistencia antiviral, *Vasconcellea*.

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) was a tropical crop of nutritional and industrial importance whose productivity remained persistently constrained by papaya ringspot virus (PRSV).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;102-116

This review examined how domestication, genetic diversity, plant genetic resources, reproductive biology, and genome architecture shaped breeding against PRSV and assessed the editing of host susceptibility factors as an emerging strategy. A critical narrative review of articles indexed in Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar through September 2026 was conducted. The evidence showed that strong resistance was scarce within cultivated germplasm and that *Vasconcellea* species provided useful variation, although transfer was restricted by incompatibility, sterility, and *linkage drag*. Transgenic resistance demonstrated commercial effectiveness, but performance depended on the viral isolate and adoption faced regulatory and market barriers. T0 plants edited at *eIF4E* showed no detectable PRSV accumulation in a proof-of-concept study, whereas editing *eIF(iso)4E* did not prevent infection. Nevertheless, the evidence was limited to few lines, one isolate, and chimeric or heterozygous materials. Genome editing was therefore considered a plausible breeding route only when integrated with pangenomic information, characterization of local isolates, recovery of heritable lines without foreign DNA when applicable, and multi-environment phytopathological and agronomic evaluation. This approach was interpreted as complementary to germplasm conservation and integrated disease management rather than a replacement for them.

Keywords: *Caricaceae*, *eIF4E*, germplasm, host susceptibility, plant breeding, *Vasconcellea*.

INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una especie diploide de la familia Caricaceae, originaria de Mesoamérica y actualmente cultivada en regiones tropicales y subtropicales. Su fruto se consume principalmente fresco, pero el cultivo también aporta materia prima para alimentos procesados y para la obtención de papaína, una enzima proteolítica utilizada en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. La rapidez de crecimiento y la producción temprana favorecen su inclusión en sistemas frutícolas intensivos; al mismo tiempo, esa continuidad productiva incrementa la exposición a patógenos capaces de reducir drásticamente la vida útil de las plantaciones.

Entre las restricciones fitosanitarias, el virus de la mancha anular de la papaya (PRSV) ocupa una posición central. El biotipo P infecta papaya y cucurbitáceas, se transmite de manera no persistente por

varias especies de áfidos y puede difundirse antes de que un tratamiento insecticida afecte al vector. Las plantas enfermas presentan mosaico, aclaramiento de nervaduras, deformación foliar, reducción del crecimiento y anillos o manchas en el fruto; cuando la infección ocurre temprano, la producción y la calidad comercial pueden quedar severamente comprometidas (Tripathi *et al.*, 2008; Medina-Salguero *et al.*, 2021). Por ello, el control del vector, la eliminación de plantas enfermas y el manejo de hospederos alternativos reducen el inóculo, pero rara vez eliminan el riesgo regional.

La respuesta genética al PRSV ha seguido tres rutas. La primera busca resistencia natural dentro de *C. papaya* o en parientes como *Vasconcellea* y procura transferirla mediante cruzamiento, rescate de embriones y retrocruzamiento. La segunda emplea transgenes derivados del propio

virus para activar silenciamiento de ARN; su ejemplo emblemático es el desarrollo de ‘SunUp’ y ‘Rainbow’, que contribuyó a recuperar la producción hawaiana. La tercera, todavía emergente, modifica factores de susceptibilidad del hospedero mediante edición génica. Esta última estrategia no añade necesariamente un gen de resistencia: puede impedir que el virus utilice una proteína celular indispensable para su ciclo.

El interés por la edición coincide con una expansión de los recursos genómicos de papaya. A los genomas de referencia se suman análisis poblacionales, ensamblajes de cultivares contrastantes, pangenomas y catálogos de variación estructural que permiten diseñar guías sobre la diversidad real del cultivo, anticipar polimorfismos en los sitios diana y evaluar posibles efectos fuera de objetivo (Ming *et al.*, 2008 y Yang *et al.*, 2025, 2026). La biología sexual también es decisiva: la existencia de plantas femeninas, masculinas y hermafroditas, junto con la letalidad de combinaciones homocigotas del cromosoma Y o Yh, determina los cruzamientos y la recuperación de líneas editadas estables.

El objetivo de esta revisión es analizar cómo la diversidad genética, los recursos fitogenéticos, la arquitectura genómica y la reproducción de *C. papaya* condicionan el mejoramiento frente al PRSV, y evaluar críticamente la edición de *eIF4E* como vía para generar resistencia. El aporte integrador consiste en conectar la información del germoplasma y del pangenoma con la interacción molecular *VPg-eIF4E* y proponer una ruta experimental aplicable a cultivares adaptados, con énfasis en la diversidad viral y las condiciones regulatorias de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa crítica guiada por la pregunta: ¿qué evidencia genética, genómica, fitopatológica y biotecnológica sustentó el uso de edición génica para obtener papaya resistente al PRSV? Se consultaron Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar, sin límite inicial y hasta septiembre de 2026. Se combinaron los términos “*Carica papaya*”, “papaya ringspot virus”, “PRSV”, “genetic diversity”, “germplasm”, “*Vasconcellea*”, “*eIF4E*”, “VPg”, “CRISPR”, “Cas9”, “Cas12a”, “base editing” y sus equivalentes en español mediante los operadores AND y OR.

Se incluyeron artículos originales y revisiones arbitradas con información verificable sobre diversidad, domesticación, recursos genómicos, biología reproductiva, epidemiología del PRSV, resistencia convencional, transgénesis o edición génica en papaya y sistemas potyvirus–hospedero. Se priorizaron trabajos recientes y estudios clásicos indispensables; se excluyeron duplicados, documentos sin texto completo, resúmenes sin datos y publicaciones sin relación directa con el objetivo. La evidencia se sintetizó por temas y se comparó según solidez experimental, alcance biológico, aplicabilidad al mejoramiento y limitaciones. Esta estrategia no pretendió estimar un efecto combinado ni sustituir una revisión sistemática.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Papaya como especie y cultivo

La evidencia botánica, genética y biogeográfica sitúa el origen de *C. papaya* en Mesoamérica. Las poblaciones silvestres se concentran desde el sur de México hasta Centroamérica, mientras que la

domesticación favoreció frutos de mayor tamaño, cambios en la arquitectura y la incorporación de formas hermafroditas en sistemas cultivados (Chávez-Pesqueira y Núñez-Farfán, 2017). No existe sustento suficiente para atribuir el origen de la especie a un cruce reciente entre *C. peltata* y otras formas silvestres; por ello, esa explicación debe evitarse y el origen debe presentarse como un proceso evolutivo y de domesticación dentro del linaje de *Cariaceae*.

La selección humana produjo materiales adaptados al mercado, agrupados con frecuencia en los tipos comerciales Solo y Formosa. Los primeros suelen presentar frutos pequeños o medianos destinados al consumo individual; los segundos incluyen frutos de mayor tamaño y alta importancia en mercados nacionales. Esta especialización mejoró uniformidad, calidad y productividad, pero redujo parte de la diversidad disponible en los cultivares. La consecuencia para el mejoramiento sanitario es directa: una base comercial estrecha limita la probabilidad de encontrar resistencia fuerte dentro del material ya adaptado.

Arquitectura genómica y recursos genéticos

Genoma de referencia y pangenoma

C. papaya es diploide, con $2n = 2x = 18$ cromosomas. El genoma nuclear se estimó inicialmente en aproximadamente 372 Mb y el ensamblaje de 'SunUp' proporcionó uno de los primeros genomas de un cultivo frutal transgénico, con una fracción repetitiva cercana a la mitad del genoma (Ming *et al.*, 2008). Los mapas físicos y genéticos de alta densidad facilitaron la integración de contigs, grupos de ligamiento y marcadores, y establecieron una base para localizar genes asociados con sexo,

calidad del fruto y respuesta a enfermedades (Ming *et al.*, 2008).

Los ensamblajes recientes modificaron la idea de que un solo genoma de referencia representa adecuadamente a la especie. El genoma de 'Zihui' y el análisis de 201 genomas resecuenciados distinguieron grupos silvestres, semisilvestres, Solo y Común, además de regiones sometidas a selección durante la domesticación (Yang *et al.*, 2025). Un pangenoma posterior integró seis variedades y datos poblacionales, revelando secuencias variables y miles de variantes estructurales, incluidas inserciones, deleciones, translocaciones e inversiones (Yang *et al.*, 2026).

Para edición génica, el pangenoma tiene una función práctica. Una guía diseñada únicamente con 'SunUp' puede solaparse con un SNP, una inserción o una deleción presente en otro cultivar, reduciendo el reconocimiento del blanco o creando sitios alternativos. Antes de editar *eIF4E* en materiales locales, deben secuenciarse el locus, sus regiones reguladoras, *eIF(iso)4E* y los posibles off-targets; luego deben contrastarse con genomas representativos. Esta precaución convierte la diversidad genómica en un insumo del diseño CRISPR, no solo en un antecedente descriptivo. Las Figuras 1 y 2 resumen la organización y los reordenamientos de los cromosomas sexuales.

Diversidad genética y estructura poblacional

La domesticación no eliminó toda la variación de *C. papaya*, pero redistribuyó su diversidad. Las poblaciones silvestres del norte de Mesoamérica presentan alta variación nuclear y haplotípica, mientras que ciertos materiales cultivados exhiben mayor homogeneidad y endogamia. La

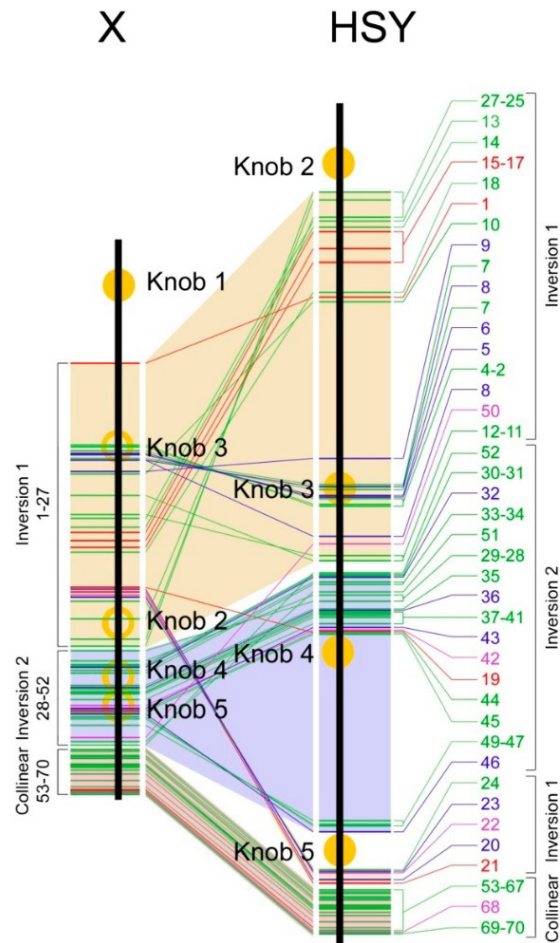


Figura 1: Mapa de sintenia y reordenamientos entre el cromosoma X y la región específica de hermafroditismo (HSY) de papaya. Se muestran genes homólogos, pseudogenes, inversiones y regiones colineales. Adaptado de Wang *et al.* (2012)

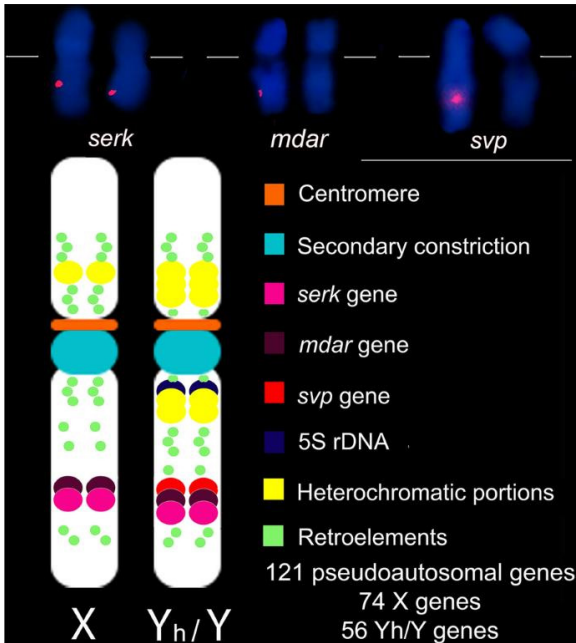


Figura 2: Ideograma comparativo de los cromosomas sexuales X y Y/Yh y localización de marcadores en papaya. Adaptado de Dornela *et al.* (2024)

comparación entre estudios requiere cautela, porque heterocigosidad, FST o AMOVA dependen del marcador, del tamaño muestral y del origen del germoplasma. Los valores obtenidos con SSR, cpDNA, RAPD, ISSR o variantes genómicas no son intercambiables (Yang *et al.*, 2025 y Yang *et al.*, 2026).

Acervos genéticos y parientes silvestres

Desde el fitomejoramiento, los recursos genéticos se ordenan por cruzabilidad y posibilidad real de transferencia. El acervo primario incluye cultivares, variedades criollas, líneas élite y poblaciones silvestres de *C. papaya*, que pueden cruzarse directamente. Su ventaja es la compatibilidad; su limitación es la escasez de resistencia completa y estable al PRSV en materiales comerciales. Las colecciones deben caracterizarse simultáneamente por diversidad, calidad, sexo, adaptación y respuesta a aislados virales.

Como acervo secundario operativo se consideran especies de *Vasconcellea*, entre ellas *V. cauliflora*, *V. pubescens*, *V. cundinamarcensis*, *V. parviflora* y *V. quercifolia*.

folia. Estas especies aportan variación para respuesta al PRSV y otros rasgos, pero su proximidad taxonómica no garantiza una introgresión sencilla. Se han empleado polinización manual, rescate de embriones, micropropagación, especies puente y retrocruzamientos; aun así, la baja recuperación de híbridos, la esterilidad F1 y el arrastre de ligamiento prolongan los programas (O'Brien y Drew, 2010).

V. cauliflora es especialmente relevante porque conecta dos enfoques. La especie aporta resistencia fenotípica al PRSV y su *eIF4E* presenta sustituciones L227H y S230G asociadas con materiales resistentes (Harini *et al.*, 2019). En lugar de transferir un segmento genómico amplio desde el pariente silvestre, la edición de precisión podría recrear cambios funcionales equivalentes en un cultivar adaptado. Esta hipótesis debe validarse experimentalmente: asociación no equivale a causalidad, y una sustitución favorable puede depender del fondo genético y del aislado viral. La Figura 3 organiza estos recursos según su accesibilidad para el cruzamiento y la edición.

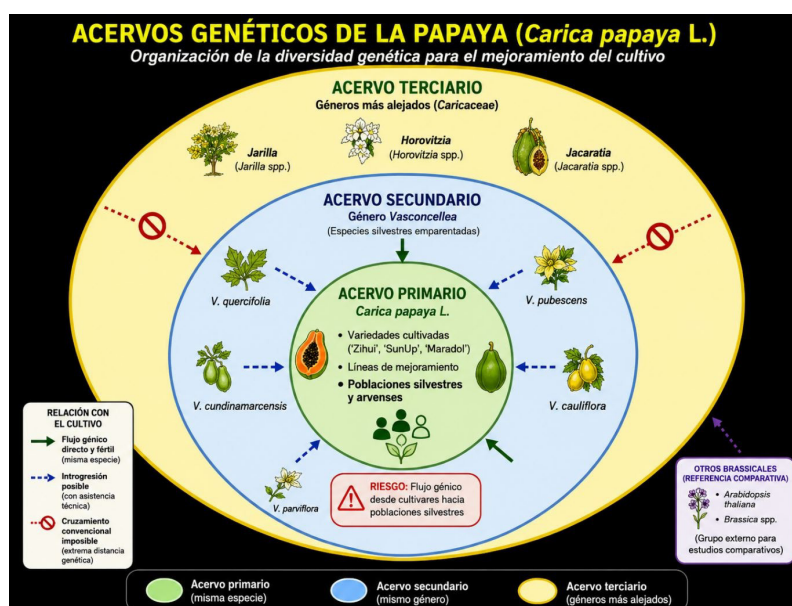


Figura 3: Acervos genéticos de la papaya y organización de la diversidad útil para el mejoramiento.

Nota. T1: La figura resume cruzabilidad, barreras intergenéricas y riesgo de flujo génico desde cultivos hacia poblaciones silvestres

Biología reproductiva e implicaciones para el mejoramiento

En *C. papaya* se observan plantas femeninas (XX), masculinas (XY) y hermafroditas (XYh). La composición de las poblaciones no es uniformemente trioica: las poblaciones silvestres tienden a ser dioicas, mientras que numerosos cultivares son ginodioicos y reúnen plantas femeninas y hermafroditas. Los cromosomas Y y Yh contienen regiones específicas asociadas con masculinidad y hermafroditismo, respectivamente, y representan un sistema joven de evolución de cromosomas sexuales (Wang *et al.*, 2012).

Las combinaciones YY, YYh y YhYh son normalmente letales durante el desarrollo embrionario. En la autopolinización de una planta hermafrodita XYh, la segregación cigótica esperada es 1 XX:2 XYh:1 YhYh; después de la pérdida de YhYh, la progenie viable se aproxima a un tercio de hembras y dos tercios de hermafroditas. En el cruzamiento de una hembra

XX con un hermafrodita XYh, la progenie viable se distribuye aproximadamente 1:1. Esta genética influye en el tamaño de población necesario para recuperar simultáneamente sexo comercial, alelo editado y ausencia del cassette.

Las plantas hermafroditas sí pueden autofecundarse, por lo que la fijación de alelos editados y la segregación del transgén son factibles. Hasley *et al.* (2025) obtuvieron mutantes homocigotos o bialélicos con Cas9 y Cas12a y señalaron la posibilidad de recuperar segregantes homocigotos sin transgén en la generación siguiente. La propagación vegetativa sirve para multiplicar y evaluar un T0, pero no reemplaza la segregación sexual cuando el objetivo es estabilizar una mutación y eliminar un *cassette* de transformación. Las Figuras 4 y 5 muestran los tipos florales y su diferenciación sexual.



Figura 3: Tipos florales de papaya: hermafrodita (XYh), femenina (XX) y masculina (XY). Adaptado de Yue *et al.* (2026)



Figura 5: Desarrollo comparativo de flores XX y XY y diferenciación de pistilos y estambres en papaya. Adaptado de Xiang *et al.* (2025)

El PRSV como restricción fitosanitaria

Biología, transmisión y síntomas

PRSV pertenece al género *Potyvirus* y posee un genoma de ARN monocatenario de sentido positivo de alrededor de 10,3 kb, unido en el extremo 5' a la proteína VPg y con una cola poli(A) en 3'. Una gran ORF codifica una poliproteína que se procesa en proteínas maduras implicadas en replicación, movimiento, transmisión y supresión de defensas. Entre ellas se encuentran P1, HC-Pro, P3, 6K1, CI, 6K2, NIa-VPg, NIa-Pro, NIb y la proteína de la cápside; además, P3N-PIPO se expresa por cambio de marco (Tripathi *et al.*, 2008 y Medina-Salguero *et al.*, 2021).

Los síntomas dependen del cultivar, edad, ambiente y aislado. Aclaramiento de nervaduras, mosaico, ampollamiento, deformación y reducción de la lámina foliar disminuyen el área fotosintética; las estrías aceitosas en peciolo y tallos y los anillos en frutos deterioran el valor comercial. La infección altera además la fisiología y la partición de azúcares, de modo que una evaluación de resistencia no debe limitarse

a una escala visual (Tripathi *et al.*, 2008). Se requiere combinar síntomas con ELISA o RT-qPCR, crecimiento, floración, rendimiento y calidad.

Diversidad viral y evidencia ecuatoriana

En Ecuador se secuenciaron aislados leve y severo de PRSV-P obtenidos en plantaciones comerciales. Ambos genomas se agruparon con aislados sudamericanos, pero el aislado leve no proporcionó protección durable: después de la superinfección, el aislado severo terminó dominando entre 90 y 120 días. En el muestreo de 340 plantas de cinco provincias, el aislado severo alcanzó incidencias de 50 a 100 % en Guayas, Manabí y Santa Elena, mientras el leve se detectó principalmente en Los Ríos y Santo Domingo (Medina-Salguero *et al.*, 2021). Esta evidencia demuestra que el problema y la variación de aislados ya están documentados localmente.

Una estrategia de edición para Ecuador debe iniciar con una colección re-

representativa de aislados, secuenciación de genomas completos y análisis de diversidad, recombinación y grupos filogenéticos. La pregunta no es solo si el locus editado protege contra un aislado de laboratorio, sino si reduce infección y acumulación viral frente a la diversidad que enfrentará el cultivar durante varios ciclos productivos.

Estrategias genéticas frente al PRSV

Resistencia natural e introgresión

La búsqueda de resistencia natural es la vía más compatible con el mejoramiento convencional. Su principal obstáculo es que la resistencia fuerte no abunda en el acervo cultivado. *Vasconcellea* ofrece una fuente biológica valiosa, pero la transferencia a *C. papaya* puede requerir rescate de embriones, multiplicación in vitro, uso de especies puente y repetidos retrocruzamientos. Incluso cuando se recupera un híbrido resistente, la esterilidad y el arrastre de regiones no deseadas pueden comprometer fertilidad, calidad o adaptación (O'Brien y Drew, 2010).

Resistencia transgénica y sus lecciones

Las papayas 'SunUp' y 'Rainbow' demostraron que la resistencia derivada del patógeno puede proteger un frutal perenne. 'SunUp' es homocigota para el transgén de la proteína de la cápside de un aislado hawaiano, mientras 'Rainbow' es el híbrido entre 'SunUp' y 'Kapoho' y porta una dosis menor. La protección se relaciona principalmente con silenciamiento postranscripcional de ARN y puede variar con dosis génica, edad de la planta y homología entre la secuencia transgénica y el aislado infectante (Tennant *et al.*, 2001).

El éxito hawaiano no debe generalizarse sin considerar el contexto viral. Se han documentado respuestas menores fren-

te a aislados geográficamente divergentes y ruptura de resistencia en determinados materiales o condiciones. Otros programas desarrollaron construcciones con proteína de cápside, replicasa o RNAi adaptadas a aislados locales, incluida la papaya 'Huanong No. 1' en China (Wu *et al.*, 2018). La lección para la edición es doble: una estrategia genética puede transformar la producción, pero la diversidad viral y la vigilancia posliberación siguen siendo necesarias. La Tabla 1 compara el fundamento, las ventajas y las restricciones de estas rutas.

De la susceptibilidad molecular a la edición génica

Interacción VPg-eIF4E

eIF4E es un factor celular de iniciación de la traducción que reconoce la caperuza 5' de numerosos ARNm y participa en el complejo eIF4F. Los potyvirus carecen de una caperuza convencional y utilizan la proteína VPg, unida covalentemente al genoma viral, para interactuar con eIF4E o con miembros relacionados de la familia. Esa interacción facilita traducción, replicación o movimiento, según el sistema hospedero-virus (Shopan *et al.*, 2020).

Por tanto, *eIF4E* no es un gen de resistencia, sino un factor de susceptibilidad. Cuando un alelo deja de sostener una interacción funcional con VPg, el virus pierde acceso a un componente del hospedero y aparece resistencia recesiva por pérdida de susceptibilidad. El desafío consiste en separar la función utilizada por el virus de la función fisiológica necesaria para la planta. Un *knockout* completo puede conferir resistencia, pero también alterar crecimiento, reproducción o respuesta a estrés; una sustitución puntual puede conservar mejor la función celular, aunque su espectro frente a aislados debe demostrarse.

Tabla 1.
Comparación de rutas genéticas para enfrentar el PRSV en papaya

Ruta	Fundamento	Fortalezas	Limitaciones	Estado
Selección en <i>C. papaya</i>	Identificar variación dentro del acervo compatible	Cruzamientos directos; aceptación convencional	Resistencia fuerte escasa; respuesta dependiente de germoplasma y aislado	Uso continuo, sin solución general
Introgresión desde <i>Vasconcellea</i>	Transferir alelos de parientes resistentes	Aprovecha diversidad natural y revela mecanismos	Incompatibilidad, esterilidad, rescate de embriones, linkage drag	Híbridos y materiales experimentales
Transgénesis/RNAi	Introducir secuencias virales que activan silenciamiento	Eficacia comercial demostrada; respuesta rápida	Dependencia de secuencia y dosis; regulación, comercio y aceptación	Cultivares comerciales en países específicos
Edición de <i>eIF4E</i>	Pérdida o modificación de un factor de susceptibilidad	Cambio dirigido; posibilidad de segregantes sin cassette; no depende de introducir un gen viral	Pleiotropía, dependencia del aislado, regeneración y evidencia aún limitada	Prueba de concepto T0 en 2026
Edición puntual/múltiple	Recrear alelos naturales o combinar factores compatibles	Puede preservar mejor la función y ampliar espectro	Diseño y validación complejos; riesgo de penalidad fisiológica	Herramientas disponibles; aplicación a PRSV pendiente

Herramientas de edición disponibles en papaya

La factibilidad técnica de editar papaya precede a la evidencia específica contra PRSV. La mutagénesis de *CpPDS* confirmó que Cas9 puede generar indels y fenotipos esperados. Posteriormente, un sistema basado en suspensiones de callo embriogénico derivadas de hipocótilos y transformación por *Agrobacterium* permitió editar *CpPDS* y *CpMLO6* con Cas9 y Cas12a. Siete de ocho guías fueron funcionales y se recuperaron mutantes homocigotos, bialélicos y quiméricos (Hasley *et al.*, 2025). Cas12a amplía el espacio de blancos hacia regiones ricas en T que no cumplen el PAM típico de Cas9.

La elección no debe basarse solo en eficiencia molecular. Para *eIF4E*, la estrategia más conservadora sería mapear los residuos de interacción con VPg, comparar alelos de *C. papaya* y *Vasconcellea* y ensayar ediciones puntuales que reduzcan la compatibilidad viral sin abolir completamente la traducción. Si estas variantes no protegen, el *knockout* puede mantenerse como alternativa, acompañado por una evaluación rigurosa de aptitud.

Evidencia directa de resistencia al PRSV

Le *et al.* (2026) editaron por separado *eIF4E* y *eIF(iso)4E* en el cultivar viet-

namita 'Linhan' mediante construcciones CRISPR/Cas9 con dos guías. Las plantas regeneradas eran T0 transgénicas: las líneas de *eIF4E* contenían mutaciones quiméricas, mientras las de *eIF(iso)4E* presentaban deleciones heterocigotas extensas. Tras inoculación mecánica con un aislado severo de Vietnam, las líneas editadas en *eIF4E* no mostraron acumulación viral detectable por DAS-ELISA en 20, 30 y 40 días ni por RT-qPCR a los 40 días. Las líneas editadas en *eIF(iso)4E* y el tipo silvestre acumularon virus y desarrollaron síntomas.

El resultado identifica a *eIF4E* como factor crítico de susceptibilidad para el aislado evaluado y constituye una prueba de concepto fuerte. Sin embargo, el experimento incluyó únicamente dos líneas por blanco, dos o tres clones vegetativos por línea y un solo aislado; además, la quimericidad dificulta inferir herencia y dosis alélica. La ausencia de virus en esos ensayos no demuestra todavía resistencia durable a escala de cultivar.

El siguiente paso no es repetir indefinidamente la evaluación de T0, sino obtener líneas homocigotas o bialélicas, segregar el *cassette* cuando se busque una planta sin ADN foráneo, confirmar la estabilidad por secuenciación y desafiar múltiples aislados. También debe comprobarse el ciclo completo: vigor, sexo, floración, rendimiento, calidad, fertilidad y respuesta a estrés. Los propios autores señalan que la resistencia mediada por *eIF4E* puede ser específica de cepa y que los efectos de alelos de pérdida de función requieren evaluación prolongada (Le et al., 2026).

La evidencia revisada mostró una progresión desde la búsqueda de resistencia en germoplasma compatible hasta la modificación dirigida de factores de susceptibi-

lidad. Sin embargo, la fuerza de la evidencia fue desigual: la transgénesis contó con validación comercial, la introgresión interespecífica permaneció limitada por barreras reproductivas y la edición de *eIF4E* se sostuvo todavía en una prueba de concepto T0. La transición hacia un cultivar exigirá integrar fitopatología, genómica, cultivo de tejidos y mejoramiento, y evaluar poblaciones de materiales adaptados frente a una población viral representativa. La Tabla 2 propone una ruta escalonada para esa validación.

De la prueba de concepto al cultivar

La durabilidad se fortalece combinando mecanismos. Una edición favorable de *eIF4E* podría integrarse con resistencia cuantitativa, sanidad de vivero y manejo del paisaje. Si un solo cambio genera presión de selección intensa sobre VPg, la población viral puede evolucionar compatibilidad; por ello, la vigilancia y la evaluación de mezclas de aislados deben continuar después de la liberación. La piramidación debe reservarse para combinaciones con evidencia funcional y sin penalidad acumulativa.

Bioseguridad y oportunidad para Ecuador

La edición génica describe el proceso, no determina por sí sola el producto regulatorio. Una planta T0 obtenida por *Agrobacterium* y que conserva el *cassette* CRISPR contiene ADN foráneo; un descendiente que heredó la mutación pero perdió el *cassette* puede tener una composición diferente. La demostración requiere análisis de segregación, PCR o secuenciación del vector completo y evaluación de inserciones inesperadas. Las afirmaciones de 'libre de transgén' deben basarse en datos, no en la intención del diseño.

Tabla 2.
Programa de mejoramiento de precisión propuesto

Etapas	Actividad central	Criterio de avance
1. Definición del producto	Seleccionar uno o dos cultivares adaptados y precisar mercado, tipo de fruto, sexo, zona y sistema de propagación	Perfil varietal y controles susceptibles definidos
2. Diversidad del hospedero	Secuenciar eIF4E, eIF(iso)4E, regiones reguladoras y off-targets en los parentales; contrastar con pangenoma	Blancos conservados y variantes locales documentadas
3. Diversidad viral	Recolectar y secuenciar aislados de zonas productoras; analizar filogenia, recombinación y virulencia	Panel mínimo de aislados representativos
4. Diseño de edición	Comparar knockout, delección y edición puntual inspirada en Vasconcellea; preevaluar guías	Alta actividad y baja probabilidad de off-target
5. Transformación y regeneración	Editar embriones somáticos o callo embriogénico con Cas9/Cas12a o editores de bases	Número suficiente de eventos independientes
6. Genotipificación	Secuenciación profunda del blanco; evaluar quimericidad, cigosis, cassette y sitios candidatos	Eventos definidos y reproducibles
7. Fijación y limpieza	Autofecundar hermafroditas o cruzar según sexo; seleccionar T1/T2 homocigotas o bialélicas sin cassette	Mutación estable y ausencia de ADN foráneo cuando corresponda
8. Desafío fitopatológico	Inocular cada aislado y mezclas; registrar síntomas, DAS-ELISA/RT-qPCR y movimiento sistémico	Resistencia consistente en repeticiones y aislados
9. Evaluación funcional	Medir crecimiento, fotosíntesis, floración, sexo, fertilidad, rendimiento y calidad de fruto	Sin penalidad agronómica inaceptable
10. Campo y durabilidad	Ensayos confinados multisitio y multitemporada; vigilancia de variantes del virus	Estabilidad genética, fitosanitaria y productiva
11. Regulación y liberación	Preparar expediente molecular, fenotípico y de bioseguridad; tramitar análisis preliminar	Clasificación regulatoria y registro varietal

Ecuador cuenta con una guía específica para semillas y cultivos obtenidos mediante técnicas de mejoramiento de precisión. El Acuerdo Ministerial No. 063, publicado en el Registro Oficial No. 479 en enero de 2024, establece una Solicitud de Análisis Preliminar y una evaluación por el Comité Técnico de Semillas para determinar si un producto puede registrarse o comercializarse como organismo convencio-

nal (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). Por tanto, no corresponde afirmar que toda planta editada sin transgén queda automáticamente exenta; la determinación es caso por caso.

Limitaciones de la evidencia y prioridades de investigación

La primera limitación fue la escasa caracterización conjunta hospedero-virus.

Debe construirse una matriz de compatibilidad entre alelos de *eIF4E/eIF(iso)4E*, fondos genéticos y aislados de PRSV. Las sustituciones naturales descritas en *Vasconcellea* también deben recrearse individualmente y en combinación para distinguir asociación de causalidad y determinar si alteran la interacción VPg-*eIF4E*.

La segunda limitación fue funcional. El *knockout* de un factor de traducción exige evaluar vigor, sexo, fertilidad, rendimiento y respuesta a estrés durante el ciclo completo. Además, los protocolos de transformación y regeneración deben funcionar en más de un fondo elite. La entrega de complejos ribonucleoproteicos evitaría integrar ADN, pero depende de regeneración desde protoplastos; la segregación del *cassette* es más accesible, aunque agrega generaciones.

La tercera limitación fue la durabilidad. Las líneas editadas deberán desafiarse con aislados divergentes, mezclas y pases seriados, acompañados por vigilancia de cambios en VPg. La edición no sustituye las colecciones ni la conservación in situ: el germoplasma silvestre seguirá aportando alelos, mecanismos y capacidad adaptativa. En conjunto, estas brechas delimitan

la agenda necesaria para convertir una respuesta experimental en resistencia agrónomicamente útil.

CONCLUSIONES

La revisión mostró que la vulnerabilidad de la papaya al PRSV combinó una base comercial estrecha, resistencia limitada en el acervo cultivado, diversidad viral y barreras para transferir genes desde parientes silvestres. La transgénesis demostró que la protección genética era viable, pero no eliminó la necesidad de adaptar la resistencia a los aislados y mercados locales. La edición de *eIF4E* modificó esta lógica al actuar sobre un factor de susceptibilidad del hospedero; sin embargo, la respuesta observada en plantas T0 constituyó una prueba de concepto y no un cultivar terminado. Para Ecuador, la ruta prioritaria deberá integrar caracterización del PRSV local, pangenómica, obtención de alelos heredables, eliminación verificable de ADN foráneo cuando corresponda y evaluación fitopatológica y agronómica multisitio. La edición génica deberá complementar la conservación del germoplasma y el manejo integrado para generar resistencia precisa y potencialmente durable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chávez-Pesqueira, M., y Núñez-Farfán, J. (2017). Domestication and genetics of papaya: A review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 155. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00155>
- Dornela, A. F., Soares, F. A. F., Silva, J. C., Sattler, M. C., y Clarindo, W. R. (2024). *Carica papaya* L. sex chromosome review and physical mapping of the serk 2, svp-like and mdar 4 sequences. *Scientific Reports*, 14, 14830. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65880-x>
- Favaratto, L., da Silva, M. L., Buss, D. S., Quadros, O. F., Tapia-Tussell, R., Ventura, J. A., Fernandes, A. A. R., y Fernandes, P. M. B. (2026). The regulatory frameworks surrounding CRISPR-edited papaya and their impact on international commerce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 106(11), 6262-6270. <https://doi.org/10.1002/jsfa.70478>

- Harini, V., Varanavasiappan, S., Arul, L., Kokiladevi, E., Sudhakar, D., Sooriyanathasundaram, K., y Kumar, K. K. (2019). Molecular characterization of eukaryotic translation initiation factor eIF4E gene in PRSV resistant highland papaya. *International Journal of Chemical Studies*, 7(4), 411–415.
- Hasley, J., Dinulong, R.-J., Adhikari, A., Christopher, D., y Tian, M. (2025). Genome editing of papaya using both Cas9 and Cas12a. *Tropical Plant Biology*, 18, 74. <https://doi.org/10.1007/s12042-025-09441-0>
- Le, N. T., Hoang, T. H. T., Tran, H. T., Bui, T. P., Phan, Q., Chu, H. H., Fei, Y., Mason, R. O., Molnar, A., y Do, P. T. (2026). Enhancing papaya resistance to ringspot virus through CRISPR/Cas9-mediated gene editing of eIF4E. *Frontiers in Plant Science*, 17, 1799408. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1799408>
- Medina-Salguero, A. X., Cornejo-Franco, J. F., Grinstead, S., Mowery, J., Mollov, D., y Quito-Avila, D. F. (2021). Genetic characterization of a mild isolate of papaya ringspot virus type-P and assessment of its cross-protection potential under greenhouse and field conditions. *PLOS ONE*, 16(2), e0241652. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241652>
- Ming, R., Hou, S., Feng, Y., Yu, Q., Dionne-Laporte, A., Saw, J. H., Senin, P., Wang, W., Ly, B. V., Lewis, K. L. T., Salzberg, S. L., Feng, L., Jones, M. R., Skelton, R. L., Murray, J. E., Chen, C., Qian, W., Shen, J., Du, P., ... Alam, M. (2008). The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). *Nature*, 452, 991–996. <https://doi.org/10.1038/nature06856>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). Acuerdo Ministerial No. 063: Guía técnica para el uso de semillas o cultivos obtenidos mediante técnicas de mejoramiento de precisión. Registro Oficial No. 479, 17 de enero de 2024. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu223895.pdf>
- O'Brien, C. M., y Drew, R. A. (2010). Marker-assisted hybridisation and backcrossing between *Vasconcellea* species and *Carica papaya* for PRSV-P resistance. *Acta Horticulturae*, 859, 361-368. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.859.43>
- Shopan, J., Lv, X., Hu, Z., Zhang, M., y Yang, J. (2020). Eukaryotic translation initiation factors shape RNA virus resistance in plants. *Horticultural Plant Journal*, 6, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.03.001>
- Tennant, P., Fermin, G., Fitch, M. M., Manshardt, R. M., Slightom, J. L., y Gonsalves, D. (2001). Papaya ringspot virus resistance of transgenic Rainbow and SunUp is affected by gene dosage, plant development, and coat protein homology. *European Journal of Plant Pathology*, 107, 645-653. <https://doi.org/10.1023/A:1017936226557>
- Tripathi, S., Suzuki, J. Y., Ferreira, S. A., y Gonsalves, D. (2008). Papaya ringspot virus-P: Characteristics, pathogenicity, sequence variability and control. *Molecular Plant Pathology*, 9(3), 269-280. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00467.x>

- Wang, B., Cao, X., Lin, Z., Zhuang, Y., Yang, G., Zhu, J.-K., Ming, R., y Yue, J. (2026). Establishing efficient multi-gene editing tools for papaya. *Horticulture Research*, 13(5), uhag049. <https://doi.org/10.1093/hr/uhag049>
- Wang, J., Na, J.-K., Yu, Q., Gschwend, A. R., Han, J., Zeng, F., Aryal, R., VanBuren, R., Murray, J. E., Zhang, W., Navajas-Pérez, R., Feltus, F. A., Lemke, C., Tong, E. J., Chen, C., Wai, C. M., Singh, R., Wang, M.-L., Min, X. J., ... Ming, R. (2012). Sequencing papaya X and Y-h chromosomes reveals molecular basis of incipient sex chromosome evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(34), 13710–13715. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207833109>
- Wu, Z., Mo, C., Zhang, S., y Li, H. (2018). Characterization of papaya ringspot virus isolates infecting transgenic papaya ‘Huanong No. 1’ in South China. *Scientific Reports*, 8, 8206. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26596-x>
- Xiang, T., Zhu, Y., Wang, Y., Chen, X., Zhang, Z., Lai, J., Zhou, P., Ming, R., y Yue, J. (2025). The dynamic regulatory network of stamens and pistils in papaya. *BMC Plant Biology*, 25, 254. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06242-1>
- Yang, M., Kong, X., Zhou, C., Kuang, R., Wu, X., Liu, C., He, H., Xu, Z., y Wei, Y. (2025). Genomic insights into the domestication and genetic basis of yield in papaya. *Horticulture Research*, 12(5), uhaf045. <https://doi.org/10.1093/hr/uhaf045>
- Yang, M., Zhou, C., Kong, X., Kuang, R., Liu, C., Wu, X., Xu, Z., He, H., y Wei, Y. (2026). The pangenome enhances the understanding of the genetic diversity of papaya. *Horticulture Research*, 13(2), uhaf282. <https://doi.org/10.1093/hr/uhaf282>
- Yue, J., Liu, J., Zeng, Q., Wai, C. M., Deng, B., Tong, Y., Zuo, L., Xiang, T., Xie, W., Zhao, X., Lai, J., Liao, J., Lai, Q., Xu, L., Zhu, Y., He, J., Zhang, M., Nie, S., Lin, Z., ... Ming, R. (2026). Recreating viable YYh genotype uncovers the role of CpYYL underlying YY lethality in papaya. *Nature Communications*, 17, 1999. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-68627-6>

Declaración de roles de autores:

- Iris Perez Almeida: Conceptualización; supervisión; metodología; revisión y edición final.
- Josué Barberán: Investigación; redacción; visualización; preparación del borrador.
- Erika Domínguez: Investigación; redacción; visualización; preparación del borrador.
- Irma N. Mandujano Aylas: Investigación y metodología.

Modelos predictivos de crecimiento y desempeño agronómico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) para la costa central del Perú

*Predictive Models of Growth and Agronomic Performance of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) for the Central Coast of Peru*

 Erick Quispe¹ Andrés Casas¹ Isabel Montes¹ Saray Siura¹ Mauricio Maguiña² Alexis Dueñas¹mamaguina@up.edu.pe 

1.- Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

2.- Universidad del Pacifico. Lima, Perú

Recibido: 15/02/2026

Revisado: 10/03/2026

Aceptado: 03/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas de hoja más consumidas en el país, y se destaca en la costa central debido a las condiciones climáticas favorables que facilitan su desarrollo y producción óptimos. El análisis del crecimiento es fundamental para predecir su crecimiento y desarrollo, ya que brinda información para la toma de decisiones agronómicas en la agricultura. El objetivo del estudio fue determinar el comportamiento en sus principales etapas fenológicas de cuatro tipos de lechuga, así como sus patrones de crecimiento en ocho cultivares (Waldman Green, Rouxai, Behn, Desirade, Gaugin, White Boston, Parris Island y Patagonia) durante las temporadas de invierno y primavera en la costa peruana. El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de Horticultura del PIPS de la UNALM, utilizando un diseño de bloques incompletos equilibrados con cuatro bloques y ocho tratamientos, evaluando diez plantas por unidad experimental desde once días después del trasplante hasta la cosecha, registrando datos sobre el número de hojas, la longitud y el ancho de la hoja más grande en cada etapa de crecimiento, para determinar modelos predictivos y sus variables de cosecha. Los parámetros de crecimiento se determinaron utilizando el software RStudio. Se observó que las etapas fenológicas varían entre los distintos tipos y cultivares, lo cual puede verse influenciado por factores ambientales. Los rendimientos mostraron diferencias significativas: el cultivar Patagonia (6,2 kg/m²) resultó significativamente superior; los cultivares Parris Island y White Boston (2,87 y 2,85 kg/m²) no mostraron diferencias significativas entre sí; y todos los cultivares de tipo foliar (entre 1,21 y 2,11 kg/m²) tampoco mostraron diferencias significativas entre ellos. Se observó que los modelos predictivos ARIMA y de regresión proporcionaron un alto porcentaje de variabilidad explicable por el modelo, según la prueba de Ljung-Box.

Palabras clave: Estadios fenológicos, patrones de crecimiento, modelos predictivos de crecimiento.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;117-130

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most consumed leafy vegetables in the country, standing out in the central coast due to favorable climatic conditions that facilitate its optimal development and production. Growth analysis is crucial to predict its growth and development, providing information for agronomic decision making in agriculture. The objective of the study was to determine the behavior in their main phenological stages of four types of lettuce, as well as their growth patterns in eight cultivars (Waldman Green, Rouxai, Behn, Desirade, Gaugin, White Boston, Parris Island and Patagonia) during the winter and spring seasons on the Peruvian coast. The study was carried out in the experimental field of Horticulture PIPS at UNALM, using a balanced incomplete block design with four blocks and eight treatments, evaluating ten plants per experimental unit from eleven days after transplanting until harvest, recording data on the number of leaves, length and width of the largest leaf at the growth stage, to determine predictive models and their harvest variables. Growth parameters were determined using RStudio software. It was observed that phenological stages vary between types and cultivars, which can be influenced by environmental factors. Yields showed significant difference, with the Patagonia cultivar (6.2 kg/m²) being significantly superior, Parris Island and White Boston (2.87 and 2.85 kg/m²) showing no significant difference, and all leaf type cultivars (between 1.21 and 2.11 kg/m²) showing no significant difference between them. It was found that the predictive ARIMA and regression models provided a high percentage of variability that can be explained by the model according to the Ljung-Box test.

Keyword: Phenological stages, growth patterns, predictive growth models.

INTRODUCCIÓN

En Perú, los tipos de lechuga de mayor relevancia son la acogollada, butterhead, hoja suelta y romana. La acogollada conocida como cabeza presenta hojas externas se disponen de manera abierta, mientras que las nuevas e internas forman un cogollo o cabeza compacta. El tipo butterhead forma una cabeza semiabierta, que no está compacta; con hojas lisas, suaves y algo aceitosas. La de hoja suelta forma una roseta y no cabeza (García, 2013). Para el tipo cos también conocida como romana, que no forma un cogollo verdadero, presenta hojas alargadas con nervaduras prominentes, con una destacada tolerancia al calor (Fontenot *et al.*, 2014 y García, 2013).

La importancia de la lechuga radica en que al ser una de las hortalizas más comunes y ampliamente consumidas a nivel

mundial (Saavedra *et al.*, 2017). En la costa central del Perú, toma importancia debido a su adaptación a las condiciones agroclimáticas que favorece un buen desarrollo (Floríndez y Siura, 2006). No obstante, debido al cambio climático algunos cultivares no están aclimatados en una zona con condiciones específicas, esto podría causar un efecto negativo en la producción. Por tanto, se emplean nuevos cultivares que se consideren aptos según los estándares climáticos requeridos del cultivo (Vásquez-Camacho, 2015) y a su vez los modelos predictivos de crecimiento. Estos modelos permiten no sólo anticipar el crecimiento en función del clima y otros factores, sino también identificar los cultivares más aptos para maximizar la producción en escenarios climáticos cambiantes.

El modelo predictivo de crecimiento en las plantas son herramientas fundamentales para la toma de decisiones en el campo, además de evaluar las condiciones meteorológicas. Estos modelos han sido utilizados ampliamente en el estudio de los factores que influyen en el desarrollo y el rendimiento a través del seguimiento durante un tiempo (Santos *et al.*, 2010). El análisis de regresión se enfoca en examinar la relación entre dos variables cuantitativas, buscando determinar si existe una asociación mediante la prueba de la hipótesis de independencia estadística. Además, permite medir la intensidad de dicha asociación a través del coeficiente de correlación y proponer un modelo que prediga el valor de una variable en función de la otra (Orellana, 2008).

Los modelos predictivos establecen una relación entre el pronóstico de un objeto de estudio y uno o más atributos conocidos de ese objeto, en la búsqueda por entender y predecir el resultado específico, basándose en características que ya se conoce sobre él (Espino, 2017). De ese modo, a la fecha se disponen de modelos matemáticos tradicionales, también conocidos como sigmoidales, siendo los más utilizados el modelo de Gompertz y los modelos logístico y exponencial, estos últimos aplicables al crecimiento temprano. También se usan los modelos basados en inteligencia artificial, tales como estimación por Imágenes RGB-D, redes neuronales convolucionales (CNN) y Árboles de Decisión Potenciados (ADP) (Liang *et al.*, 2025), estos últimos integran datos climáticos (temperatura, humedad) y de suelo para optimizar la toma de decisiones en sistemas hortícolas (Jiménez *et al.*, 2014). La mayoría de los modelos utilizan variables clave en el modelado, como: temperatura, nive-

les de fertilización, y el tipo de sistema de conducción. En nuestro caso, se emplearán modelos probabilísticos basados en la técnica de series de tiempo.

El objetivo principal del presente artículo es presentar los resultados observados y modelados del comportamiento de cuatro tipos de lechuga (acogollada, cos, semi compacta y hoja) en las etapas fenológicas principales, identificando patrones de crecimiento, en las condiciones climáticas de la costa central – La Molina, que como se sabe es un contexto de hiper aridez. La utilidad de contar con modelos alométricos ha sido destacada ampliamente en la literatura internacional, dada su elevada utilidad para la estimación de rendimientos en periodos críticos como de invierno - primavera en la costa central.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El experimento se desarrolló a lo largo de 96 días y la fase experimental se llevó a cabo en “Campo Alegre 3”, el cual forma parte del Programa de Investigación en Hortalizas- UNALM (PIH), que se observa en la Figura 1a, con coordenadas -12.08372, -76.94286.

Diversas fuentes indican que el desarrollo óptimo de la lechuga ocurre en climas frescos y templados, con temperaturas diurnas entre 18 a 23 °C y nocturnas entre 7° a 15°C (Sucella, 2023). Cabe señalar que las condiciones meteorológicas, durante el desarrollo del ensayo que se aprecia en el agroclimatograma de la Figura 1b, se caracterizaron por presentar temperaturas que oscilaron entre 15,5 y 23,7 °C, de 77,3 a 90,2 % de humedad relativa del aire y precipitaciones concentradas en el periodo mayo a septiembre en un rango de 0,2 a 1,2 mm.mes-1. Según la clasificación de Brack

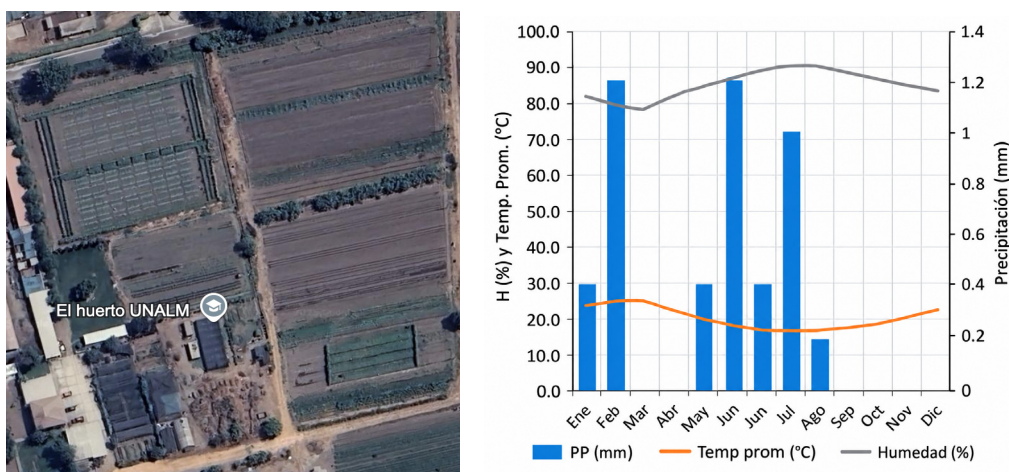


Figura 1: Ubicación y condiciones climáticas del experimento en el Programa de Investigación en Hortalizas-UNALM (PIH).

Nota: a. Imagen satelital de la ubicación del Programa de Investigación en Hortalizas con la parcela experimental. Fuente (Google Earth, 2025) Agroclimatograma anual con temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm). Fuente: Estación climática Von Humbolt-UNALM.

(2009), el área experimental corresponde al ecosistema de desierto costero, más precisamente ubicado en el valle costero desértico, en condiciones de extrema aridez.

Material vegetativo

El material vegetal utilizado se compuso de ocho cultivares de lechuga (Tabla 1) proporcionados por el PIH, cuyas semillas se sembró en almácigos, durante 24 días en una casa malla, utilizando un sustrato compuesto por 75 % del sustrato Premix, 10 % de arena y 15 % de musgo. No habiéndose presentado plagas o enfermedades que afecten la calidad de los plantines, que luego se dispusieron a campo abierto, las parcelas experimentales del ensayo.

Estadios fenológicos principales

Conforme a lo señalado por Bleiholder *et al.* (2001) se utilizó la codificación BBCH de los estadios fenológicos de hortalizas que forman cabeza y aquellas que no forman cabeza (Tabla 2), considerando el 50% más 1 de la población de

cada unidad experimental para determinar que el cultivar, bajo evaluación, ha alcanzado esa etapa.

Análisis estadístico y tratamiento de la data

El diseño experimental utilizado fue de Bloques Incompletos Balanceados, Con $b=4$ bloques y $k=2$ tratamientos por bloque, cada cultivar tiene sólo $r=2$ repeticiones ($\lambda=1$) Cada unidad experimental constó de 40 plantas sembradas en tres bolillos (doble hilera en una cinta de riego), de las cuales se seleccionaron diez plantas de forma aleatoria para realizar las evaluaciones.

Las evaluaciones semanales incluyeron como variables de interés: el número de hojas, el largo y ancho de las hojas más grandes, con el fin de desarrollar un modelo predictivo y una ecuación para pronosticar su tamaño. Además, se determinaron sus etapas fenológicas principales y el peso con el fin de calcular el rendimiento (kg/m²) durante su cosecha.

Tabla 1.

Cultivares de lechuga evaluados en el ensayo

Cultivar	Tipo	Característica	Fuente
Waldman Green	Hoja	Presenta hojas grandes crespas y sueltas	Saavedra <i>et al.</i> , 2017
Rouxai	Hoja	Es de color roja intenso, hojas sueltas, es un cultivo de época de invierno	Rijk Zwaan, 2023
Behn	Hoja	Presenta hoja de roble verde intenso brillante, cultivares de base erecta	Rijk Zwaan, 2023
Desirade	Hoja	Presenta hojas sueltas crespas	Rijk Zwaan, 2023
Gaugin	Hoja	Sus hojas son muy robustas con muy buen contraste de color	Rijk Zwaan, 2023
White Boston	Butterhead	Sus hojas son grandes alargadas, forman cogollo, es blanda con forme se acerca al interior	Rijk Zwaan, 2023
Parris Island	Cos	No forman verdadero cogollo, hojas oblongas con bordes enteros	Saavedra <i>et al.</i> , 2017
Patagonia	Arrepollada	Estas lechugas forman un cogollo apretado de hojas	Rijk Zwaan, 2023

Tabla 2.

Estado fenológico de la lechuga que forman cabeza y los que no forman cabeza

Lechuga que forma cabeza	
Estadio 0: (germinación)	Desde la semilla seca hasta la emergencia de los cotiledones.
Estadio 1: (desarrollo de hojas)	Desde que los cotiledones están completamente desarrollados hasta que tengan nueve (9) hojas verdaderas desplegadas.
Estadio 4: (desarrollo de los órganos de almacenamiento vegetativo)	Desde la formación de la cabeza hasta que presente un tamaño, forma y firmeza de la cabeza.
Lechuga que no forman cabeza	
Estadio 0: (germinación)	Desde la semilla seca hasta la emergencia de los cotiledones.
Estadio 1: (desarrollo de hojas)	Desde que los cotiledones están completamente desarrollados hasta que tengan nueve (9) hojas verdaderas desplegadas.
Estadio 3: (crecimiento de la roseta)	Desde que la roseta alcanza el 30% del diámetro típico hasta que la roseta esté completamente desarrollada.

Nota: Tomado de Bleiholder *et al.* (2001)

Se emplearon tres modelos predictivos (regresión, ARIMA y redes neuronales), definidos mediante ecuaciones que incluyen parámetros y estados de ajuste iniciales con estimación de parámetros para minimizar el error de cada modelo, que permitió encontrar valores más ajustados a los datos observados (IBM, 2024a). Se evaluó la presencia de autocorrelación significativa de residuales mediante la prueba de Ljung-Box. Con base en los resultados obtenidos, se formularon ecuaciones predictivas para el crecimiento de las plantas de cada cultivar evaluado. Además, en el caso del modelo de regresión, se calculó el coeficiente de determinación (R^2) para verificar qué proporción de la variabilidad es explicada por el modelo, así como el p-valor de la prueba de t-student para determinar si las variables independientes tienen una relación significativa con la variable de respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología comparada

En la lechuga tipo hoja, el estado fenológico 0 (germinación) abarcó desde el día 0 hasta el día 4, mientras que el estado fenológico 1 (desarrollo de hojas) se extendió desde el día 5 hasta el día 39 después de la siembra (DDS) o el día 15 después del trasplante (DDT). Para el tipo cos, el estado fenológico 0 abarcó desde el día 0 hasta el día 4, mientras que el estado fenológico 1 se dio desde el día 5 hasta el día 35 DDS o el día 11 DDT.

En el caso del tipo butterhead, el estado fenológico 0 se extendió desde el día 0 hasta el día 6 DDS, mientras que el estado fenológico 1 se inició en el día 7 hasta el día 53 DDS o el día 29 DDT. Por último, para el tipo arrepollada, el estado fenológico 0 se desarrolló desde el día 0 hasta el

día 7, mientras que el estado fenológico 1 abarcó desde el día 8 hasta el día 60 DDS o el día 36 DDT (Figura 2).

Dinámicas productivas

Se determinó que el rendimiento en kg./m^2 entre cultivares fue altamente significativo para prueba de Tukey para un alfa de 0,05, presentando un p-valor inferior a $2,21 \times 10^{-16}$. Esto permite concluir que existe una variación significativa en el rendimiento entre los cultivares. Además, el coeficiente de variabilidad fue del 9,432 %, que sugiere que el error estándar es bajo y que los resultados de la inferencia estadística son precisos y robustos (Figura 3). El cultivar Patagonia destaca por presentar el mayor promedio en comparación con los demás cultivares. Por su parte, Parris Island y White Boston no presentan diferencias significativas entre sí, pero sus promedios son cercanos al del cultivar Waldman Green. Por otro lado, los cultivares Rouxaï, Desirade, Behn, Gaugin y Waldman Green no muestran diferencias significativas entre ellos.

Modelos predictivos: Tendencia de crecimiento de la biomasa comercial

En la Figura 4 se muestra el pronóstico del crecimiento de lechuga en términos del número de hojas para los cultivares en evaluación, utilizando modelos predictivos de regresión lineal, ARIMA y redes neuronales.

Con base en el modelo predictivo de regresión lineal, se determina que la ecuación de regresión permite predecir adecuadamente el número de hojas, el largo y el ancho de la hoja más grande de la planta, que son las variables dependientes, en función del tiempo, que es la variable independiente. La prueba de Ljung-Box indica que los modelos regresión y ARIMA

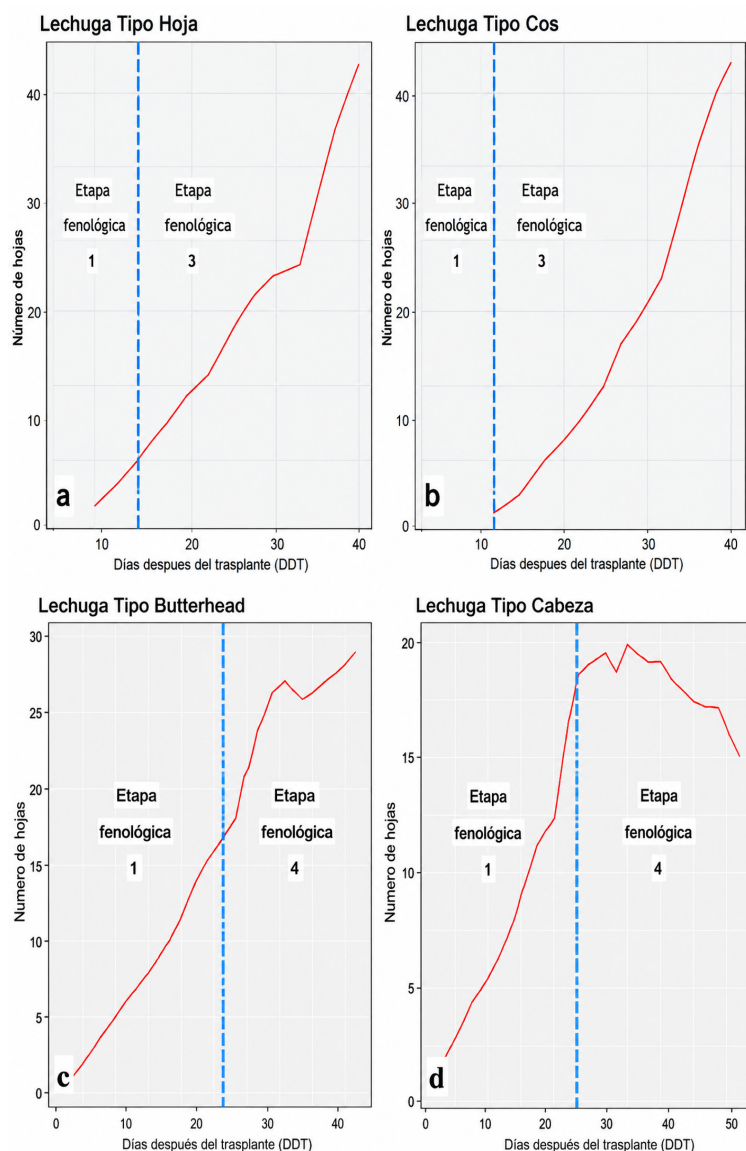


Figura 2: Etapas fenológicas principales de cuatro tipos de lechugas para el periodo julio- octubre en la costa central del Perú

Nota: (a) estado fenológico de tipo hoja, (b) estado fenológico de tipo cos, (c) estado fenológico de tipo butterhead, (d) estado fenológico de tipo arrepollada.

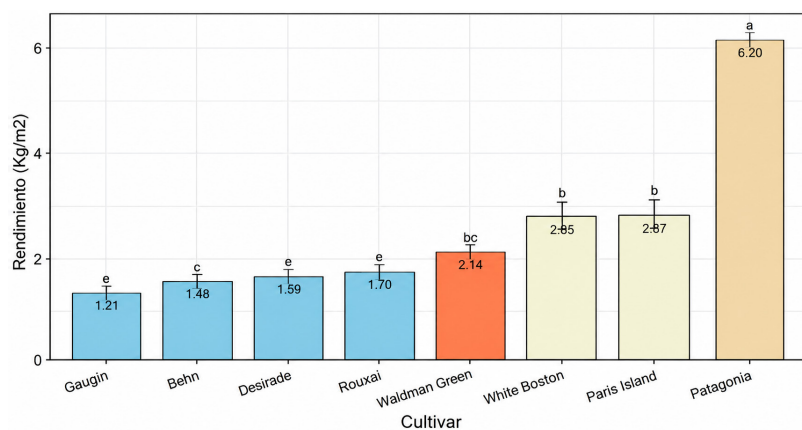


Figura 3: Prueba de Tukey al 0.05, para el promedio del rendimiento de los ocho cultivares de lechuga

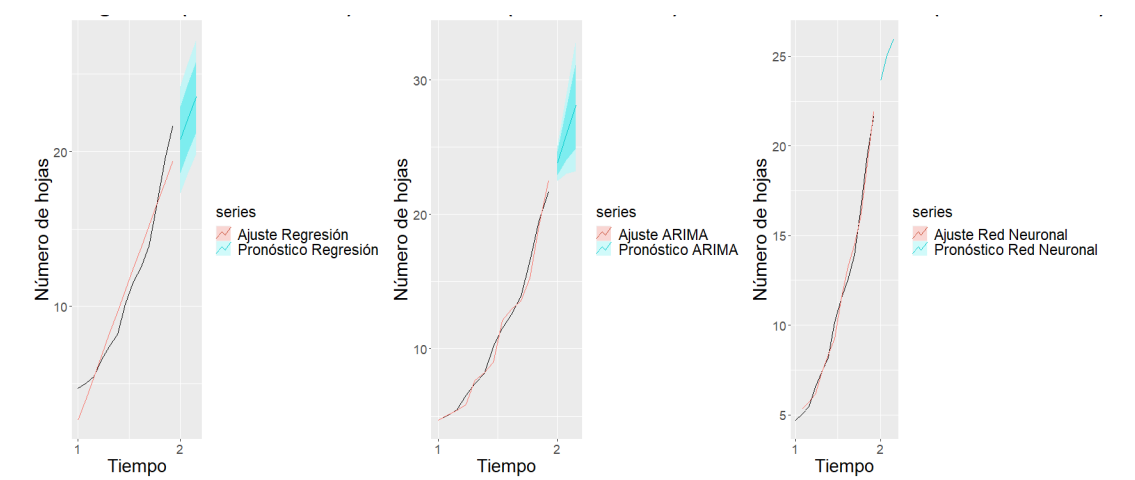


Figura 4: Serie de tiempo, ajuste y pronóstico de modelos (regresión simple, ARIMA y redes neurales) para el número de hojas en los ocho cultivares

Nota: a. Método de regresión, b. Método ARIMA y c. Método Redes Neuronales para el caso del cultivar Waldman Green en una siembra de invierno-primavera en la costa central del Perú.

presentan, en su mayoría, un p-valor superior al 0,05 en comparación con el modelo de redes neuronales, lo que sugiere que los modelos de regresión y ARIMA se ajustan mejor a los datos observados.

Las ecuaciones de los ocho cultivares para las variables: número de ho-

jas, largo y ancho de la hoja más grande, en función al tiempo se aprecia en la Tabla 3; según el coeficiente determinación (R^2 -ajustado) es superior al 0,90, luego, el estadístico de F es significativamente alto, con p-valor inferior a 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente. Por tanto, los modelos

Tabla 3.
Ecuaciones alométricas del crecimiento en términos del número de hoja, largo y ancho de la hoja más grande de ocho cultivares de lechuga, sembrados en la época de invierno-primavera en la costa central del Perú

Cultivar	Número de hojas	Largo de hoja	Ancho de hoja
Waldman Green	$Y = 1.248 + 1.395T + 1.355$	$Y = 6.401 + 0.838T + 0.538$	$Y = 3.037 + 1.177T + 0.441$
	$R^2 = 0.9461$	$R^2 = 0.9757$	$R^2 = 0.9916$
	$R^2 \text{ adj} = 0.9411$	$R^2 \text{ adj} = 0.9735$	$R^2 \text{ adj} = 0.9908$
	F-valor = 192.9	F-valor = 442.4	F-valor = 1299
	gl = 11	gl = 11	gl = 11
	p-valor = $2.56 e^{-08}$	p-valor = $3.11 e^{-10}$	p-valor = $9.01 e^{-13}$
Rouxai	$Y = 0.475 + 1.637T + 2.039$	$Y = 5.499 + 0.397T + 0.464$	$Y = 3.242 + 0.64T + 0.911$
	$R^2 = 0.9597$	$R^2 = 0.9643$	$R^2 = 0.948$
	$R^2 \text{ adj} = 0.9575$	$R^2 \text{ adj} = 0.9624$	$R^2 \text{ adj} = 0.9451$
	F-valor = 428.8	F-valor = 486.7	F-valor = 328.1
	gl = 18	gl = 18	gl = 18
	p-valor = $5.28 e^{-14}$	p-valor = $1.76 e^{-14}$	p-valor = $5.29 e^{-13}$

Cultivar	Número de hojas	Largo de hoja	Ancho de hoja
Behn	$Y = 2.344 + 2.162T + 2.111$	$Y = 4.726 + 0.57T + 0.205$	$Y = 1.818 + 0.674T + 0.392$
	$R^2 = 0.9521$	$R^2 = 0.9932$	$R^2 = 0.9825$
	$R^2 \text{ adj} = 0.9481$	$R^2 \text{ adj} = 0.9926$	$R^2 \text{ adj} = 0.981$
	F-valor = 238.6	F-valor = 1752	F-valor = 674
	gl = 12	gl = 12	gl = 12
Desirade	$p\text{-valor} = 2.78 e^{-09}$	$p\text{-valor} = 2.24 e^{-14}$	$p\text{-valor} = 6.51 e^{-12}$
	$Y = 2.548 + 1.298T + 2.276$	$Y = 5.198 + 0.338T + 0.944$	$Y = 3.85 + 0.748T + 0.79$
	$R^2 = 0.8432$	$R^2 = 0.9439$	$R^2 = 0.9369$
	$R^2 \text{ adj} = 0.829$	$R^2 \text{ adj} = 0.9388$	$R^2 \text{ adj} = 0.9311$
	F-valor = 59.16	F-valor = 185	F-valor = 163.3
Gaugin	gl = 11	gl = 11	gl = 11
	$p\text{-valor} = 9.48 e^{-06}$	$p\text{-valor} = 3.18 e^{-08}$	$p\text{-valor} = 6.08 e^{-08}$
	$Y = 1.057 + 4.1186T + 3.897$	$Y = 4.413 + 0.408T + 0.212$	$Y = 2.779 + 0.748T + 0.14$
	$R^2 = 0.9549$	$R^2 = 0.9859$	$R^2 = 0.9912$
	$R^2 \text{ adj} = 0.9511$	$R^2 \text{ adj} = 0.9848$	$R^2 \text{ adj} = 0.9904$
White Boston	F-valor = 254.1	F-valor = 841.7	F-valor = 1344
	gl = 12	gl = 12	gl = 12
	$p\text{-valor} = 1.94 e^{-09}$	$p\text{-valor} = 1.75 e^{-12}$	$p\text{-valor} = 1.09 e^{-13}$
	$Y = 4.361 + 1.584T + 1.462$	$Y = 4.855 + 0.517T + 0.328$	$Y = 1.295 + 0.743T + 0.455$
	$R^2 = 0.9696$	$R^2 = 0.9854$	$R^2 = 0.9864$
Parris Island	$R^2 \text{ adj} = 0.9676$	$R^2 \text{ adj} = 0.9844$	$R^2 \text{ adj} = 0.9855$
	F-valor = 478.9	F-valor = 1012	F-valor = 1087
	gl = 15	gl = 15	gl = 15
	$p\text{-valor} = 8.53 e^{-13}$	$p\text{-valor} = 3.49 e^{-15}$	$p\text{-valor} = 2.05 e^{-15}$
	$Y = 0.361 + 1.743T + 1.984$	$Y = 6.236 + 0.912T + 0.48$	$Y = 1.726 + 0.963T + 0.506$
Patagonia	$R^2 = 0.9361$	$R^2 = 0.9856$	$R^2 = 0.9857$
	$R^2 \text{ adj} = 0.9307$	$R^2 \text{ adj} = 0.9844$	$R^2 \text{ adj} = 0.9845$
	F-valor = 175.7	F-valor = 822.5	F-valor = 824.9
	gl = 12	gl = 12	gl = 12
	$p\text{-valor} = 1.58 e^{-08}$	$p\text{-valor} = 2.01 e^{-12}$	$p\text{-valor} = 1.97 e^{-12}$
	$Y = 5.061 + 0.518T + 1.996$	$Y = 3.367 + 0.949T + 0.694$	$Y = 0.611 + 1.27T + 0.594$
	$R^2 = 0.7489$	$R^2 = 0.9881$	$R^2 = 0.9951$
	$R^2 \text{ adj} = 0.7363$	$R^2 \text{ adj} = 0.9875$	$R^2 \text{ adj} = 0.9948$
	F-valor = 59.63	F-valor = 1655	F-valor = 4049
	gl = 20	gl = 20	gl = 20
	$p\text{-valor} = 2.01 e^{-07}$	$p\text{-valor} = < 2.2 e^{-16}$	$p\text{-valor} = < 2.2 e^{-16}$

evaluados son robustos y representativos para este grupo de variables.

Los cambios observados en el comportamiento fisiológico de los cultivares de lechuga, según tipos de agrupación (hoja, arrepollada y romana), se manifestaron en el periodo de duración de diferentes estadios fenológicos. Por ejemplo, en los cultivares de tipo hoja, el cambio del estado fenológico 1 (desarrollo de hojas) ocurrió a los 15 días después del trasplante (DDT) con un promedio de 8,55 hojas, que es superior a lo reportado por Carguachi (2022), quien observó este cambio a los 13 DDT con 8,28 hojas en condiciones de invernadero, es decir en condiciones controladas y no de campo abierto, como en nuestro caso, donde factores como la temperatura y la radiación influyen en el crecimiento (número de hojas), por un lado, y en el desarrollo (cambio de estadio fenológico), por otro lado. En los cultivares de tipo romana o cos, el estado fenológico 1 ocurrió a los 11 DDT, a pesar de que el número de hojas fue menor a las nueve (9) establecidas por los descriptores de la BBCH (2001); esta diferencia es atribuible al proceso de adaptación del cultivar Parris Island a las condiciones de hiperaridez de la costa central del Perú.

En los cultivares tipo butterhead, el estado fenológico 1 se alcanzó a los 29 DDT, con un promedio de 18,5 hojas, coincidiendo con el inicio de la formación de la cabeza, conforme a la clasificación BBCH. El crecimiento de nuevas hojas se desaceleró durante la formación de la cabeza, alcanzando la etapa de compactación semicompleta próximo a los 72 días, después de la siembra (DDS). Por otro lado, la lechuga tipo arrepollada mostró un cambio a la formación de la cabeza a los 60 DDS con 14 hojas, supe-

rando lo reportado por INATEC (2018), que indicaba la formación a los 50-55 DDS con 13 hojas. Las variaciones, en el tiempo de formación, pueden depender de la época del año y debido a la firmeza y compactación de la cabeza, las etapas fenológicas que, en este tipo de lechuga, tienden a ser más prolongadas.

En lo referente a los rendimientos, se observa que los cultivares de lechuga tipo hoja no presentan diferencias significativas entre sí, con valores que oscilan entre 1,21 y 2,11 kg/m² (equivalente a 12,12 y 21,13 t/ha, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo reportado por López (2019), quien encontró un rendimiento promedio de 18,0 t/ha para el cultivar Waldman Green. Por otro lado, el cultivar Parris Island alcanzó un rendimiento de 2,87 kg/m² (28,71 t/ha), superior a lo informado por Alvario (2018), que reportó un rendimiento de 5,71 t/ha para la lechuga tipo cos. De forma similar, el cultivar White Boston logró 28,53 t/ha, superando los rendimientos registrados por López (2019) de 11,50 t/ha. Aunque el ciclo de cosecha de White Boston es 7 días más largo, esto no afecta significativamente su rendimiento; situación que alude a un mayor tiempo de crecimiento, pero que no implica mayores rendimientos. Finalmente, el cultivar Patagonia, de tipo arrepollada, mostró el mayor rendimiento con 6,2 kg/m² (62,00 t/ha), superando lo reportado por Yucra (2019), quien encontró 56,37 t/ha en la misma zona de La Molina. Este mayor rendimiento puede atribuirse a la acumulación de biomasa durante el periodo de crecimiento extendido y a su característica de formar una cabeza compacta, aspecto que incrementa el peso por planta e influye en el rendimiento que, para este caso, resulta ser una variable solo relativa.

El comportamiento del crecimiento y el desarrollo de una especie vegetal puede ser incierto, por ello es evaluó diversos modelos probabilísticos para contar con una herramienta que permita pronosticar los efectos de la formación de biomasa (Li *et al.*, 2022 y Valencia-Islas *et al.*, 2023). En ese contexto, el uso de modelos de regresión simple, ARIMA y redes neuronales, para predecir el crecimiento del número de hojas en los ocho cultivares de lechuga ha sido demostrado como viable y útil (Moon *et al.*, 2022). La prueba de Ljung-Box se utilizó para evaluar la presencia de autocorrelaciones significativas en los residuos de estos modelos, confirmando que, en la mayoría de los casos, el p-valor fue superior a 0.05. Esto sugiere que los modelos de regresión y ARIMA capturan adecuadamente las estructuras temporales presentes en los datos, y que los residuos pueden considerarse como ruido blanco, es decir, son independientes entre sí y no presentan patrones de autocorrelación (Romero, 2021). Como resultado, estos modelos se consideran adecuados, lo que refuerza la fiabilidad de sus predicciones, más aún por la linealidad del crecimiento en el tiempo.

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido en los modelos de regresión indica una alta proporción de la variabilidad explicada por las variables predictoras. Por su parte, el R^2 ajustado ofrece una medida más precisa del ajuste del modelo, dado que corrige el impacto del número de variables, penalizando la inclusión de variables no significativas (IBM, 2024b). Un R^2 ajustado más alto refleja un mejor ajuste del modelo, considerando su complejidad (Marco, 2018). Además, un p-valor menor a 0,05 sugiere que las variables indepen-

dientes tienen un efecto significativo en la variable de respuesta, validando así la capacidad predictiva de los modelos. Por el contrario, un p-valor alto indicaría que los cambios en la variable independiente no están asociados con la variable de respuesta (Addlink, 2015).

CONCLUSIONES

Los tiempos de transición entre las etapas fenológicas varían significativamente según los tipos, pero también pueden variar dependiendo las características de cada cultivar, en especial para cultivares del tipo de hoja; debido principalmente a la dinámica de crecimiento de las hojas. Sin embargo, estos cambios pueden ser ocasionados por factores externos como las condiciones climáticas. De otro lado, los cultivares que permanecen más tiempo en campo, su crecimiento no garantiza necesariamente mayores rendimientos, como es el caso de cultivares con los tipos de lechuga cos, butterhead y hoja. No obstante, los cultivares que forman cabezas compactas tienden a mostrar rendimientos significativamente superiores. Por último, se concluye que, entre los tres modelos de crecimiento utilizados, tanto ARIMA como la regresión simple mostraron una adaptación destacada. Por lo tanto, son modelos básicos para construir la ecuación alométrica para predecir los futuros crecimientos con una efectividad superior al 90 %.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Programa de Investigación Hortícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina por permitirles utilizar las instalaciones de campo, así como por los materiales y insumos proporcionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addlink. (2015). Cómo interpretar los resultados del análisis de regresión: p-valores y coeficientes. <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2540-como-interpretar-los-resultados-del-analisis-de-regresion-p-valores-y-coeficientes>
- Alvario, A. G. (2018). *Influencia de tres bioestimulantes aplicados al follaje sobre el rendimiento de la lechuga “romana” (Lactuca sativa L.) en la zona de Pueblo Viejo* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio de la Universidad Técnica de Babahoyo. <https://redi.cedia.edu.ec/document/505252>
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauß, R., van den Boom, T., y Weber, E. (2001). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas: Escala BBCH extendida.
- Carguachi, L. (2022). *Evaluación del rendimiento de lechuga crespa (Lactuca sativa L.) var. Batavia, en dos tipos de invernaderos, parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17454/1/13T01022.pdf>
- Espino, C. (2017). *Análisis predictivo: Técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo: Herramientas open source que permiten su uso* [Trabajo de fin de grado, Universidad Abierta de Catalunya]. Repositorio de la Universidad Abierta de Catalunya. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/59565/6/caresptimTFG-0117mem%C3%B2ria.pdf>
- Floríndez, J., y Siura, S. (2006). *Evaluación de cultivares de lechuga (Lactuca sativa L.) para producción de lechuga miniatura y madura bajo cultivo orgánico*. [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria La Molina.
- Fontenot, K., Johnson, C., Williams, B., Afton, W., Lewis, M., y Morgan, A. (2014). Vegetable gardening tips. Louisiana State University AgCenter.
- García, M. (2013). El cultivo de la lechuga [The lettuce growing]. Universidad de Valladolid. https://www5.uva.es/guia_docente/backup/2013/446/42109/1/Documento2.pdf
- IBM. (2024a, 29 de febrero). Modelos de previsión. IBM Documentation. <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.1.0?topic=forecasting-models>
- IBM. (2024b, 22 de enero). R cuadrado ajustado. IBM Documentation. <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.2.0?topic=terms-adjusted-r-squared>
- Instituto Nacional Tecnológico. (2018). Cultivos de hortalizas. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Hortalizas_3X2OH2y.pdf

- Jiménez-Morales, V. D., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., y Volke-Haller, V. H. (2014). Modelos de simulación del crecimiento de lechuga en respuesta a la fertilización orgánica y mineral. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 249–254. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.3.249>
- Li, Q., Gao, H., Zhang, X., Ni, J., y Mao, H. (2022). Describing lettuce growth using morphological features combined with nonlinear models. *Agronomy*, 12(4), 860. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040860>
- Liang, S., Duc Long, N. V., Parvin, M. I., Escribà-Gelonch, M., Lantin, S., y Hessel, V. (2025). Digital twin for lettuce growth in six climate zones (“Climate 2050”). *Computers and Electronics in Agriculture*, 238, 110880. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110880>
- López, Y. C. (2019). *Efecto de las dosis de bioestimulante y variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) sobre las características morfológicas y rendimiento cultivadas en dos zonas de la provincia de Chincheros - Apurímac*. [Tesis de grado, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio Institucional de la Universidad José Carlos Mariátegui. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/608>
- Marco, F. (2018). R cuadrado ajustado (coeficiente de determinación ajustado). *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-ajustado-coeficiente-de-determinacion-ajustado.html>
- Moon, T., Choi, W.J., Jang, S.H., Choi, D.S., y Oh, M.M. (2022). Growth analysis of plant factory-grown lettuce by deep neural networks based on automated feature extraction. *Horticulturae*, 8(12), 1124. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121124>
- Orellana, L. (2008). Regresión lineal simple. Universidad de Buenos Aires. https://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/clase%20regresion%20simple.pdf
- Romero, R. (2021). Apuntes de macroeconometría. <https://randall-romero.github.io/econometria/teoria/01-intro/06-pruebas.html>
- Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., y Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga (Boletín INIA N.º 374). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf
- Santos, M., Segura, M., y Núñez, C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5253–5266.
- Suella, X. (2023). *Comparativo de tres frecuencias de riego en el crecimiento y desarrollo de lechuga hidropónica (Lactuca sativa) var. Waldman's Green, en el distrito de Paucarpata, Arequipa-2022*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/2c4fdea8-173c-44bb-9887-10ce9b9640ec>

- Valencia-Islas, J. O., López-Cruz, I. L., Ruíz-García, A., Fitz-Rodríguez, E., y Ramírez-Arias, M. (2023). Global sensitivity and uncertainty analyses of a dynamic model for the biosystem lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop-greenhouse. *Biosystems Engineering*, 236, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.10.005>
- Vásquez-Camacho, J. G. (2015). *Evaluación agronómica de cinco variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en tres ciclos de siembra consecutivos en San Miguel de la Tigrá, San Carlos, Alajuela, C. R.* [Proyecto de graduación de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/6469>
- Yucra, C. M. (2019). *La carbonatita en el rendimiento y calidad de lechuga (Lactuca sativa) cv. Patagonia*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4096>

Declaración de roles de autores:

- Erick Quispe: Redacción, metodología, investigación.
- Andrés Casas: Redacción, revisión y edición.
- Isabel Montes: Metodología, investigación, análisis formal.
- Saray Siura: Revisión y edición, supervisión.
- Mauricio Maguiña: Análisis y procesamiento de datos.
- Alexis Dueñas: Redacción, metodología, investigación, análisis formal, conceptualización.

Efecto del fungicida foliar sobre la Roya común del maíz (*Puccinia sorghi*) bajo diferentes condiciones de fertilización nitrogenada

Effect of foliar fungicide on common rust of maize (Puccinia sorghi) under different nitrogen fertilization conditions

 Miguel Á. Lavilla Ana E. Fernándezmllavilla@comunidad.unnoba.edu.ar 

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Pergamino, Argentina

Recibido: 06/02/2026

Revisado: 20/03/2026

Aceptado: 02/05/2026

Publicado: 06/07/2026

RESUMEN

La roya común del maíz es causada por *Puccinia sorghi* y provoca pérdidas de rendimiento considerables en el cultivo de maíz. El objetivo fue evaluar el comportamiento de un fungicida foliar para el control de la roya común en maíz en distintas concentraciones de nitrógeno (N). Materiales y métodos. En el campo experimental de la Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales (ECANA) de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) ubicado en la localidad de Pergamino, Buenos Aires, en el año 2018 se sembró maíz de primera (DK 7270 VT3PRO). El diseño experimental utilizado tuvo distribución factorial de cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de la varianza (ANAVA), con la comprobación de supuestos teóricos correspondientes. Las comparaciones de medias fueron realizadas a través de la prueba de diferencia mínima significativa restringida de Fisher (nivel de significancia $\leq 0,05$). Resultados. El fungicida foliar y la dosis de N tuvieron un efecto independiente ($p \leq 0,05$) para las variables analizadas en esta experiencia. El número de granos, el peso de mil granos y el peso hectolitro tuvieron valores significativamente inferiores ($p \leq 0,05$) en los ambientes sin N y sin la aplicación de fungicida foliar. En ambientes pobres en nitrógeno, se incrementa el aborto de flores, reduciendo el rendimiento. Conclusión. El fungicida foliar y las dosis de nitrógeno son factores independientes ($p \leq 0,05$) y deben ser considerados para el manejo integrado de la roya común del maíz. El rendimiento con aplicación de fungicida foliar fue de 9466 (kg/ha). El aporte de nitrógeno fue de 10360 (kg/ha). El área debajo de la curva de la roya común del maíz disminuyó con el uso de fungicidas y aumentó en la dosis de 200 kg/ha de nitrógeno.

Palabras clave: Rendimiento, nitrógeno, *Puccinia sorghi*, fungicida foliar.

ABSTRACT

Common rust of maize is caused by *Puccinia sorghi* and causes considerable yield losses in maize crops. The objective was to evaluate the performance of a foliar fungicide for the

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) International License

Rev. Investigaciones ULCB. Jul - Dic.13(2), 2026; ISSN: 2409 - 1537;131-136

control of common rust in maize at different nitrogen (N) concentrations. Materials and methods. In 2018, first-crop maize (DK 7270 VT3PRO) was planted at the experimental field of the School of Agricultural, Natural and Environmental Sciences (ECANA) of the National University of the Northwest of the Province of Buenos Aires (UNNOBA), located in Pergamino, Buenos Aires. The experimental design used was a factorial distribution with four treatments and four replications. An analysis of variance (ANOVA) was performed, verifying the corresponding theoretical assumptions. Mean comparisons were performed using Fisher's least significant difference test (significance level ≤ 0.05). Results. Foliar fungicide and nitrogen (N) application rates had an independent effect ($p \leq 0.05$) on the variables analyzed in this experiment. The number of grains, thousand-grain weight, and hectoliter weight were significantly lower ($p \leq 0.05$) in environments without nitrogen and without foliar fungicide application. In nitrogen-poor environments, flower abortion increased, reducing yield. Conclusion: Foliar fungicide and nitrogen application rates are independent factors ($p \leq 0.05$) and should be considered for the integrated management of common rust in corn. The yield with foliar fungicide application was 9466 kg/ha. The nitrogen application rate was 10360 kg/ha. The area under the curve for common rust in corn decreased with fungicide use and increased with a nitrogen application rate of 200 kg/ha.

Keywords: Yield, nitrogen, *Puccinia sorghi*, foliar fungicide.

INTRODUCCIÓN

La roya común del maíz es causada por *Puccinia sorghi*. Este patógeno es biotrófico, pertenece al orden Pucciniales y provoca pérdidas de rendimiento considerables en el cultivo de maíz. Produce uredinios de color cobrizo y telios de color negro. En las hojas, los uredinios pueden coalescer y, bajo condiciones favorables, formar grandes áreas necróticas (Dudienas *et al.*, 2013). Las condiciones predisponentes para esta enfermedad son largos períodos de temperaturas entre 16 a 23 °C y humedad relativa del aire superior al 90 % (Agrios, 2005).

Entre los aspectos epifitológicos de la interacción planta (maíz) - patógeno (*P. sorghi*), se debe estudiar el efecto de los nutrientes y en particular del nitrógeno (N). El N es el cuarto elemento más abundante en las plantas y es esencial en la producción de aminoácidos, enzimas, hormonas, fitoalexinas, y de compuestos fenólicos entre

otros componentes celulares (Taiz y Zaiger, 2013). El nitrógeno está relacionado con el aumento de las enfermedades foliares en los diferentes cultivos, siendo el nutriente más reportado en favorecer el progreso de las enfermedades en plantas (Caldwell *et al.*, 2002). El objetivo fue evaluar el comportamiento de un fungicida foliar para el control de la roya común en maíz en distintas concentraciones de nitrógeno,

MATERIALES Y MÉTODOS

En el campo experimental de la Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales (ECANA) de la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA) ubicado en la localidad de Pergamino, Buenos Aires, Argentina, en el año 2018 se sembró maíz de primera (DK 7270 VT3PRO), el 14 de septiembre, con un distanciamiento entre hileras de 52 cm, una densidad de siembra de 8 pl/m², una profundidad de siembra de 4 cm

y fertilizado con 100 kg /ha de súper fosfato simple. El diseño experimental utilizado tuvo distribución factorial de cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones, y cada parcela presentó una dimensión de 3 m de ancho por 6 m de largo. Los tratamientos fueron con y sin fungicida foliar (azoxistrobina más cyproconazole) a las dosis de 0 y 500 mL/ha y a la dosis de 0 y 200 kg/ha de nitrógeno. La aplicación fue en el estado fenológico R1, (Ritchie y Hanway, 1982), cuando la roya común del maíz alcanzó el umbral de daño económico (UDE: 50 % de incidencia y 5 % de severidad). La aplicación del fungicida foliar se realizó con una mochila de presión constante, empleando un volumen de 130 l/ha y una presión de 5 bares el día 15 de diciembre a las 18 hs con una humedad relativa del 60 % y a una temperatura de 27 °C. El fertilizante fue aplicado al voleo a la sombra con urea (46-0-0) a las dosis 0 y 200 kg/ha de nitrógeno.

Cuando los granos de maíz presentaron una humedad igual al 14,5 %, evaluada con un humedímetro, previamente calibrado, se realizó la cosecha en forma manual abarcando una superficie de 1 m de ancho por 1 m de largo por cada tratamiento. Se evaluó el rendimiento (R) (kg ha⁻¹) y sus componentes: el número grano5 m (NG) y el peso de mil granos (PMG) en gramos. El peso hectolítrico (PH) en kg /hL fue evaluado con un humedímetro.

Evaluación de la roya común del maíz

El diagnóstico de enfermedades y su evolución temporal en cada tratamiento se determinó utilizando los parámetros incidencia (I), definida como el número de plantas con síntomas de la enfermedad dividido el número de plantas total evaluadas por 100; y la severidad (S), que es el porcentaje de hoja afectada por la enfermedad dividida el área total evaluada por 100. La

intensidad de la enfermedad (IE) se calculó como el producto de la I y la S dividido 100. Las evaluaciones de la IE se realizaron una vez por semana durante 12 semanas a partir del 1 de noviembre de 2018 hasta el 23 de enero de 2019. Los resultados de la IE fueron analizados utilizando el área bajo la curva de progreso de las enfermedades (ABCPE). Este parámetro es una representación gráfica de la intensidad de la enfermedad en función del tiempo que permite resumir en un solo valor el total de la misma y caracterizarla a lo largo del ciclo. Este valor fue calculado según el modelo de integración trapezoidal (Campbell y Nladenden, 1990), de acuerdo a la fórmula:

$$ABCPE = \frac{Y_i + Y_{i-1}}{2} * (I_{i-1} - I_i)$$

Donde Y_i es la intensidad de la enfermedad y t es el período de evaluación en días después de la siembra o cualquier otra escala que se desee usar en función del tiempo. En este caso, las unidades serán porcentaje (%) y días. Este método de análisis epifitiológico considera la variación de la enfermedad en el tiempo.

Estudio estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de la varianza (ANAVA), con la comprobación de supuestos teóricos correspondientes. Las comparaciones de medias fueron realizadas a través de la prueba de diferencia mínima significativa restringida de Fisher (nivel de significancia $\leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El fungicida foliar y la dosis de nitrógeno tuvieron un efecto independiente ($p \leq 0,05$) para las variables analizadas en esta experiencia. El NG, el PMG y el PH tuvieron valores significativamente inferiores ($p \leq 0,05$) en los ambientes sin aplica-

ción de N y sin la aplicación de FF (Tabla 1). La deficiencia de N redujo el R en granos afectando tanto el NG como el PMG. En ambientes pobres en N, se incrementa el aborto de flores y, por consiguiente, se desarrollan menos NG por espiga

La roya común del maíz redujo el R en 371 kg /ha; donde en los tratamientos sin FF, el R fue de 9 095 kg /ha. Mientras que en los tratamientos con FF el rendimiento promedio fue de 9 466 kg /ha (Tabla 2). Los ambientes con menor contenido de nitrógeno tuvieron menor respuesta al que los ambientes con buena disponibilidad de nitrógeno (8 201 kg ha y 10 360 kg ha', respectivamente) (Tabla 1).

Los valores del ABCPIE fueron de 301 en los tratamientos con FF y de 408 en los sin FF (Tabla 2). En los ambientes con buen contenido de N, los valores del AB-

CPIE fueron significativamente mayores ($p \leq 0,05$) que los de ambientes con menor contenido de N (370 y 340, respectivamente). La RC del maíz es un organismo biotrófico y puede presentar una mayor tasa de desarrollo en hospedantes vigorosos.

En esta experiencia se pudo comprobar que los fungicidas pueden controlar la roya común aumentando el rendimiento y reducir el ABCPIE. El nitrógeno es un precursor de la producción. En 2017, *Bacillus subtilis* disminuyó la severidad de la roya común demostrando que el control de la enfermedad puede generarse con un controlador biológico (Díaz Morales *et al.* 2019). La restricción de N reduce los valores del PMG y del PH debido a una menor tasa y la duración efectiva del llenado de los granos (Andrade *et al.*, 1996). La RC del maíz es un organismo biotrófico y pue-

Tabla 1.

Área debajo de la curva de progreso de la incidencia de la enfermedad (ABCPIE) en los distintos tratamientos con y sin fungicidas foliar (FF) en ml/ha y dosis de nitrógeno (DN) en kg/ha.

FF (ml ha ⁻¹)	ABCPIE
0	408A
500	301 B
DN (kg ha ⁻¹)	ABCPIE
0	340A
200	370 B

Tabla 2.

Fungicida foliar (FF) en dos dosis (0 y 500 ml/ha) y las dosis de nitrógeno (DN) en dos dosis (0 y 200 kg/ha) y su efecto sobre el número de granos (NG) por m², peso de mil granos (PMG) en gramos, el peso hectolitrito (PH) en kg/Hl y el rendimiento en kg/ha.

FF (ml ha ⁻¹)	NG	PMG (g)	PH (kg/Hl)	R (kg ha ⁻¹)
0	3116A	293A	70A	9095A
500	3243 B	310 B	74 B	9466 B
DN (kg ha ⁻¹)	NG	PMG (g)	PH (kg/Hl)	R (kg ha ⁻¹)
0	2809A	290A	70A	8201A
200	3549 B	313 B	74 B	10360 B

de presentar una mayor tasa de desarrollo en hospedantes vigorosos. En tal sentido, Pereira y Pereira (2017) determinaron que los valores mayores del ABCPE de la severidad de la roya común del maíz se observaron en las dosis de 157 kg ha⁻¹ de N.

CONCLUSIÓN

El fungicida foliar y las dosis de nitrógeno son factores independientes ($p \leq 0,05$) y deben ser considerados para el manejo integrado de la roya común del maíz. El rendimiento con aplicación de fungicida foliar fue de 9 466 (kg/ha). El

aporte de nitrógeno fue de 10 360 (kg/ha). El área debajo de la curva de la roya común del maíz disminuyó con el uso de fungicidas y aumentó en la dosis de 200 kg/ha de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Lic. Noelia G. Rodríguez por su dedicación a este proyecto y a la Fundación UNNOBA, que pertenece a la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, por el apoyo económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G.N. (2005). Plant pathology. 5 ed. Burlington: Elsevier Academic Press, 952p.
- Andrade F.H., A.G. Cirilo, A. Uhart y M.E. Otegui. (1996). *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa.
- Campbell, C.L y Nadden, L.V (1990). Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons.
- Caldwell, P. N., Ward, J.N. J ; Niles, N., y Laing, N.D.(2002). Assessment of the effects of fertilizer applications on gray leaf spot and yield in maize. *Plant Disease*, 86 (8), 859-866.
- Campbell, C.L y Nadden, L.V (1990). Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons.
- Díaz, F., León, C., Nava, C., y Mendoza, M. (2019). Inducción de resistencia a *Puccinia sorghi* y complejo mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* y otros) en maíz (*Zea mays*). *Revista mexicana de fitopatología*, 37(1), 1-15. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1807-6>
- Dudienas, C., Fantin, G. M., Aildson, P. Duarte, A. P., Ticelli, M., Bárbaro, M., Freitas, R. S., Leão, P.C., Czentini, F.G., Bolonhezi, D., y Pântano, A.P. (2013). Severidade de ferrugem polissora em cultivares de milho e seu efeito na produtividade. *Summa Phytopathologica, Botucatu-SP*, 39(1), 16-23.
- Niles, N., y Laing, N.D. (2002). Assessment of the effects of fertilizer applications on gray leaf spot and yield in maize. *Plant Disease*, 86 (8), 859-866.
- Pereira, L. y Pereira, N.T. (2017). Efeito da adubação nitrogenada em cobertura na severidade da ferrugem comum do milho. *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-M*, 4(4), 99-103
- Ritchie, S.W., y Hanway, J. (1982) How a corn plant develops. Iowa State Univ, Special Report 48.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2013). Fisiología vegetal, (5ta ed.), Artemed, p. 954.

Declaración de roles de autores:

- Miguel Lavilla: Administración del proyecto, conceptualización, investigación, redacción.
- Ana Fernández: Conceptualización, investigación, supervisión.

Instrucciones a los autores de publicaciones en la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu

La Revista de investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, es una publicación científica arbitrada, editada por el Centro de Investigación de la Universidad. La revista se edita con una periodicidad semestral y está orientada a la publicación de artículos científicos originales y revisiones bibliográficas en las áreas de las ciencias agrícolas. La revista publica trabajos realizados por investigadores nacionales y extranjeros, en idioma español o inglés.

La presentación de un manuscrito para su publicación en la Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu debe respetar la originalidad del trabajo científico respectivo, no debiendo estar en proceso de revisión para su publicación en otra revista o haber sido publicado anteriormente. Asimismo, la inclusión de figuras, tablas o pasajes de texto que ya han sido publicados deberán estar acompañadas de la autorización del propietario del derecho de autor. En cualquier caso, el material recibido sin tal evidencia se supondrá que es propiedad del o los autores.

El autor principal debe dirigirse al editor de la revista para iniciar el proceso de revisión del manuscrito. Para ello deberá adjuntar al manuscrito los siguientes documentos: “Carta del autor y declaración de originalidad” y “Carta de autorización para la publicación y distribución” debidamente completadas y firmadas por cada uno de los autores. En estos documentos se debe respetar el orden de autoría que aparece en el manuscrito (en caso de no coincidir la información, el manuscrito será devuelto al autor principal).

El editor y la revista no serán considerados legalmente responsables de los contenidos de cada artículo publicado en caso de cualquier reclamación.

Los manuscritos solo serán aceptados a revisión si cumplen las normas formales de la revista. Todos los textos, tablas y figuras deben presentarse en formato Word, las tablas y figuras deben estar numeradas e insertadas en el lugar correcto del texto, pudiendo solicitarse adicionalmente a los autores los datos originales de éstas. Tanto tablas como figuras, no deben exceder el número de cinco de cada una.

El trabajo debe ser escrito en formato Word tamaño A-4, a espacio y medio de interlineado, en caracteres de 12 puntos, con fuente de estilo calibri y en una columna. Los artículos serán enviados al editor de la revista al correo electrónico: revista.cientifica@ulcb.edu.pe, acompañados de la “Carta de autorización para la publicación y distribución” y la “Carta del autor y declaración de originalidad”.

Los manuscritos pueden ser presentados en idioma español o inglés, con una extensión máxima de 15 páginas.

La estructura del manuscrito debe ser:

I.- Identificación del manuscrito

1.- El título, debe ser conciso e informativo con un máximo de 15 palabras, en idioma español y su traducción al idioma inglés o viceversa. Cada organismo vivo nombrado debe llevar inmediatamente detrás el nombre científico entre paréntesis y en letra cursiva respetando las normas de taxonomía. Debe ser atractivo, preciso, y comunicar el contenido del texto. No deben aparecer nombres comerciales ni abreviaturas. El título sin punto final.

2.- Identificación de autores: Los nombres de los autores deben aparecer según la plataforma IraLIS (International Registry of Authors-Links to Identify Scientists) que sugiere:

Nombre + Inicial del segundo nombre (opcional) + primer Apellido.

En caso de querer usar el segundo apellido, deben aparecer ambos apellidos unidos por guión.

No usar la abreviatura M.^a (se debe escribir M. o María).

Las partículas De, Del, De la y De los deben ir junto al apellido, no junto al nombre.

Es imprescindible proporcionar el número ORCID de cada autor. En caso de tener que registrarse, use el sitio <https://orcid.org/>

3.- Afiliación de cada autor: Debe aparecer la institución. Ciudad, País (ej. Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú). En caso de que los autores tengan diferente afiliación, se identificará exponencialmente en cada uno de ellos con un número que se corresponderá con cada institución y debajo de los nombres se listarán las instituciones.

ej. Vannia Gonzales-Krapp¹, Valeria Vento-Sime², Karen V. Quiroz-Cornejo³ y Víctor J. Samillan^{3,4}

1.- Academia de Artes Marciales Parabellum. Lima, Perú

2.- Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú

3.- Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú

4.- Escuela de Postgrado, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

4.- Correo electrónico del autor para correspondencia.

II.- Resumen del artículo

El resumen/abstract del artículo debe tener entre 200 y 250 palabras, no debe contener abreviaturas indefinidas o citas no referenciadas. Debe ser presentado en idioma español y en idioma inglés (o viceversa según el idioma del texto). Debe permitir identificar de manera rápida y concisa el contenido del artículo, incluyendo la información más destacada del contexto en que se desarrolla el trabajo, el objetivo, la metodología, los principales resultados y conclusiones. Se redacta en tiempo pasado, y se estructura en un solo párrafo.

Las palabras clave/keywords, deben ser de 4 a 6 palabras y se recomienda que no estén en el título para que cumplan su función en las búsquedas. La primera palabra se inicia con letra mayúscula y a continuación irán separadas por (,) y llevarán (.) final. Deben ser presentados en idioma español e inglés.

III.- Introducción

Debe exponer cuál es el problema en estudio y por qué se estudió. La investigación debe introducirse describiendo el problema y su justificación, destacando los antecedentes abordados en la literatura científica más reciente. Los antecedentes abordados deben incluir las contribuciones de los autores para cubrir la brecha existente que el artículo pretende cubrir. Debe incluir la importancia y los objetivos del manuscrito

IV.- Materiales y Métodos

Debe iniciar describiendo los materiales a utilizar y su origen, así como el sitio donde se desarrolló el trabajo. Se deben describir expresamente los procedimientos metodológicos, equipos y cualquier modificación o ajuste realizado. Debe tener en cuenta el tamaño de la muestra, instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento y análisis estadístico. En caso de estar involucrados seres humanos, animales de experimentación, o plantas extraídas de la naturaleza (no cultivadas) es necesario tener en cuenta y mencionar que se cumplieron los estándares éticos requeridos internacionalmente en el caso que ocupe. Los estudios en humanos, deben contar con la aprobación del Comité de Ética institucional que aprobó el protocolo, adjuntando copia de la constancia emitida y el consentimiento informado empleado en el estudio a publicar. Es importante detallar al nivel que se garantice la reproducibilidad del trabajo.

V.- Resultados y Discusión

Debe mantener el orden cronológico expuesto en el capítulo **Materiales y Métodos**. Cada resultado debe iniciarse con una pequeña introducción que permita exponer las tablas y figuras con la información de interés, teniendo en cuenta los objetivos. Si es necesario dividir **Resultados y Discusión** en sub-acápites para su mejor entendimiento, se procederá como tal, evitando en cualquier caso repetir información que aparezca previamente en el texto.

Todos los resultados deben ser discutidos exponiendo qué significan y su valoración, debiendo explicarse por las bases teóricas que brindan otros autores y a

través de comparaciones con los resultados de otras investigaciones actuales del tema o temas relacionados. Tener en cuenta en qué supera resultados previos o qué limitaciones aparecen. Cada uno de los argumentos descritos deben estar respaldados por las citas de literatura científica actualizada.

VI.- Conclusiones

Se deben sintetizar los principales resultados del estudio, destacando su relevancia científica y sus implicaciones prácticas en el ámbito del trabajo realizado. Esta sección debe responder claramente a los objetivos del trabajo. Deben ser concisas y tener presente que no debe repetirse ninguna información que ya aparezca, evitando cualquier tipo de explicación.

VII Declaración de roles de autores:

Con el objetivo de promover la transparencia y el reconocimiento a las contribuciones individuales en los trabajos publicados, la revista adopta la Taxonomía CRediT como estándar para la declaración de autoría. Este enfoque describe la participación de cada autor en el trabajo como: la conceptualización, la curación de datos, el análisis formal, la obtención de financiación, la investigación, la metodología, la administración del proyecto, los recursos, el software, la supervisión, la validación, la visualización y la redacción del borrador original y de la revisión y edición del texto final.

VIII Financiamiento de la investigación/ Agradecimientos:

Los autores deben declarar cualquier fuente de financiación involucrada en la realización de la investigación o en la preparación del artículo. Expresando que: Este trabajo fue apoyado por [Institución] [números de subvención xxxx-1234].

Si no se ha proporcionado financiación para la investigación, se recomienda incluir la siguiente frase: Esta investigación no recibió subvención externa, de manera que ha sido fruto del autofinanciamiento de los autores.

Pudiendo agradecer en este acápite cualquier colaboración o apoyo personal o institucional adicional.

IX.- Declaración de uso de IA generativa en el proceso de escritura

Los autores deben declarar el empleo de IA generativa durante el proceso de redacción científica. Expresando que:

Durante la preparación del manuscrito, el/los autor(es) utilizaron [NOMBRE DE LA HERRAMIENTA/ SERVICIO] para [MOTIVO]. Luego el trabajo fue revisado y editado, asumiendo plena responsabilidad por el contenido del artículo publicado.

Si no tiene nada que declarar, no aparecerá el acápite.

X.- Referencias bibliográficas

Se elaborarán según la última edición de las normas APA. Debiendo comprobarse cuidadosamente que estén correctas y que cada cita del texto, tenga su referencia bibliográfica.

Deben tener al menos 15 referencias bibliográficas citadas y no deben exceder las 30 referencias bibliográficas en cada manuscrito.

Artículo con DOI:

Terry, V., y Casusol, K. (2018). Formulación de una salsa picante a base de pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*), ají amarillo (*Capsicum baccatum*) y ají Charapita (*Capsicum chinense*). *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 5(1), 5-17. <https://doi.org/10.1017/s001190000386>

Artículo sin DOI on line:

Terry, V., y Casusol, K. (2018). Formulación de una salsa picante a base de pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*), ají amarillo (*Capsicum baccatum*) y ají Charapita (*Capsicum chinense*). *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 5(1), 5-17. <http://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/104>

Artículo sin DOI impreso:

Terry, V., y Casusol, K. (2018). Formulación de una salsa picante a base de pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*), ají amarillo (*Capsicum baccatum*) y ají Charapita (*Capsicum chinense*). *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 5(1), 5-17.

INDICACIONES SOBRE EL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS

Formato del texto

Los manuscritos deben enviarse en Word y escrito en una sola columna.

Use 1,5 de espacio interlineado.

Use una fuente normal y simple (por ejemplo, calibre 12 puntos) para texto.

Use letra cursiva para palabras en un idioma distinto al del texto del manuscrito.

Use la función de numeración automática para numerar las páginas.

No use funciones de campo.

Use tabulaciones u otros comandos para sangrías, no la barra espaciadora.

Para crear tablas use la función de tabla, no las hojas de cálculo de EXCEL.

Use el editor de ecuaciones para las ecuaciones.

Considere un máximo de 15 páginas de extensión total del trabajo enviado.

Cuando se trate de números decimales, la parte entera irá separada de la parte decimal por (,) y en inglés por (.) (ej. 3,1416 para español y 3.1416 para inglés)

Los números a partir de los miles deberán ir separados por un espacio cada 3 cifras evitando el uso de cualquier signo de puntuación (ej. 1 000 000), con excepción de los años (ej. 2024).

Los números acompañados de unidades de medidas o signos deben estar separados de ellas por un espacio (ej. 25 %, 25 g).

Abreviaturas

Las abreviaturas deben definirse en la primera mención en el texto y usarse de manera consistente a partir de entonces.

Debe evitar el uso de notas al pie de páginas.

Las notas en las tablas deben estar ajustadas a las normas APA según la última edición.

Tablas y figuras

Cada manuscrito no debe superar las 5 tablas y las 5 figuras.

Todas las tablas y figuras deben ser numeradas usando números arábigos.

Las tablas y figuras deben citarse en texto en orden numérico consecutivo, siempre antes de aparecer en el documento.

Cada tabla y figura debe ser nombrada de manera que se explique la información que brinda.

Las tablas se numeran y nombran en la parte superior, mientras las figuras en la parte inferior. Siempre alineadas al margen izquierdo. Ej.

Tabla 1.

Relación entre las horas de sueño y el rendimiento académico de estudiantes de educación universitaria.

Figura 1. Relación entre las horas de sueño y el rendimiento académico de estudiantes de educación universitaria.

Las notas al pie de las tablas deben seguir la estructura sugerida en la última edición de APA.

No se aceptarán tomas de pantallas como figuras.

Las figura escaneada y fotos deben tener una resolución mínima de 1 200 ppi (píxeles por pulgada).

Si el diagramador lo considera necesario solicitará las figuras o datos originales.

Los gráficos deben elaborarse en blanco, grises y negro, no debiendo tener sombreados que no sean sólidos y que no aporten alguna información.

Evitar el uso de figuras tipo “gráfico pastel” y tridimensionales.

Toda la información dentro de las figuras, debe ser legible en su tamaño final.

Si se usa cualquier aumento en las fotografías, indíquelo utilizando barras de escala dentro de la misma figura.

Para la elaboración de figuras tener en cuenta las políticas al respecto.

Las figuras (fotos y esquemas) deben ser a colores, si fuera en blanco y negro asegúrese que la información principal sea suficientemente nítida.

Pie de figura

Cada figura debe tener un título conciso que describa con precisión lo que se representa.

Los nombres de las figuras comienzan con el término **Figura** en negrita, seguido del número de la figura, también en negrita, y a continuación el nombre.

Datos numéricos y medidas.

Para datos numéricos y medidas, emplear el sistema Internacional de Unidades (SI).

En los textos en español se usará la (.) para las fracciones y en inglés el (/)

Entre el último dígito y la unidad de medida o símbolo, debe mediar un espacio.

Los números de más de 4 dígitos tendrán un espacio cada 3 dígitos, siempre que no se refiera a años y no llevarán (.) o (/).

El término **elaboración propia** no es tenido en cuenta ya que no es fuente.

SISTEMA DE ARBITRAJE

La revista aplica la revisión por pares a doble ciego como sistema de arbitraje principal para garantizar la calidad de los artículos en cada publicación. Los evaluadores son externos a la universidad y expertos en cada área temática. El equipo editorial acepta la revisión por pares abierta como una modalidad opcional para la evaluación de manuscritos recibidos, en la que los autores podrán optar por esta modalidad, en tal caso se informa a los revisores, los que podrán aceptar o no su participación. Los autores también tienen la posibilidad de sugerir algún revisor en la “Carta de autorización para la publicación y distribución ”.

El proceso de arbitraje se inicia con la revisión del cumplimiento de las instrucciones para autores dadas por la revista y la evaluación temática por el Editor Científico. Los autores recibirán un correo electrónico indicando la decisión preliminar si se acepta o rechaza el manuscrito en un plazo no mayor a 30 días a partir de la recepción. El rechazo del manuscrito tendrá carácter definitivo. Si es necesario realizar correcciones mínimas,

se le dará un plazo de 15 días para devolver el manuscrito corregido.

El siguiente paso es el envío de los manuscritos para el arbitraje en pares doble ciego. Los revisores externos desconocerán la identidad de los autores y viceversa. El plazo máximo para la evaluación es de 60 días. Luego de este periodo de tiempo los árbitros pueden considerar el manuscrito:

Publicable sin modificaciones.

Publicable con modificaciones menores.

Publicable con modificaciones mayores para volver a ser presentado y evaluado.

No publicable.

Los manuscritos serán devueltos a los autores en un plazo máximo de 15 días con las modificaciones menores o mayores de forma anónima para que realicen las correcciones en un plazo máximo de 20 días. No se aceptará ningún trabajo sin la totalidad de las modificaciones corregidas. Si las correcciones no fueron realizadas y enviadas hasta un plazo de 30 días, el manuscrito será dado de baja de forma automática.

POLÍTICA DE ACCESO Y REUSO

La revista se desarrolla bajo la modalidad de acceso abierto. El contenido de todos sus números está disponible para descargar a texto completo, sin periodos de embargo con el objetivo de incrementar la difusión de las investigaciones y el intercambio de conocimiento.

No se realiza ningún cobro por el envío, evaluación y publicación (APC's) de los artículos presentados al editor.

La Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu se distribuye bajo la Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional, lo cual permite a terceros mezclar, transformar y crear a partir del contenido de nuestros artículos para fines comerciales y no comerciales, bajo la condición de que toda obra derivada de la publicación original sea distribuida bajo la misma licencia CC-BY 4.0, siempre que mencionen la autoría del trabajo, y a la primera publicación en esta revista. Los autores podrán realizar otros acuerdos independientes y adicionales para la distribución y reproducción no exclusiva de la versión publicada en la revista en otros medios impresos o electrónicos, siempre que se indique la autoría del trabajo y de su publicación inicial, tal como lo estipula la licencia. Los autores pueden archivar, en el repositorio o sitio web de su institución o personal, la versión previa a la revisión por pares y la ya publicada, esta última bajo el formato de la revista. Cualquier utilización comercial del contenido de nuestra publicación necesitará la autorización previa y por escrito del Editor Científico.

PRINCIPIOS ÉTICOS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

Los principios éticos de la revista están adheridos a los lineamientos y recomendaciones del Código de Conducta y Directrices de Mejores Prácticas para Editores de Revistas dadas por el Comité Internacional de Ética en las Publicaciones Científicas

(COPE). Se encuentran disponibles en <https://publicationethics.org/> , en este sentido, el Editor Científico, Director Editorial, el Comité Editorial y el Comité Asesor promoverán las buenas prácticas en la investigación y podrán detectar alguna irregularidad o falta cometida por parte de los colaboradores. Se aplican los siguientes principios:

Originalidad: Los manuscritos enviados deben ser originales. No haber sido publicados anteriormente. No haber sido enviados simultáneamente a otras revistas para su evaluación. Si la información se extrae de una fuente externa se debe incluir la respectiva citación y referencia de acuerdo a las instrucciones a los autores.

Consentimiento: Todos los autores dan su consentimiento para el envío, revisión y publicación del manuscrito a través de la carta de autorización de publicación y distribución publicada dentro de las instrucciones a los autores.

Autoría: Todos los autores que contribuyeron con la investigación deben ser incluidos, sin omitir a ninguno, en el manuscrito. El orden de los autores depende de su mayor o menor participación en la investigación según sus criterios.

Transparencia: Se aplica un proceso de arbitraje en pares doble ciego de forma anónima, objetiva, consistente y con crítica constructiva. Los árbitros no tienen ningún vínculo de tipo laboral, académico o personal con los autores.

Manifiesto del uso de Inteligencia artificial (IA) generativa en la redacción del manuscrito

Los autores deben manifestar en la carta del autor, el empleo o no de IA generativa durante el proceso de redacción científica, según se tiene en cuenta en las políticas editoriales, omitiéndose el uso de cualquier herramienta de IA relacionada con el análisis de datos que forman parte de la investigación.

Al ser los autores los únicos responsables del contenido del manuscrito, se recomienda que cualquier uso de IA sea responsable, supervisado y controlado por los autores, teniendo en cuenta que en ningún caso la IA o herramientas asistidas por ella, debe ser citada como autor. Actualmente los revisores y editores NO tienen permitido el uso de IA generativa ni herramientas asistidas por IA en su importante labor.

El uso de IA generativa en el proceso de escritura debe ser declarado en el manuscrito. Su no declaración implica su no uso.

Uso de lenguaje inclusivo

Los autores deben reconocer en su manuscrito la diversidad y respeto a todas las personas, asegurándose de que su trabajo se utilice un lenguaje inclusivo en todo momento y no contenga nada que pueda implicar que una persona es superior a otra por motivos de edad, genero, orientación sexual, cultura, etnicidad o discapacidad.

Procesamiento de imágenes

Los autores deben respetar lo planteado en la revista en cuanto a las imágenes, haciendo énfasis en que los ajustes de brillo, contraste o balance de color se aceptan siempre que no eliminen ninguna información original. No se acepta el uso de IA generativa ni de herramientas asistidas por IA para crear o modificar imágenes.

Todo manuscrito que no se adecúe a estos principios y se compruebe una mala práctica será rechazado, retractado o eliminado, en función del estado en que se encuentre en el momento de detectar faltas éticas.

Los Editores se reservan el derecho de rechazar manuscritos que no cumplan con las pautas mencionadas anteriormente. El autor será responsable por el contenido comprendido en el manuscrito.



*Contribuyendo al desarrollo de la investigación,
la ciencia y la innovación científica del Perú.*

Avenida Salaverry 3180. Magdalena del Mar
Lima - Perú