

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

 **LA TÉCNICA**
Revista de las Agrociencias



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1952

14
VOLUMEN
Núm. 2



JULIO - DICIEMBRE 2024

ECUADOR

Autoridades

 Luis Santiago Quiroz Fernández, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Rector

 Mara Jacqueline Molina de Lozano, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Vicerrectora Académica

 Alex Alberto Dueñas Rivadeneira, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director del Instituto de Investigación

Equipo editorial

 Joan Manuel Rodríguez Díaz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Director de la revista

 Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Editora General

Editores de sección

 Ana María Santana Piñeros, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Acuicultura y pesca

 Liudmila Shkiliova, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agricultura y silvicultura

 Juan Carlos Vélez Chica, MSc.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroeconomía

 Wagner Antonio Gorozabel Muñoz, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Agroindustria

 Mirna Cecilia Oviedo, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Ciencias de la vida

 Yulien Fernández Romay, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Producción y salud animal

 Henry Pacheco, PhD.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Protección del ambiente



Cuerpo editorial

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

Consejo editorial

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

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

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

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

Equipo Técnico

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

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

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

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

ÍNDICE

ACUICULTURA Y PESCA

Estado actual de los últimos titanes de río, los bagres del género *Brachyplatystoma* en la Amazonía de Ecuador: *In memoriam*

Current status of the last river titans, the catfishes of the genus *Brachyplatystoma* in the Ecuadorian Amazon: *In memoriam*

Ivan Vinicio Jácome-Negrete, Cristhian Founes-Pinto

69-85

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Impacto de insecticidas sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) y su influencia en el rendimiento del brócoli en Guaytacama, Cotopaxi, Ecuador

Impact of insecticides on *Brevicoryne brassicae* (L.) and its influence on broccoli yield in Guaytacama, Cotopaxi, Ecuador

José Gabriel Ugsha Sabando, Dorys T. Chirinos, Eliana Granja Guerra, Mario Javier Chuquiana Caiza

86-94

AQUICULTURE & FISHING

Effect of diet with plant-derived bioactive compounds on physiological and tissular responses in the common carp (*Cyprinus carpio*)

Efecto de la dieta con compuestos bioactivos de origen vegetal en las respuestas fisiológicas y tisulares de la carpa común (*Cyprinus carpio*)

Raad M. Sayed-Lafi, Fatima A. M. Sultan, Riyadh A. Al-Tameemi

95-102

PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica

Analysis of wastewater treatment technologies: A bibliographic review

Fabiola Maribel Jiménez Tamayo, Joana Alexandra Moreno López, Mónica Cecibel Encalada Zumba, Evelyn Alejandra Vargas Peralvo

103-117

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Aprovechamiento de ensilaje de raquis de *Musa x paradisiaca* (plátano) como suplemento alimenticio en rumiantes en el marco de la economía circular

Use of *Musa x paradisiaca* (plantain) rachis silage as a feed supplement in ruminants for circular economy purposes

Roxanna Patricia Palma-León, Miguel Ángel Macay-Anchundia, Veronica Carolina Cevallos-López, Angelica Nicole Cuzme-Figueroa, Leonardo Avellán-Vásquez

118-126

PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Validación del programa informático Kinovea® para la obtención de medidas zoométricas en cerdos: Comparación con métodos tradicionales

Validation of the Kinovea® software program for obtaining zoometric measurements in swine: Comparison with traditional methods

Andreina Monserrate Cedeño-Muñoz, Arianna Abigail Rivera-González, Carlos Octavio Larrea-Izurieta

127-131

AGRICULTURA Y SILVICULTURA

Manejo poscosecha y evaluación de la calidad de la guanábana (*Annona muricata*) en la provincia de Pastaza

Post-harvest management and quality evaluation for soursop (*Annona muricata*) in the province of Pastaza

Santiago Aguiar Novillo, Susi Gómez, Luis Fernando Arboleda, Edgar Chicaiza

132-138

PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

La chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) como alternativa para la alimentación porcina

Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) as an alternative for pig feeding

Jessica Zambrano-Mendoza, Euster Alcívar-Acosta, Crithian Verduga-López

139-146





Estado actual de los últimos titanes de río, los bagres del género *Brachyplatystoma* en la Amazonía de Ecuador: *In memoriam*

Current status of the last river titans, the catfishes of the genus *Brachyplatystoma* in the Ecuadorian Amazon: *In memoriam*

Autores

*Iván Vinicio Jácome-Negrete 

✉ ivjacome@uce.edu.ec

Cristhian Founes-Pinto 

✉ cifounes@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Biológicas, Quito, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Jácome-Negrete, I. V. y Founes-Pinto, C. (2024). Estado actual de los últimos titanes de río, los bagres del género *Brachyplatystoma* en la Amazonía de Ecuador: *In memoriam*. *La Técnica*, 14(2), 69-85. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6513>

Recibido: Marzo 01, 2024

Aceptado: Mayo 02, 2024

Publicado: Junio 30, 2024

Resumen

El conocimiento actual sobre los bagres gigantes del género *Brachyplatystoma* reportados para la Amazonía ecuatoriana es incipiente, aun ante su notable valor en la pesca comercial continental. Por esta razón, este trabajo incluyó una revisión del conocimiento existente acerca de las especies reportadas para Ecuador realizada a partir de la consulta bibliográfica y el estudio de especímenes del Museo Gustavo Orcés V. de Quito. En la Amazonía ecuatoriana se reporta la existencia de seis especies: *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillantii*, *B. platynemum*, *B. juruense* y *B. tigrinum*. Se presentaron datos de su distribución a nivel de cuenca hidrográfica, características corporales para peces adultos, aspectos de su migración, dieta y, desove, así como datos cruciales de su biología reproductiva para promover el manejo sustentable. También fueron identificadas las principales amenazas para su conservación. A partir de este diagnóstico se propusieron alternativas para su conservación, enfocadas en la aplicación de regulaciones de pesca y la creación de zonas de conservación en los principales cauces amazónicos del país. Con la información presentada, se espera que sea posible en el mediano plazo favorecer a la conservación de los últimos peces gigantes amazónicos, dada su importancia para los pueblos y ecosistemas ribereños.

Palabras clave: siluriformes; Pimelodidae; bagres gigantes; biodiversidad; conservación; pesquería continental.

Abstract

Current knowledge about giant catfishes of the genus *Brachyplatystoma* reported from the Ecuadorian Amazon is incipient despite their remarkable value in continental commercial fisheries. For this reason, this paper includes a review of the existing knowledge about the species reported for Ecuador based on bibliographic consultation and the study of specimens from Gustavo Orcés V. museum in Quito. Six species are reported from the Ecuadorian Amazon: *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillantii*, *B. platynemum*, *B. juruense*, and *B. tigrinum*. Data are presented on their distribution at the river basin level, body characteristics for adult fish, aspects of their migration, diet, and spawning, as well as crucial data on their reproductive biology to promote sustainable management. The main threats to their conservation are also identified. Based on this diagnosis, alternatives for their conservation was proposed, focused on the application of fishing regulations and the creation of conservation zones in the main Amazonian waterways of the country. With the information presented, it is expected that, will in the medium term, it will be possible to favor the conservation of the last giant Amazonian fish, given their importance for the riparian peoples and ecosystems.

Keywords: siluriformes; Pimelodidae; biodiversity; conservation; giant catfishes; continental fishery.



Introducción

La cifra actual de especies válidas de peces de agua dulce es de 18.614 especies (50,80% del total mundial) (Fricke et al., 2023). En el Neotrópico, las especies dulceacuicolas son las más diversas, alcanzado una cifra de al menos 5.500 especies (30% del total de agua dulce y 10% de los vertebrados), con un predominio de Characiformes, Siluriformes y Gymnotiformes (Pelicice et al., 2017). Todas estas especies proporcionan múltiples servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales (Ferreira et al., 2023; Pelicice et al., 2023). Sin embargo, la sobrepesca de ejemplares inmaduros, contaminación del agua, deforestación, reducción del caudal de los ríos para otros usos, la interrupción del curso de los ríos con represas y la introducción de especies exóticas son los principales factores de amenaza para estas especies (Barriga, 2012; Valdiviezo et al., 2012). En toda la cuenca amazónica, los Siluriformes incluyen especies muy explotadas en la pesca comercial, deportiva y de subsistencia por su mayor tamaño corporal (Torrico et al., 2020). A pesar de la enorme importancia de la pesca amazónica para la generación de ingresos económicos y los empleos que proporciona, la carencia de datos aún la mantiene invisibilizada en toda la región (Almeida et al., 2004).

El Orden Siluriformes contiene 36 familias, 478 géneros y 3.093 especies (Ferraris, 2007). Estos peces se denominan como peces gato, por presentar barbicelos, siendo el segundo orden más diverso de peces del Neotrópico (Rivadeneira et al., 2010). La mayoría de géneros de este orden tienen barbicelos maxilares y mentonianos, dientes dispuestos en parches y almohadillas, una cintura escapular desarrollada y unida al cráneo, y sus aletas dorsales y pectorales presentan un primer radio modificado en una espina punzante (Galvis et al., 1997). Una de las familias más diversas de Siluriformes es Pimelodidae, con 29 géneros, 93 especies vivas y cuatro especies fósiles (Ferraris, 2007). Esta familia presenta las siguientes características: cuerpo desnudo (sin escamas); cabeza aplanada dorsiventralmente, con dos aberturas branquiales grandes; boca ventral o terminal (nunca en forma de ventosa), tres pares de barbicelos (uno en la mandíbula superior y dos mentonianos), aleta adiposa presente y alargada y filamentos dorsales y caudales muy largos en juveniles de especies grandes (Palencia, 1995; Galvis et al., 1997; Van der Sleen y Albert, 2018).

El género *Brachyplatystoma* destaca dentro de los pimelódidos por contener las especies más importantes en la pesca de toda la cuenca amazónica. Las principales características anatómicas de las especies de *Brachyplatystoma* son las siguientes: 1) cabeza ancha, recubierta de piel, con un hocico fuertemente deprimido; 2) ojos pequeños, dorsos laterales, con el borde orbital libre; 3)

barbicelos maxilares largos, extendiéndose hasta o más allá del pedúnculo caudal; 4) hocico redondeado y boca ancha, con la mandíbula superior protruida; 5) aleta caudal furcada; 6) base de la aleta adiposa más larga que la base de la aleta anal (Burgess, 1989). Las especies de este género, aun ante su alto valor como recurso pesquero, aún son peces pobremente conocidos, sin saber con exactitud ciertos componentes importantes de sus historias de vida necesarios para promover su conservación a largo plazo (Lundberg y Akama, 2005).

En Ecuador, de las 43 especies de bagres pimelódidos, seis especies pertenecientes al género *Brachyplatystoma* han sido encontradas en las zonas ictiohidrográficas Napo-Pastaza y Morona Santiago: *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillantii*, *B. platynemum*, *B. juruense* y *B. tigrinum* (Barriga, 2012). Según la IUCN (2022), de todas las especies de *Brachyplatystoma*, únicamente *B. rousseauxii* está catalogado como especie bajo preocupación menor (LC). De acuerdo a la Lista Roja Nacional de Peces de agua dulce del Ecuador, publicada en el año 2019, las especies del género *Brachyplatystoma* reportadas para Ecuador presentan las siguientes categorías a escala nacional (Aguirre et al., 2019), tomando en cuenta su mayor vulnerabilidad, por incluir especies de peces de mayor tamaño, con hábitos migratorios de la Amazonía (tabla 1).

Tabla 1: Especies de bagres gigantes del género *Brachyplatystoma* reportadas para Ecuador, sus nombres comunes y categorías nacionales de amenaza.

Nombre científico	Nombre común	Nombre kichwa	Categoría Nacional de Amenaza
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i> (Lichtentein, 1819)	Lechero	Saltun bagri	Vulnerable
<i>B. rousseauxii</i> (Castelnau, 1855)	Plateado	Arawaru bagri	En peligro
<i>B. vaillantii</i> (Valenciennes, 1840)	Playa mota	Angu chupa	En peligro
<i>B. platynemum</i> (Boulenger, 1898)	Baboso	Arawi	En peligro
<i>B. juruense</i> (Boulenger, 1898)	Bagre cebrá	Muru santi	Vulnerable
<i>B. tigrinum</i> (Britski, 1981)	Pintadillo tigre	Wituk bagri	Vulnerable

La biología de los bagres migratorios de América Latina aún es desconocida, aun ante su notable importancia biológica, cultural y económica. La pesquería de estos peces aporta como alimento, ingresos económicos, siendo una actividad de subsistencia y comercial (Harvey y Carolsfeld, 2003). En la Amazonía, las

especies del género *Brachyplatystoma* son las más valoradas en la pesca comercial (Díaz-Sarmiento y Álvarez-León, 2003). Ante su alto valor, el conocimiento sobre estos bagres a escala nacional es insuficiente, al no contar con mayor información sobre su biología reproductiva, abundancia, hábitos alimenticios, ecología, rutas migratorias, distancia recorrida en sus migraciones, sitios de desove, niveles de cosecha y otros aspectos clave para planificar su conservación a largo plazo (Bonetto y Castello 1985; Lundberg y Akama, 2005; Willink et al., 2005; Valdiviezo et al., 2012). Además, también es palpable la disminución de stock pesquero de *Brachyplatystoma* en toda la cuenca, con la consecuente aparición de conflictos entre los pescadores locales (Harvey y Carolsfeld, 2003; Villamil-Rodríguez et al., 2018).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue sintetizar información acerca de los bagres gigantes del género *Brachyplatystoma* reportados para Ecuador, a partir de una revisión bibliográfica y del escrutinio de especímenes de la colección ictiológica histórica del Museo de Historia Natural Gustavo Orcés V. (MEPN) de la ciudad de Quito.

Materiales y métodos

Ante la escasez de información sobre los bagres del género *Brachyplatystoma* a escala nacional se propone la presente revisión que busca sintetizar la información existente para las especies ecuatorianas a partir de datos existentes para la Amazonía ecuatoriana y de otros países vecinos, para contestar las siguientes interrogantes:

- (i) ¿Qué especies del género *Brachyplatystoma* habitan en Ecuador y donde están distribuidas a nivel espacial y altitudinal en la Amazonía de Ecuador?
- (ii) ¿Cuáles son sus patrones migratorios, parámetros reproductivos y dietas?
- (iii) ¿Qué características tiene la pesquería de estos bagres de río en Ecuador?
- (iv) ¿Cuáles son las principales amenazas para este grupo en Ecuador?
- (v) ¿Qué alternativas de conservación pueden ser viables para estas especies?

Se plantea responder a estas interrogantes a partir de la búsqueda y consulta de información publicada en internet para Ecuador y los países amazónicos vecinos, así como de la revisión de datos históricos de la colección ictiológica más grande de Ecuador que mantiene especímenes de peces de este género (Colección

Ictiológica de la Escuela Politécnica Nacional, Museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.). A partir de esta revisión se propone ofrecer recomendaciones que permitan enrumbar investigaciones futuras para solventar vacíos claves en el conocimiento del grupo y proponer estrategias de conservación acordes a su ecología compleja al tratarse de especies migratorias transnacionales.

Desarrollo y discusión

Evidencia fósil

El registro fósil del género *Brachyplatystoma* está restringido al Mioceno de Colombia y Venezuela, y las especies existentes habitan actualmente las cuencas del Orinoco y Amazonas; se adiciona a los registros previos, la descripción de una nueva especie de *Brachyplatystoma* (*B. elbakanyi* nov. sp.) en la cuenca del Paleoparaná (Argentina), lo cual indicó una conexión con la cuenca amazónica hasta principios del Mioceno tardío (Agnolin y Bogan, 2020). Para Ecuador no se cuenta con información relativa al hallazgo de fósiles de este género de peces.

Sistemática

En el género *Brachyplatystoma*, algunas características anatómicas distintivas son las siguientes: cabeza ancha, fuertemente deprimida hacia el hocico; fontanela elongada y elíptica; proceso supra occipital ancho y fuertemente unido a la placa nugal; proceso postoccipital dos veces mayor que la placa predorsal; ojos pequeños en posición dorso lateral; dientes pre-maxilares sin mayor desarrollo; barbillas maxilares de tamaño variable; boca ancha y hocico redondeado; espinas dorsales y pectorales fuertes, no cubiertas con piel; aleta caudal profundamente ahorquillada, con lóbulos y a veces filamentos; la base de la aleta adiposa es larga, igual o mayor a la base de la aleta anal; filamentos caudales largos y fuertes en juveniles (García y Calderón, 2006; Van der Sleen y Albert, 2018).

La aleta caudal de juveniles y subadultos de peces del género *Brachyplatystoma* tiene los filamentos de los lóbulos superior e inferior marcadamente alargados, y cada filamento se compone de un radio principal simple, no ramificado. En adultos de *B. vaillantii*, *B. filamentosum*, *B. rousseauxii* y *B. capapetrum*, los filamentos caudales son cortos y pueden perderse por daño, mientras que los filamentos caudales persisten en los adultos de *B. platynemum*, *B. juruense* y *B. tigrinum* (Lundberg y Akama, 2005).

Las principales características morfológicas para los adultos de las especies de *Brachyplatystoma* encontradas en la Amazonía ecuatoriana se presentan a continuación (tabla 2).

Tabla 2. Características morfológicas de los peces adultos de las especies de *Brachyplatystoma* reportadas para la Amazonía de Ecuador.

N.-	Especie	Características corporales visibles para peces adultos				Fuente	
		Talla máxima (cm)	Peso máximo (kg)	Cuerpo	Cabeza y barbicelos		Aletas
1	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i> (figura 1A)	200 a 300	110 a 200	Cuerpo cilíndrico, gris plateado al dorso y blanco ventralmente. Línea lateral bien marcada. Piel difícilmente rasgable.	Mandíbula superior más larga que la inferior. Barbicelos maxilares cilíndricos y largos. Barbicelos mentonianos cortos.	Aleta dorsal con seis radios. Aleta adiposa corta, siendo su base igual a la de la aleta anal. Aleta caudal ahorquillada, con lóbulos filamentosos largos (si no están rotos). Glándulas secretoras en la base de la aleta pectoral.	Salinas y Agudelo, 2000; Galvis et al., 2006; García-Dávila et al., 2018.
2	<i>B. rousseauxii</i> (figura 1B)	150	20	Cuerpo dorado brillante y refulgente en vivo. Línea lateral poco marcada. Piel lisa y suave, fácilmente rasgable.	Mandíbula superior e inferior iguales. Barbicelos maxilares cortos y cilíndricos, del largo de la cabeza.	Aleta caudal larga y ahorquillada. Orígenes de las aletas anal y adiposa al mismo nivel.	Román 1985; Salinas y Agudelo, 2000; Galvis et al., 2006; García-Dávila et al., 2018. L. Guarderas com. per.
3	<i>B. vaillantii</i> (figura 1C)	80 a 100	10	Cuerpo gris oscuro al dorso; parte superior de la cabeza, vientre y mentón blancucinos. Flancos con estrias longitudinales en la piel.	Mandíbula superior sobresale levemente de la inferior. Barbicelos maxilares, achatados, sobrepasan la aleta adiposa. Barbicelos mentonianos no llegan más allá que la mitad del cuerpo. Ojos pequeños y dorsales.	Aleta dorsal y pectoral con espinas punzantes. Aleta adiposa alta y larga, cuya base es dos veces la base de la aleta anal. Aleta caudal ahorquillada, con lóbulos prolongados en filamentos largos. Origen de las aletas pélvicas, por debajo de la terminación de la aleta dorsal.	Salinas y Agudelo, 2000; Galvis et al., 2006; García-Dávila et al., 2018.
4	<i>B. platynemum</i> (figura 1D)	80 a 100	5	Cuerpo gris al dorso y blanco ventralmente. Piel con mucha mucosidad en vivo.	Mandíbula superior más larga que la inferior. Barbicelos planos, anchos, no llegan a las aletas pélvicas. Ojos pequeños y dorsales. Cabeza aplanada.	Aleta caudal ahorquillada con filamentos largos (incluso más largos que el pez, cuando no están rotos).	Salinas y Agudelo, 2000; García-Dávila et al., 2018.
5	<i>B. juruense</i> (figura 1E)	60	7	Cuerpo con ocho a 10 bandas transversales oblicuas oscuras, poco simétricas, alternadas sobre fondo marrón a los costados, y en aleta adiposa. Cabeza de color oscuro.	Mandíbula superior ligeramente más larga que la inferior. Barbicelos cortos y finos. Ojos pequeños y dorsales. Boca redondeada.	Base de la aleta adiposa es igual a la base de la aleta anal. Aleta caudal ahorquillada con pigmentación reticulada y con filamentos muy largos. Origen de las aletas pélvicas por debajo de la aleta dorsal.	Román 1985; Salinas y Agudelo, 2000; Galvis et al., 2006; García-Dávila et al., 2018.
6	<i>B. tigrinum</i> (figura 1F)	65	2	Cuerpo con 13 a 15 bandas transversales negruzcas sobre fondo blanco.	Mandíbula superior ligeramente más larga que la inferior. Cabeza grande deprimida. Ojos pequeños y dorsales.	Primera espina dorsal flexible. Aletas con bandas. Aleta caudal furcada.	Salinas y Agudelo, 2000. L. Guarderas com. per.



Figura 1. Ejemplares adultos de *Brachyplatystoma*. A. *B. filamentosum* (Foto: Lida Guarderas Flores); B. *B. rousseauxii*; C. *B. vaillantii* (especimen preservado MEPN-I 19572); D. *B. platynemum* (Foto: Lida Guarderas Flores); E. *B. juruense*; F. *B. tigrinum* (Foto: Lida Guarderas Flores).

Distribución del género *Brachyplatystoma* para las principales cuencas hidrográficas de la Amazonía de Ecuador (mapa/tabla)

En la Amazonía ecuatoriana se reporta la presencia de seis especies del género: *B. filamentosum*, *B. juruense*, *B. platynemum*, *B. rousseauxii*, *B. tigrinum* y *B. vaillantii*. A continuación, se incluyen localidades para cada especie obtenidas de publicaciones previas y la revisión de especímenes de la colección ictiológica de la Escuela Politécnica Nacional (tabla 3; figuras 2 y 3). De la subcuencas del río Corrientes y Conambo no existen referencias publicadas sobre estas especies.

Patrones migratorios de las especies de *Brachyplatystoma* reportadas para Ecuador

La investigación de la migración de los peces es clave para el manejo sustentable de las pesquerías, ya que los movimientos estacionales de los peces condicionan su pesca (Bonetto y Castello, 1985) y reproducción. Una especie migratoria es aquella que freza solamente luego de moverse entre dos zonas geográficas diferentes (Harvey y Carolsfeld, 2003).

Tabla 3: Distribución de las especies de *Brachyplatystoma* en la Amazonía ecuatoriana (se incluyen números de catálogo de especímenes revisados del Museo con el acrónimo MEPN).

Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Putumayo.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: zona fronteriza con Ecuador, tomando como referencia a Puerto Leguizamo, Colombia (114 msnm); tramo colombo-peruano.
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (lechero, saltón, pirahiba), <i>B. rousseauxii</i> (plateado, dorado), <i>B. vaillantii</i> (pirabutón, manitoa, blanco pobre), <i>B. platynemum</i> (baboso, vaselina, barbachata), <i>B. juruense</i> (siete babas, alianza, camisa rayada) y <i>B. tigrinum</i> (alianza, cebra, camiseta).
Referencias: Castro, 1994; Salinas y Agudelo, 2000; Ortega et al., 2006.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río San Miguel.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: tramo comprendido entre Peña Blanca a Palma Roja (260 a 220 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (saltón), <i>B. rousseauxii</i> (arawaro), <i>B. vaillantii</i> (anguchupa) y <i>B. platynemum</i> (arawi).
Referencias: Jácome-Negrete et al., 2022.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Aguarico.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: tramo comprendido entre las bocanas de los ríos Eno y Shushufindi a la bocana del río Cuyabeno (200 a 300 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (barbo blanco, bo simi), <i>B. rousseauxii</i> (plateado, taisimi), <i>B. vaillantii</i> y <i>B. juruense</i> .
Referencias: Vickers, 1989; Hermann et al., 2021; MEPN-I 19571; MEPN-I 19572; MEPN-I 19775.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Napo.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: Puerto Francisco de Orellana, Añango, Pompeya, Nuevo Rocafuerte (175 a 250 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (lechero), <i>B. rousseauxii</i> (plateado), <i>B. vaillantii</i> (playa mota), <i>B. platynemum</i> (baboso), <i>B. juruense</i> (muru santi) y <i>B. tigrinum</i> (cebra).
Referencias: Stewart et al., 1987; Hermann et al., 2021; Anaguano-Yancha et al., 2022; MEPN-I 19574.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Yasuní.
Tipo de río: aguas negras.
Ubicación y altura referencial: Cuenca baja del río Yasuní y bocana con el río Napo en Nuevo Rocafuerte (175 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> , <i>B. rousseauxii</i> , <i>B. vaillantii</i> , <i>B. platynemum</i> y <i>B. juruense</i> .
Referencias: Barriga, 1994; Hermann et al., 2021; MEPN-I 19565.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Tiputini.
Tipo de río: aguas negras.
Ubicación y altura referencial: Ríos Tiputini, Chambira y lagunas adyacentes de la comunidad Guiyero (224 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (omara) y <i>B. juruense</i> (bagre rayado).
Referencias: Albuja, 2011.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Curaray.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: tramo comprendido entre San José de Curaray a la laguna Danta Cocha, en la frontera con Perú (180 a 250 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (saltun bagre), <i>B. rousseauxii</i> (arawaru), <i>B. platynemum</i> (arawi) y <i>B. juruense</i> (micolas bagre, muru santi).
Referencias: Guarderas y Jácome, 2013; Jácome-Negrete y Guarderas, 2014; Jácome-Negrete et al., 2022; MEPN-I 19942.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Pinduc.
Tipo de río: aguas negras.
Ubicación y altura referencial: comunidad kichwa de Yana Yacu, ubicada a 30 km río arriba de la confluencia entre los ríos Pinduc y Conambo (200 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> (saltun bagri), <i>B. rousseauxii</i> (arawaru) y <i>B. juruense</i> (micolas bagri).
Referencias: Jácome, 2005; Jácome y Guarderas, 2005.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Pastaza.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: tramo Andoas a laguna Rimachi, en la zona fronteriza de Perú con Ecuador (170 a 250 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. vaillantii</i> (aikiam).
Referencias: Willink et al., 2005.
Cuenca hidrográfica amazónica en Ecuador: río Morona.
Tipo de río: aguas blancas.
Ubicación y altura referencial: Puerto Morona (220 msnm).
Especies reportadas y sus nombres locales: <i>B. filamentosum</i> y <i>B. vaillantii</i> .
Referencias: Barriga, 2012.



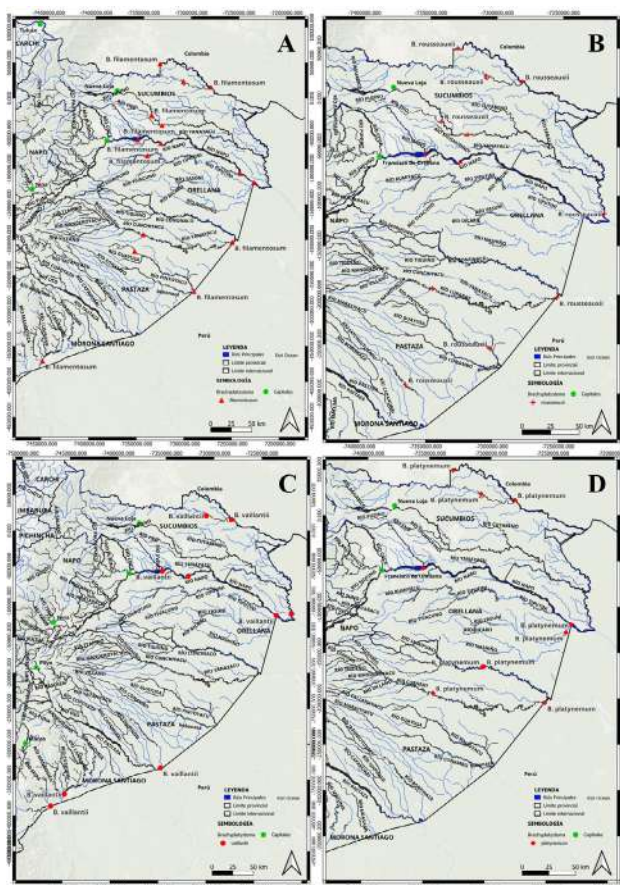


Figura 2. Distribución de las especies de *Brachyplatystoma* de la Amazonía ecuatoriana. A. *B. filamentosum*; B. *B. rousseauxii*; C. *B. vaillantii*; D. *B. platyneum*.

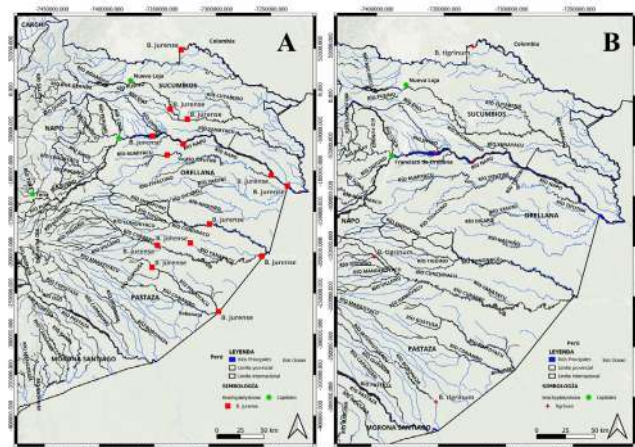


Figura 3. Distribución de las especies de *Brachyplatystoma* de la Amazonía ecuatoriana. A. *B. juruense*; B. *B. tigrinum*.

Estas especies migran río arriba con fines reproductivos al inicio del invierno, desovando en las cabeceras, luego regresan a los estuarios alimentándose en abundancia para reponer energías, mientras sus productos reproductivos (huevos y larvas) derivan aguas abajo con el pulso de la inundación concentrándose en los márgenes del río o en lagunas laterales (Bonetto y Castello, 1985). El estudio de la migración de los bagres siluriformes fue más complejo, ya que fueron especies que se movieron por el fondo del río, siendo más difíciles de detectar (Goulding, 1980).

El conocimiento local de los pescadores aclara vacíos de conocimiento relacionado con la migración de los peces amazónicos, siendo una fuente efectiva sobre cómo estos peces se desplazan y los impactos ambientales que soportan (Nunes et al., 2019). Los bagres del género *Brachyplatystoma*, incluyendo a *B. filamentosum*, *B. rousseauxii* y *B. vaillantii*, fueron catalogadas como especies migratorias altitudinales, con propósitos reproductivos dentro de la cuenca amazónica (Burgess, 1989). Estos *Brachyplatystoma* remontan desde el estuario del Amazonas a las cabeceras para desovar, ya que su maduración gonadal ocurre durante la subida, por ejemplo *B. vaillantii* ha sido encontrado en las partes altas de la Amazonía peruana, a más de 3.500 km de la desembocadura del Amazonas (Agudelo et al., 2000). *Brachyplatystoma filamentosum*, al ser el bagre más grande de este género, cuando alcanza 25 kg, queda confinado a los canales principales de los grandes tributarios, sin poder ingresar a los bosques inundados o lagunas remanentes (Goulding, 1980).

En Ecuador, el conocimiento indígena es la única fuente actual de información acerca de la migración de los *Brachyplatystoma*. De momento, se conoce que estos bagres migran altitudinalmente con fines reproductivos y transversalmente con propósitos de crecimiento. Los pescadores kichwa del río Curaray, en la provincia de Pastaza, atrapan juveniles de *B. rousseauxii* en los meses de octubre a diciembre, cuando atraviesan la frontera con Perú; asimismo, a fines de año, suben juveniles de *B. juruense*, *B. vaillantii*, y *B. filamentosum*, río arriba (Jácome, 2005). Estas especies hacen dos migraciones anuales en la baja Amazonía de Pastaza, según el conocimiento ancestral kichwa, una ocurre en marzo (aguas altas) y otra entre octubre y diciembre (aguas bajas). En estas migraciones, suben a las cabeceras de los ríos grandes siguiendo a sus presas, otros peces de escama como curimátidos y carácidos que también migran. Se sabe que en

la parte alta del río Curaray llegan hasta Huituc, recorriendo unos 400 km desde la frontera con Perú. Es probable que estos bagres suban desde Perú, e incluso Brasil (Jácome-Negrete y Guarderas, 2014).

Mediante el estudio de la presencia de individuos de bagres con gónadas maduras y análisis estadísticos para estimar las distancias de migración de larvas y juveniles, se pudo establecer que *B. rousseauxii*, *B. platynemum* y *B. juruense* desovan en sitios cercanos a los Andes, en la Amazonía occidental, siendo la distancia de migración de *B. rousseauxii* la más larga detectada para peces de agua dulce (Barthem et al., 2017). *Brachyplatystoma rousseauxii* migra desde su área de guardería en el estuario del río Amazonas hasta las cabeceras de ríos ubicados en la Amazonía occidental. La estación de cría ocurre en época de aguas bajas (García Vásquez et al., 2009).

A través del estudio de la espectrometría de los otolitos se pudo determinar que *B. rousseauxii* realizó una migración transamazónica de más de 8.000 km, siendo el estuario del Amazonas la guardería de esta especie y la alta Amazonía (como el río Beni, en Bolivia), sitios donde se capturaron individuos adultos en estado reproductivo (Hauser et al., 2019). Algunos estudios de la diversidad molecular de *B. rousseauxii* en la cuenca amazónica, sugirieron que los individuos en estado reproductivo suben a las cabeceras de los ríos de la Amazonía occidental a desovar en los mismos tributarios donde nacieron (Batista y Alves-Gomes, 2006). A partir del estudio de la macroquímica de los otolitos, se pudo establecer que *B. platynemum* no utilizó el estuario del Amazonas como sitio de guardería, migrando solamente algunos miles de kilómetros en la cuenca, con desplazamientos transnacionales entre Brasil, Bolivia y Perú (Hauser et al., 2019).

Para el caso de *B. platynemum*, hay datos que indicaron que los individuos pueden moverse entre dos sistemas de ríos amazónicos. Por ejemplo, un individuo que fue marcado en el río Madeira, Estado de Amazonas, Brasil, después del cierre de una presa fue recapturado en el río Solimoes luego de recorrer 1.272 km, luego de 84 días (Hahn et al., 2019).

De momento, para la Amazonía ecuatoriana, el conocimiento acerca de los patrones migratorios de *Brachyplatystoma* aún es incipiente y principalmente se sustenta en el conocimiento etnoictiológico local. Otro tipo de estudios, usando técnicas como la espectrometría de los otolitos de estos peces, aún no se han realizado. Tampoco se conoce si el patrón migratorio es similar para hembras y machos adultos, o entre adultos y juveniles.

En el río Napo, en Ecuador (Tramo Coca a 254 msnm y Nuevo Rocafuerte a 175 msnm), se encontró un pico más alto de larvas de Siluriformes en el mes de abril, coincidiendo con el inicio de las lluvias en la región (Hermann et al., 2021). Estas larvas fueron capturadas sobre sustratos de arena, durante la noche. La zona de desove de larvas de bagres posiblemente esté comprendida entre la ciudad del Coca y Pañacocha (208 msnm). En la zona de frontera (Nuevo Rocafuerte) se recolectaron larvas de *B. filamentosum* (5), *B. juruense*, *B. tigrinum* (9) y *B. rousseauxii* (1), con un tamaño de 4 a 6 mm de largo total, y un estimado de uno a cuatro días de eclosión, de un total de 776 larvas. De acuerdo al cálculo de la velocidad de la corriente de este río,

estas larvas probablemente fueron ovipositadas entre 100 a 400 km río arriba (alrededores de la ciudad del Coca) (Hermann et al., 2021).

En la Amazonía boliviana (río Beni), en un estudio realizado con técnicas moleculares para la identificación de larvas y huevos de peces, se determinó que la zona de desove de *B. rousseauxii* estuvo ubicada en una zona de transición, un ecotono en el que aparecieron las primeras playas de arena y desaparecieron las últimas de piedra, ubicada por debajo de las últimas serranías de los Andes (Miranda-Chumacero y Venticinque, 2022).

Un estudio realizado en la cuenca amazónica demostró que las larvas de *B. rousseauxii* migraron río abajo desde el piedemonte andino hasta el bajo Amazonas, donde crecieron durante un largo periodo antes de migrar río arriba como adultos; pero no todos los peces pasaron su etapa de cría en el estuario. Sin embargo, el paso por la Amazonía central fue parte obligada de su ciclo vital y la mayoría de adultos regresaron a su área geográfica natal dentro de las subcuencas (Duponchelle et al., 2016).

Parámetros reproductivos de las especies de *Brachyplatystoma* presentes en Ecuador

A continuación, se presentan datos relativos a las tallas de estos peces y edades a la primera maduración, épocas de desove, datos de fecundidad y otros aspectos importantes de su biología reproductiva que son clave para el manejo sustentable de las pesquerías. Cabe recalcar que, ante la ausencia de datos provenientes de la Amazonía ecuatoriana, se presentan datos de países vecinos, en particular de la Amazonía de Colombia y Perú (tabla 4).

De acuerdo a la información consignada en la tabla 4, se cuenta con mayor indagación sobre la biología reproductiva para las especies más grandes de *Brachyplatystoma*, al ser más importantes en las pesquerías locales: *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillanti* y *B. platynemum*. Probablemente la existencia de más documentación sobre estas especies se deba a la mayor disponibilidad de especímenes capturados en la pesca comercial.

Como posibles interrogantes para promover nuevas investigaciones sobre estas especies en la Amazonía ecuatoriana, se plantean las siguientes:

Hace falta documentar hasta qué localidades y alturas migran los adultos en los principales cauces. Al momento se conoce parcialmente el movimiento longitudinal de adultos para el río Curaray y de las larvas río abajo para el río Napo. Para todas las demás cuencas amazónicas del territorio ecuatoriano no hay información publicada. Además, los patrones migratorios por sexo y edad, así como los hábitats que son usados en la migración por las diferentes especies tampoco se conocen para Ecuador. Cabe añadir que para el caso específico de *B. tigrinum*, únicamente han sido capturados especímenes sobre los 200 msnm, lo cual hace suponer que esta especie en particular habita específicamente en las cabeceras de los ríos.

Tabla 4. Parámetros reproductivos de las especies de *Brachyplatystoma* importantes para el manejo pesquero.

Especie	Tipo de migración	Tallas máximas para Amazonía LT= largo total Peso	L50* Talla a la primera maduración (cm) y edad LE= largo estándar	Medidas de conservación tomadas en la Amazonía	Talla promedio de captura en Ecuador (rio Napo)	Época de desove	Fecundidad	Lugar del reporte	Referencia
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Transfronteriza Se desconoce exactamente, pero juveniles han sido encontrados en la cuenca media del Amazonas	280 a 300 cm 200 kg	Hembra: 148 cm LE/11 años Macho: 126 cm/8 años	Talla mínima de captura: 100 - 110 cm LE (Colombia)	119 cm	Aguas altas	68.170 a 203.608 ovocitos/hembra 1.000.000 huevos/hembra 48 kg	Amazonía colombiana y peruana	Salinas y Agudelo, 2000; Araujo-Lima y Ruffino, 2003; Ajiaco-Martínez et al., 2012; García-Dávila et al., 2018; Anaguano-Yancha et al., 2022.
<i>B. rousseauxii</i>	Transfronteriza Se desconoce exactamente como migra, pero juveniles de 6 cm han sido hallados en la cuenca media del Amazonas y juveniles grandes (96 cm) en el estuario. Adultos han sido encontrados en la Amazonía oeste.	140 cm 10 kg	Hembra: 91 a 101 cm LE/10 años Macho: 83-89 m/8 años	Talla mínima de captura: 85 cm LE (Colombia)	109 cm	Aguas bajas	42.600 a 35.000 ovocitos/hembra de 22-26 kg 1.045.284 ovocitos/hembra de 34 kg	Amazonía colombiana y peruana	Salinas y Agudelo, 2000; Araujo-Lima y Ruffino, 2003; García Vásquez et al., 2009; Agudelo et al., 2012; García-Dávila et al., 2018; Anaguano-Yancha et al., 2022.
<i>B. vaillantii</i>	Transfronteriza Esta especie migra 3500 km río arriba desde la desembocadura del Amazonas para desovar en tributarios andinos (400 msnm)	105 cm	42 cm/3 años 51 cm/6 años	Talla mínima de captura: 40 cm LE (Colombia)	40 cm	Inicio de aguas altas	200.000 a 315.000 ovocitos/hembra	Amazonía peruana	Araujo-Lima y Ruffino, 2003; Galvis et al., 2006; Ajiaco-Martínez et al., 2012; García-Dávila et al., 2018; Anaguano-Yancha et al., 2022.
<i>B. platynemum</i>	Transfronteriza	100 cm 5 kg	Hembra: 78 cm Macho: 65 cm	Talla mínima de captura: 70 cm LE (Colombia)	51 cm	Aguas bajas	353400 ovocitos/hembra	Amazonía peruana	Ramírez-Gil et al., 2012; García-Dávila et al., 2018; Anaguano-Yancha et al., 2022.
<i>B. juruense</i>	Desconocida	70 cm	Sin datos	Talla mínima de captura: 50 cm LE (Colombia)	59 cm	Aguas bajas	Sin datos	Amazonía ecuatoriana	Anaguano-Yancha et al., 2022.
<i>B. tigrinum</i>	Desconocida	100 cm	Sin datos	Talla mínima de captura: 50 cm LE (Colombia)	54 cm	Aguas bajas	Sin datos	Amazonía ecuatoriana	Anaguano-Yancha et al., 2022.

L. Guarderas com. per.

*L50= talla media de madurez gonadal, es la longitud en la cual el 50% de los individuos de una población de peces está apto para reproducirse.

Otros aspectos relacionados con las larvas que deben ser investigados a profundidad, son los sitios de desove en los diferentes tributarios. De momento, esta información únicamente existe para el río Napo, donde el desove ocurre entre la ciudad de Coca y Pañacocha. Asimismo, hace falta documentar otros aspectos clave: ¿cuál es el comportamiento de los adultos hembras y machos durante el desove?, ¿cuántos ciclos de desove tienen los adultos en el año?, ¿qué características morfológicas

tienen las larvas y huevos de las diferentes especies reportadas para Ecuador?, ¿cómo usan las larvas la columna de agua?, ¿los juveniles son de desarrollo directo o sufren notables cambios morfológicos mientras crecen?.

Dieta:

Los bagres del género *Brachyplatystoma* son superpredadores del río, alimentándose preferentemente de peces curimátidos,

prochilodóntidos, anostómidos, erithrinidos, gimnótidos, ranas, huevos y tortuguillos de charapas (*Podocnemis* sp.), e inclusive pichones de aves acuáticas, de acuerdo al conocimiento local (Goulding, 1980; Jácome y Guarderas, 2005; 2014).

En un estudio de contenido estomacal de las especies de este género realizado en la Amazonía colombiana, se registró la siguiente preferencia de presas, a partir de 26 especies de peces consumidas: *Hypophthalmus*, *Calophysus*, *Pimelodus*, *Pimelodella*, *Rhamdia*, *Prochilodus* y *Potamorhina* (Agudelo et al., 2000). Estos peces suelen preferir especies de la capa superficial del agua, con predominio de Characiformes y Siluriformes (Agudelo et al., 2000). Además, en estudios de dietas de estos peces fue relativamente común encontrarlos con el estómago vacío al momento de sus capturas (Goulding, 1980).

Hasta el momento no se cuentan con estudios específicos acerca de la dieta de los grandes bagres en la Amazonía ecuatoriana realizados con métodos distintos a la indagación del conocimiento local.

Características de la pesquería de los bagres *Brachyplatystoma* en Ecuador

Los peces migratorios son un componente integral de la sociedad amazónica, ya que contribuyen con un 93% de los desembarques pesqueros en toda la cuenca amazónica, con un estimado de ganancias de 436 millones de dólares por año (Duponchelle et al., 2021). *Brachyplatystoma rousseauxii* es una de las especies de mayor valor en las pesquerías amazónicas, siendo explotado en estadio juvenil en Brasil y como adulto en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Como consecuencia de ello, está siendo sobreexplotado en gran parte de su área de distribución (Duponchelle et al., 2015). *Brachyplatystoma vaillantii* también es un recurso de pesca muy importante en la cuenca amazónica (Brito-Junior y Tavares-Dias, 2021). Los alevines de *B. tigrinum* son valiosos en el mercado internacional de peces ornamentales y los adultos son consumidos localmente (Alcántara et al., 2009).

Históricamente, la pesca ha sido la principal fuente de recursos para la alimentación y el comercio de los habitantes indígenas y colonos en la Amazonía baja de Ecuador (Barriga, 1994). En la Amazonía central, al sur del Parque Nacional Yasuní, los pescadores locales que viven en las riberas de los ríos Curaray y Pinduc, usan dos métodos de captura para los bagres *Brachyplatystoma*. Una de ellas es el uso de anzuelos individuales grandes (20 cm de longitud) que se sujetan con un cabo fortex grueso a las ramas que están suspendidas sobre las partes más profundas del canal principal del río, atrapando de esta forma a ejemplares de *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillantii*, *B. platynemum*, y *B. juruense* (Jácome, 2005; Jácome-Negrete et al., 2022).

Otro método más intensivo usado por pescadores comerciales de esta zona es el uso de calandras (líneas de hasta 25 anzuelos de 12 a 15 cm de longitud) que se ceban usando como carnada peces curimatidos, cíclidos, gimnótidos, vísceras de aves o huevos de tortuga charapa. Estas calandras se dejan en el río durante la noche

y se revisan a primera hora de la mañana. Este tipo de pesca se hace más frecuentemente durante los meses de verano (octubre a enero) (Jácome-Negrete y Guarderas, 2014). Los pescadores locales disponen de cinco a 10 calandras y están en capacidad de capturar bagres de hasta 90 kg (200 lb) (Jácome, 2005). El uso de líneas de anzuelos es relativamente reciente en la zona, cuando se empezó a emplear a partir del año 2000 (Jácome y Guarderas, 2005). En otros sitios de la Amazonía colombiana, además de los anzuelos individuales y las líneas de anzuelos, los pescadores usan mallas estacionarias flotantes o rastreras y arpones, siendo la malla la técnica más usada, especialmente en época de aguas bajas, mientras que los anzuelos individuales fueron más efectivos en época de aguas altas (Agudelo et al., 2000).

En la actualidad, la pesca comercial de bagres en la Amazonía ecuatoriana aún está catalogada como artesanal, ya que los pescadores usan embarcaciones pequeñas y artes de pesca simples, sin contar con infraestructura de almacenamiento del pescado; además, no se cuenta con mayor información sobre las capturas realizadas y su sustentabilidad (Anaguano-Yancha et al., 2022).

En un estudio de monitoreo del comercio de bagres realizado en dos puertos del río Napo (Coca/Orellana y Pompeya/Sucumbíos) durante 69 días de feria realizados entre los años 2009 a 2011, se registró la venta de 679 peces de 18 especies de bagres (2787 kg). De esta cifra, 35 fueron *B. vaillantii* (17 kg), 23 *B. platynemum* (30 kg), 22 *B. tigrinum* (42 kg), siete *B. filamentosum* (7 kg), siete *B. juruense* (21 kg) y seis *B. rousseauxii* (43 kg). Estas especies se capturaron con mallas bagreras, boyas, anzuelos y buceo (Anaguano-Yancha et al., 2022). En la Amazonía peruana, *B. tigrinum* se captura con redes de distinto tamaño (Alcántara et al., 2009).

Amenazas actuales para los bagres *Brachyplatystoma* en la Amazonía ecuatoriana

Las principales amenazas para los peces migratorios amazónicos son la sobreexplotación, la contaminación y el desarrollo creciente de represas hidroeléctricas (Duponchelle et al., 2021).

Sobreexplotación

Se conocen más en detalle cifras que indican que el stock pesquero de *B. filamentosum* ha disminuido notablemente en toda la cuenca amazónica. Según Petrere et al. (2004) esta especie es más sedentaria que otras del mismo género, por lo que las flotas pesqueras localizadas en la Amazonía occidental pueden incidir más directamente en sus poblaciones, especialmente sobre los peces más grandes y en estado reproductivo. Además, su pesca es más antigua en el Estuario del Amazonas, que en la Amazonía occidental. La pesca industrial de esta especie en la cuenca inició en 1971, luego de siete años alcanzó su pico más alto, y disminuyó para finales de 1990 en el estuario (Petrere et al., 2004).

Desde hace 25 años atrás ya se alertaba sobre las posibles consecuencias para las especies acuáticas de la cuenca baja del

río Napo, entre ellas, los bagres migratorios, por la ampliación de las actividades petroleras y obras civiles asociadas al norte del Parque Nacional Yasuní (Barriga, 1994). Ahora, en toda la Amazonía ecuatoriana, hay una reducción palpable del stock pesquero de todas las especies de *Brachyplatystoma* provocada por distintas causas: el uso excesivo de redes agalleras, la pesca con dinamita u otros métodos no sustentables como el barbasco y el aumento del tránsito fluvial (Anaguano-Yancha et al., 2022; Narankas et al., 2022).

Contaminación de los cauces de agua

En toda la Amazonía ecuatoriana, hay una disminución de todas las especies de *Brachyplatystoma* provocada por los derrames de petróleo, productos mineros y la contaminación con desechos de las ciudades (Anaguano-Yancha et al., 2022; Narankas et al., 2022). Se ha confirmado que el uso de máquinas para lavado de oro aluvial en toda la cuenca media del Amazonas, provocan la contaminación de los peces (Petrere et al., 2004). De momento se conocen algunos ejemplos, como el de la bioacumulación de metales pesados en ciertas especies como el bagre baboso *B. platynemum*, cuyo nivel de mercurio total en su carne es superior a lo permisible según la Organización Mundial de la Salud, provocado por la minería en la Amazonía colombiana, con el consecuente deterioro de las poblaciones de esta especie (Nuñez-Avellaneda et al., 2017).

En la cuenca alta del río Napo (tramo del río Yutzupino), un análisis del impacto de la pequeña minería en el agua y el suelo, reportó la presencia de metales pesados en los suelos, especialmente arsénico, con un valor superior al límite permisible establecido en la legislación ecuatoriana, como producto de la minería desarrollada localmente, con la consecuente afectación de la calidad del agua y degradación del suelo (Medina-Bueno et al., 2023). En la provincia de Morona Santiago, en ríos donde hay minería ilegal, como el río Cuchipamba se ha registrado contaminación por plomo, cuyos valores detectados superaron los límites permisibles (Brito, 2022). En sitios de explotación minera de la costa ecuatoriana, se han encontrado moluscos bivalvos del género *Anadara* y peces Siluriformes del género *Chaetostoma*, con concentraciones de plomo, arsénico, cromo, cadmio, zinc y mercurio más elevadas que los límites máximos permisibles establecidos en normas internacionales (Rebollo et al., 2014; Tobar et al., 2017).

Actualmente también se reporta para Ecuador, que en sitios donde se realizan actividades mineras de explotación de oro, el valor del mercurio existente en los sedimentos de esteros de agua dulce supera los límites permisibles (González et al., 2018). La presencia del mercurio, en especies de peces de agua dulce del género *Andinocara*, ha provocado alteraciones cromosómicas

muy graves, como fracturas, disfunción del huso mitótico y fragmentación de la cromatina (Nirchio et al., 2019).

El consumo de peces depredadores de gran tamaño, contaminados por mercurio, es la causa principal de exposición de los seres humanos al metilmercurio, como agente tóxico que afecta al sistema nervioso, ya que las concentraciones de este tóxico son mayores en estas especies (Gia, 2015). Se ha confirmado la existencia de una bioacumulación y biomagnificación significativa de mercurio en áreas mineras de Ecuador, con niveles de mercurio en la sangre de mujeres de estos sitios equivalente a los encontrados para mujeres que viven en zonas mineras de China, mayores a los encontrados en otros países de Europa; sin embargo, la investigación sobre los posibles efectos negativos en la salud aún es muy incipiente (Marín et al., 2016). En territorios indígenas amazónicos, como Sinangué, la extracción del oro, además de provocar problemas de salud, especialmente para los niños; degrada notablemente los recursos hídricos y perturba a la fauna silvestre acuática (Orellana et al., 2020).

Construcción de represas

Los principales impactos negativos generados por las represas en las poblaciones de peces amazónicos son los siguientes: el bloqueo de la migración natural de los peces río arriba con propósitos reproductivos, como lo ocurrido con *B. rousseauxii* y *B. vaillanti* en el río Madeira (Brasil), especies que por su tamaño no logran encontrar y atravesar los pasajes de peces de las represas. Esto provoca la homogenización genética. Asimismo, en las represas hay menor cantidad de oxígeno disuelto en el agua por lo que solamente las especies adaptadas a menos oxígeno se mantendrán (Val et al., 2016).

En la Amazonía boliviana, las poblaciones del dorado *B. rousseauxii*, al ser una especie que migra grandes distancias, está en proceso de reducción debido a la construcción de las represas de Jirau y Santo Antonio, en el tramo medio del río Madeira (Brasil). Las represas provocan la fragmentación de los tributarios, además limitan el acceso de los peces a las cabeceras, que son sus zonas reproductivas y los peces juveniles quedan atrapados entre las turbinas (Carvajal-Vallejos et al., 2020). Se encontraron diferencias significativas en las capturas y en el CPUE para *B. rousseauxii* entre el antes y luego del cierre de dos represas ubicadas en el río Madeira. La edad de los pocos individuos capturados arriba de las represas sugiere que son una mezcla de individuos adultos que lograron pasar las represas antes de su cierre y residentes nacidos luego del cierre (Van Damme et al., 2019).

Si bien en Ecuador, de momento no existen proyectos de construcción de nuevas represas que se traslapen con las rutas migratorias documentadas de los *Brachyplatystoma*, en el

caso de que nuevos proyectos se planteen, si estas nuevas represas interrumpen las rutas migratorias de los grandes bagres, provocarán graves problemas en sus poblaciones (Jácome-Negrete et al., 2022).

Alternativas de conservación para los bagres gigantes amazónicos

La conservación de los peces migratorios requiere de un amplio portafolio de investigaciones, manejo y acciones de conservación, con un esquema de manejo ecosistémico a escala de toda la cuenca amazónica, incluyendo alianzas entre países y revalorización de la importancia de mantener la conectividad de los ecosistemas de agua dulce (Duponchelle et al., 2021). En este contexto, al menos dos estrategias son prioritarias para garantizar la conservación de las poblaciones de los *Brachyplatystoma* en la Amazonía ecuatoriana.

Regulaciones pesqueras urgentes

Resulta imprescindible y urgente promover la investigación y monitoreo de las poblaciones de todas las especies de *Brachyplatystoma* y de los niveles de pesca actual en todos los tributarios amazónicos. Además, hace falta crear reglamentos oficiales y comunitarios de pesca que suspendan definitivamente el uso de dinamita en la pesca u otros productos nocivos como el barbasco (Jácome, 2005; Jácome-Negrete y Guarderas, 2014) y que sancionen a comerciantes de carne de bagre ahumado, cuando usan especies protegidas. En la Amazonía colombiana ha funcionado exitosamente el establecimiento de periodos de veda, sustentados técnicamente en el estudio de las épocas reproductivas de las especies (Agudelo et al., 2000). Otra regulación pesquera que ha favorecido la conservación de *B. rousseauxii* en el sector fronterizo entre Brasil, Colombia y Perú, ha sido el uso de mallas honderas “doraderas”, adaptadas para la captura de especímenes de mayor tamaño al de la talla de captura establecida, empleadas voluntariamente por los pescadores locales (Gil, 2008).

Creación de zonas de conservación para peces migratorios

A nivel local, las comunidades ribereñas de la Amazonía ecuatoriana proponen iniciar un proceso de zonificación de los principales cauces, identificando zonas de conservación y zonas para la pesca (Jácome-Negrete y Guarderas, 2014). Estas zonas de conservación deberían incluir las áreas de desove identificadas para salvaguardar el desarrollo larval (Agudelo et al., 2000; Jácome, 2005). Desde un punto de vista técnico, es altamente recomendable realizar la protección de las várzeas como ambientes acuáticos que sirven como sitios de guardería para muchas especies migratorias (Val et al., 2016).

Los peces gigantes (peces cuyo peso es igual o mayor a 30 kg) son importantes para los pueblos y los ecosistemas de todo el mundo. En todo el mundo, sus poblaciones están declinando y

se necesita más información para su conservación. Por ejemplo, en Cambodia, el río Mekong, uno de los ríos más grandes del mundo, es considerado como uno de los últimos refugios de peces gigantes (Campbell et al., 2020). El bagre gigante del Mekong (*Pangasianodon gigas* Chevey 1930) es una especie endémica de esta cuenca, siendo uno de los peces más grandes de agua dulce del mundo con más de 3 m de largo y un peso incluso mayor a 300 kg (Mattson et al., 2002). En Tailandia, estos peces fueron reproducidos usando inseminación artificial desde 1983 y posteriormente liberados por el gobierno en lagos protegidos y reservorios del país para aprovechamiento sustentable de los habitantes (Mitamura et al., 2006). El río Mekong y el Amazonas son hotspots de una amplia diversidad de bagres de gran tamaño y mantienen aún poblaciones de bagres gigantes como *P. gigas* y *B. filamentosum*, respectivamente (Hogan, 2011).

Para estos bagres gigantes migratorios, la conservación de sus hábitats es clave. En este contexto, la identificación, demarcación y protección de los sitios de alevinaje para especies como *P. gigas* en el río Mekong ha favorecido su conservación, realizada en alianza con los pescadores locales (Lorenzen y Sukumasavin, 2007). En esta cuenca, desde 1998, al interior de la República Democrática Popular Lao, se han creado cientos de zonas de conservación para los peces, denominadas “santuarios de peces”, con la participación directa de los habitantes locales, que poco a poco se han convertido en áreas clave para la protección de diversas especies de agua dulce de toda esta cuenca, con factibilidad de réplica en otras regiones tropicales de características ecológicas y culturales similares (Baird, 2006).

Estas zonas son una forma de manejo espacial que se establece a lo largo de un río, en donde quedan restringidas parcial o totalmente las actividades pesqueras con el propósito de salvaguardar a las poblaciones remanentes de peces, favoreciendo el aumento de su diversidad, abundancia y tallas (Loury et al., 2019). Entre los criterios principales para delimitar una posible zona de conservación de peces se deben considerar los siguientes: que sean sitios de desove, alimentación o refugio de los peces; que contengan alta riqueza, abundancia de peces o especies raras o amenazadas; que puedan ser sitios de confluencia entre dos ríos, y que su longitud debería ser al menos 10 veces el ancho del cuerpo de agua (Loury, 2020).

Tomando en cuenta estos criterios referenciales, se sugiere la siguiente propuesta preliminar de zonas de conservación para los bagres gigantes del género *Brachyplatystoma* al interior de la Amazonía ecuatoriana (figura 4). Se ha tomado en cuenta de momento, los hallazgos de Hermann et al. (2021): presencia de larvas de Siluriformes entre las cotas de altura de 250 (Coca) a 200 msnm (Pañacocha) y el inicio de playas con sustrato arenoso, de mayor preferencia para estas larvas.

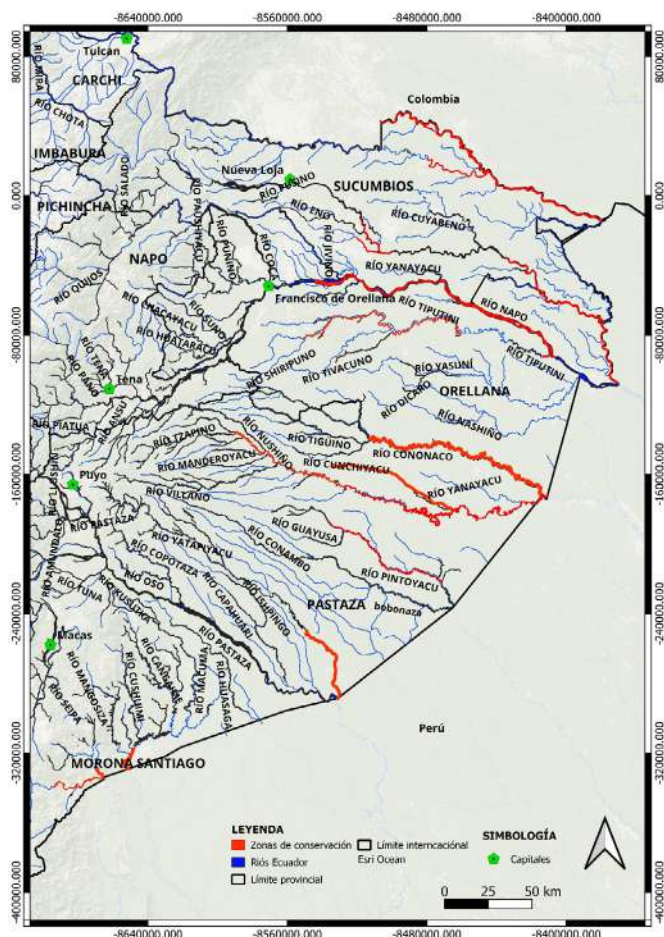


Figura 4: Mapa de propuesta preliminar de zonas de conservación para los bagres gigantes del género *Brachyplatystoma* en la Amazonía ecuatoriana.

Conclusión

Hasta la fecha, en la Amazonía ecuatoriana están registradas seis especies de bagres del género *Brachyplatystoma*: *B. filamentosum*, *B. rousseauxii*, *B. vaillantii*, *B. platynemum*, *B. juruense* y *B. tigrinum*. En este trabajo se presentan descripciones y fotografías para respaldar la identificación de especímenes adultos en campo, y su distribución a escala de cuenca hidrográfica sustentada en la consulta de publicaciones previas y especímenes de museo. No se cuenta con información para las cuencas de los ríos Corrientes y Conambo.

A partir del conocimiento kichwa, se describe la migración para cuatro de las seis especies. Estas especies atraviesan la frontera con Perú y remontan a las cabeceras de los principales

cauces con propósitos reproductivos, luego retornan río abajo. No existen estudios realizados desde otros contextos en el país que documenten los patrones migratorios de estas especies. De manera puntual, para el río Napo existe un único estudio sobre probables sitios de desove de larvas de Siluriformes localizado entre los 250 msnm (Coca) hasta los 200 msnm (Pañacocha), y que coincide con la presencia del lecho de arena para el cauce principal. Únicamente se conocen datos de tallas promedio de captura (cuenca del río Napo) para las especies analizadas; sin embargo, se desconocen datos de tallas a la primera maduración, fecundidad o épocas de desove, como parámetros básicos necesarios para el ordenamiento pesquero. Los *Brachyplatystoma* son principalmente piscívoros, cumpliendo un papel de depredadores tope en los ecosistemas acuáticos.

Actualmente, por el tipo de embarcaciones y aparejos de captura empleados, la pesca de estos bagres gigantes es aún catalogada como artesanal y es más frecuente para las cuencas con más asentamientos humanos ribereños. Sin embargo, la diversidad, abundancia y tallas para estas especies se ha reducido en toda la Amazonía ecuatoriana. Las principales amenazas para estas especies son la sobre-explotación y la contaminación de los cauces de agua. Ante esto, se proponen como alternativas el desarrollo y aplicación de regulaciones pesqueras, y la creación de zonas de conservación de peces, traslapadas con sitios con presencia de larvas, dentro de los cauces principales.

Dada la limitada existencia de investigaciones sobre estas especies para Ecuador, es urgente promover nuevos estudios, especialmente en las cuencas de las cuáles no se cuenta aún con información. Es clave también vincular a los pescadores locales en todos estos procesos para promover medidas de ordenamiento de la pesca que salvaguarden para el futuro las poblaciones de todas las especies.

Agradecimiento

Al Lcdo. Pablo Argüello Argüello, Jefe (e) de Laboratorio de Ictiología de la Colección Ictiológica de la Escuela Politécnica Nacional, Museo de Historia Natural Gustavo Orcés V. de la ciudad de Quito, por la correspondiente autorización para la revisión de los especímenes existentes de *Brachyplatystoma* en dicha colección.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

- Agnolin, F. L. and Bogan, S. (2020). Goliath catfish *Brachyplatystoma* Bleeker, 1862 (Siluriformes:

- Pimelodidae) from the Miocene of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 100, 102551. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102551>
- Agudelo, E., Bonilla-Castillo, C., Gil-Manrique, B., Gómez, G., Acosta-Santos, A., Alonso, J., Ramírez-Gil, H. y Ajiaco-Martínez, R.E. (2012). *Brachyplatystoma rousseauxii*. p. 92-95. En: Mojica, J. I., Usma, J. S., Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (Eds). Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia, 2012. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.
- Agudelo, E., Salinas, Y., Sánchez, C., Muñoz-Sosa, D., Alonso, J., Arteaga, M., Rodríguez, O., Anzola, N., Acosta, L., Núñez, M. y Valdés, H. (2000). *Bagres de la Amazonía Colombiana: un Recurso sin Fronteras*. Editorial Scripto Ltda. Bogotá. 253 p.
- Aguirre, W., Anaguano-Yancha, F., Burgos-Morán, R., Carrillo-Moreno, C., Guarderas, L., Jácome-Negrete, I., Jiménez-Prado, P., Laaz, E., Nugra, F., Revelo, W., Rivadeneira, J., Utreras, V. y Valdiviezo-Rivera, J. (2019). *Lista roja de los peces dulceacuicolas de Ecuador*. Versión 1.2. Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://doi.org/10.60545/hihumu>
- Ajiaco-Martínez, R. E., Ramírez-Gil, H., Agudelo, E., Bonilla-Castillo, C. y Gil-Manrique, B. (2012). *Brachyplatystoma filamentosum*. p. 82-85. En: Mojica, J. I., Usma, J. S., Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (Eds.). Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia, 2012. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.
- Ajiaco-Martínez, R. E., Ramírez-Gil, H., Agudelo, E. y Lasso, C. (2012). *Brachyplatystoma vaillantii*. p. 96-98. En: Mojica, J. I., Usma, J. S., Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (Eds.). Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia, 2012. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.
- Albuja, L. (2011). *Fauna de Guiyero Parque Nacional Yasuni*. Quito: EPN-Ecofondo. 190 p.
- Alcántara, F., Chu, F., Rodríguez, L., Chávez, C., Bernuy, A., Barbarán, T., Tello, S., Murrieta, G., García-Dávila, C. y Nuñez, J. (2009). Notas sobre la biología y pesca del zúngaro tigrinus *Brachyplatystoma tigrinum* (Britski, 1981) en el Río Amazonas, Perú. *Revista Folia Amazónica*, 18(1-2), 15-22. <https://doi.org/10.24841/fa.v18i1-2.335>
- Almeida, O., Lorenzen, K. and McGrath, D. (2004). The commercial fishing sector in the regional economy of the Brazilian Amazon. p. 15-24. In: Welcomme, R. L. and Petr, T. (Eds.). *Proceeding of the Second International Symposium on the Management of large River for Fisheries Volumen 2*. RAP Publication 2004/17. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations & Mekong River Commission.
- Anaguano-Yancha, F., Utreras, V., Cueva, R., Palacios, J. y Prado, W. (2022). La pesca comercial de grandes bagres en dos localidades de la cuenca alta del río Napo, Ecuador. En: Represa, F. (Coord.). *Territorios pesqueros: Resiliencia, saberes locales y cambio en Latinoamérica*. Capítulo 8. p. 283-320. Manta: Cuerpo de Voces Ediciones.
- Araujo-Lima, C. A. R. M. and Ruffino, M. R. (2003). Migratory fishes of the Brazilian Amazon. In: Carolsfeld, J., Harvey, G., Ross, C. and Báez, A. (Eds.). *Migratory fishes of the South America. Biology, fisheries and conservation status*. Chapter 6. p. 234-301. Canadá: IDRC-World Bank.
- Baird, I. G. (2006). Strength in diversity: fish sanctuaries and deep-water pools in Lao PDR. *Fisheries Management and Ecology*, 13, 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2006.00460.x>
- Barriga, R. (1994). Peces del Parque Nacional Yasuni. *Revista Politécnica*, 19(2), 9-41.
- Barriga, R. (2012). Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador. *Revista Politécnica*, 30(3), 83-119.
- Barthem, R. B., Goulding, M., Leit, R. G., Cañas, C., Forsberg, B., Venticinque, E., Petry, P., de B. Ribeiro, M. L., Chuctaya, J. and Mercado, A. (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Report*, 7, 41784. <https://doi.org/10.1038/srep41784>
- Batista, J. S. and Alves-Gomes, J. A. (2006). Phylogeography of *Brachyplatystoma rousseauxii* (Siluriformes – Pimelodidae) in the Amazon Basin offers preliminary evidence for de first case of “homing” for an Amazonian migratory catfish. *Genetics and Molecular Research*, 5(4), 723-740.
- Brito, M. (2022). *Evaluación de la Contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, Morona Santiago*. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 64 p.
- Brito-Junior, I. A. and Tavares-Dias, M. (2021). Diversity of ectoparasites and endoparasites infecting *Brachyplatystoma vaillantii* (Siluriformes: Pimelodidae), a large migratory catfish from the Amazon. *Acta Amazónica*, 51, 122- 128. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201901321>



- Bonetto, A. A. y Castello, H. P. (1985). *Pesca y piscicultura en aguas continentales de América Latina*. Washington D.C: Programa Regional Desarrollo Científico-Tecnológico de la Secretaría General OEA. 117 p.
- Burgess, W. (1989). *An atlas of freshwater and marine catfishes a preliminary survey of the Siluriformes*. Boston: Boston University CECB T.F.N. Publication, Inc. 784 p.
- Carvajal-Vallejos, F. M., Salinas, A. y Van Damme, P. A. (2020). Vulnerabilidad de *Brachyplatystoma rousseauxii* e *Inia geoffrensis boliviensis* a la pérdida de conectividad fluvial en la Cuenca Amazónica Boliviana. *Hidrobiología Neotropical y Conservación Acuática*, 1(1), 105-133.
- Castro D. (1994). *Peces del río Putumayo sector de Puerto Leguizamo*. Mocoa: Servigráficas Ltda. 175 p.
- Campbell, T., Kakada, P., Peng, B. and Hogan, Z. (2020). Conserving mekong megafishes: Current status and critical threats in Cambodia. *Water*, 12,(1820),1-23. <https://doi.org/10.3390/w12061820>
- Díaz-Sarmiento, J. A. and Álvarez-León, R. (2003). Migratory fishes of the Colombian Amazon. In: Carolsfeld, J., Harvey, G., Ross, C. and Báez, A. (Eds.). *Migratory fishes of the South America. Biology, fisheries and conservation status*. Chapter 7, p. 303-344. Canadá: IDRC-World Bank.
- Duponchelle, F., Pouilly, M., Donard, A., Pecheyran, C., Bérail, S., Panfili, J., Darnaude, A., Point, D., Sondag, F., Santos, R., Carvajal-Vallejos, F. M., García-Vásquez, A., García-Dávila, C., Hauser, M., Doria, C. R. C., Darias, M. J., Nuñez, J. and Renno, J. F. (2015). Natal homing del dorado, *Brachyplatystoma rousseauxii* en el río Madera. En: Darias, M. J. y Rejas, D. (Eds.). *4to Coloquio Internacional RIIA-Red de Investigación sobre la Ictiofauna Amazónica: Libro de resúmenes*. p. 28. Cochabamba: Universidad Mayor San Simón, Institut de Recherche pour le Développement.
- Duponchelle, F., Pouilly, M., Pecheyran, C., Hauser, M., Renno, J. F., Panfili, J., Dardaude, A. M., García-Vasquez, A., Carvajal-Vallejos, F., García-Dávila, C., Doria, C., Bérail, S., Donard, A., Sondag, F., Santos, R. V., Núñez, J., Point, D., Labonne, M. and Baras, E. (2016). Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1511- 1520. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12665>
- Duponchelle, F., Isaac, V. J., Rodriguez Da Costa Doria, C., Van Damme, P. A., Herrera-R., G. A., Anderson, E. P., Cruz, R. E. A., Hauser, M., Hermann, T. W., Agudelo, E., Bonilla-Castillo, C., Barthem, R., Freitas, C. E. C., García-Dávila, C., García.Vásquez, A., Renno, J. F. and Castello, L. (2021). Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.*, 31, 1087-1105. <https://doi.org/10.1002/aqc.3550>
- Ferraris, C. (2007). Checklist of catfishes, recent and fossil (Osteichthyes: Siluriformes), and catalogue of siluriform primary types. *Zootaxa*, 1418. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1418.1.1>
- Ferreira, V., Bini, L. M., González, M., Kovalenko, K. E., Naselli-Flores, L., Padial, A. and Padisák, J. (2023). Aquatic ecosystem services: an overview of the special issue. *Hidrobiología*, 850, 2473- 2483. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05235-1>
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. y Van der Laan, R. (2023). Eschmeyer's catalog of fishes: génera, species, references. California Academy of Sciences. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Galvis, G., Mojica, J. I. y Camargo, M. (1997). *Peces del Catatumbo*. Bogotá: D'Vinni Editorial Ltda. 118 p.
- Galvis, G., Mojica, J. I., Duque, S. R., Castellanos, C., Sánchez-Duarte, P., Arce, M., Gutiérrez, A., Jiménez, L. F., Santos, M., Vejarano, S., Arbeláez, F., Prieto, E. y Leiva, M. (2006). *Peces del Medio Amazonas Región de Leticia*. Bogotá: Editorial Panamericana, Formas e Impresos. 546 p.
- García, V. y Calderón, H. (2006). *Peces de Pando, Bolivia Especies de importancia comercial en mercados de la ciudad de Cobija*. Pando: Universidad Amazónica de Pando-CIPA-The Field Museum-Foundation Gordon and Betty Moore. 50 p.
- García-Dávila, C., Sánchez, H., Flores, M., Mejía, J., Angulo, C., Castro-Ruiz, D., Estivals, G., García, A., Vargas, G., Nolorbe, C., Nuñez, J., Mariac, C., Duponchelle, F. y Renno, J.F. (2018). *Peces de consumo de la Amazonia Peruana*. Iquitos: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). 218 p.
- García Vásquez, A., Alonso, J. C., Carvajal, F., Moreau, J., Nuñez, J., Renno, J. F., Tello, S., Montreuil, V. and Duponchelle, F. (2009). Life-history characteristics of the large Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Iquitos region, Peru. *Journal of Fish Biology*, 75, 2557-2551. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02444.x>

- Gia, P. (2015). *Niveles de mercurio en cinco variedades de pescados que más se expenden en el Mercado Municipal de Puerto Bolívar, cantón Machala*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Machala. 75 p.
- Gil, B. (2008). *Aspectos de la biología reproductiva del dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* Castelnau, 1855 (Pisces: Pimelodidae), en el área fronteriza Brasil-Colombia-Perú del río Amazonas como instrumento de manejo y conservación*. Tesis de pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 120 p.
- González, V., Valle, S., Nirchio, M., Olivero, J., Tejeda, L., Valdelamar, J., Pesantes, F. y González, K. (2018). Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 21(41), 75-82.
- Goulding, M. (1980). *The fishes and the forest, explorations in Amazonian natural history*. Berkeley: University of California Press. 280 p.
- Guarderas, L. y Jácome-Negrete, I. (2013). *Curaray causac Yacu conocimiento y gestión territorial de los humedales del Pueblo Kichwa de la cuenca media y baja del río Curaray desde la visión del Sumac Allpa y del Sumac Causai*. Quito: Dimensión Alternativa. 270 p.
- Hahn, L., Silva, P. C., Malabarba, M. C., Malabarba, L. R., Da Câmara, L. F., Nunes, L. D., Machado, L. S., Martins, E. G. and Barthem, R. B. (2019). Genetics and telemetry indicate unexpected movements among structured populations for *Brachyplatystoma platynemum* in the Amazon. *Fish Biology* 95(2), 633-637. <https://doi.org/10.1111/jfb.13978>
- Harvey, B. and Carolsfeld, J. (2003). Introduction: Fishes of the floods. p. 1-18. In: Carolsfeld, J., Harvey, G., Ross, C. and Báez, A. (Eds.). *Migratory fishes of the South America. Biology, fisheries and conservation status*. Chapter 1. p. 1-18. Canadá: IDRC-World Bank.
- Hauser, M., Duponchelle, F., Hermann, T. W., Limburg, K. E., Castello, L., Stewart, D., Torrente-Vilara, G., García-Vásquez, A., García-Dávila, C., Pouilly, M., Pecheyran, C., Ponzevera, E., Renno, J. F., Moret, A. and Doria, C. (2019). Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshwater Biology*, 2019(00), 1-2. <https://doi.org/10.1111/fwb.13427>
- Hauser, M., Doria, C. R. C., Santos, R. V., García-Vasquez, A., Pouilly, M., Pecheyran, C., Ponzevera, E., Torrente-Vilara, G., Bérail, S., Panfili, J., Darnaude, A., Renno, J. F., García-Dávila, C., Nuñez, J., Ferraton, F., Vargas, G. and Duponchelle, F. (2019). Shedding light on the migratory patterns of the Amazonian goliath catfish, *Brachyplatystoma platynemum*, using otolith $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst*. (2019), 1-12. <https://doi.org/10.1002/aqc.3046>
- Hermann, T., Stewart, D., Barriga Salazar, R.E. and Coghlan, Jr. S. M. (2021). Spatial and temporal patterns of Pelagic Catfish Larvae Drifting in Lowland River of Eastern Ecuador (Pisces: Siluriformes). *Ichthyology & Herpetology*, 109(4), 978-990. DOI: <https://doi.org/10.1643/i2020019>
- Hogan, Z. (2011). Ecology and conservation of large-bodied freshwater catfish: A global Perspective. *American Fisheries Society Symposium*, 77, 39-53.
- IUCN (2022). The IUCN Red list of threatened species. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org/es/about/citationinfo>.
- Jácome, I. (2005). *Sumac Yacu Introducción al conocimiento de los ecosistemas acuáticos y la diversidad, ecología, aprovechamiento y conservación de los peces de los territorios quichuas de Yana Yacu, Nina Amarun y Lorocachi, Pastaza*. Quito: Ediciones Abya Yala. 103 p.
- Jácome, I. y Guarderas, L. (2005). *Sumac Jita Introducción al conocimiento de la diversidad, ecología y uso de los principales recursos biológicos de tres ecosistemas de lagunas del territorio quichua de Yana Yacu, Pastaza*. Quito: Ediciones Abya Yala. 110 p.
- Jácome-Negrete, I. y Guarderas, L. (2014). Conocimiento etnoictológico de los bagres pimelódidos del río Curaray, Pastaza (Ecuador). En: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas (Eds.). *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ictiología*. P. 20-23. Esmeraldas. Esmeraldas: PUCESE.
- Jácome-Negrete, I., Tapuy, J. y Tapuy, T. (2022). *Los peces y la pesca local en el territorio de la comunidad Quichua de Victoria, Pastaza, Ecuador*. p 355-405. En: Represa, F. (Coord.). *Territorios Pesqueros resiliencia, saberes locales y cambio en Latinoamérica*. Capítulo 10. P.355-405. Manta: Cuerpo de Voces Ediciones.
- Jácome-Negrete, I., Torres, J. y Guarderas, L. (2022). *Guía de los peces de importancia comercial de la Amazonía Norte y Centro del Ecuador*. Quito: Gráficas Iberia. 87 p.
- Lorenzen, K. and Sukumasavin, N. (2007). A conservation strategy for the Mekong giant catfish. *Catch and Culture*, 13(1), 22-25.
- Loury, E., Ainsley, S. and Ounboundisane, S. (2019). *Guidelines for assessing fish conservation zones in Lao PDR*. Vientiane Capital: FISHBIO Laos. 142 p.
- Loury, E. (2020). *Establishing and managing freshwater fish conservation zones with communities: A guide based on lessons learned from critical ecosystem partnership fund grantees in the Indo-Burma Hotspot*. Arlington: Critical Ecosystem Partnership Fund. Arlington. 145 p.



- Lundberg, J. G. and Akama, A. (2005). *Brachyplatystoma capapetrum*: A new species of Goliath Catfish from the Amazon Basin, with a reclassification of allied catfishes (Siluriformes: Pimelodidae). *Copeia*, 3, 492-516. <https://doi.org/10.1643/CI-04-036R1>
- Marín, A., Gonzalez, V., Lapo, B., Molina, E. y Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Gayana*, 80(2), 147-153.
- Mattson, N. S., Kongphenp, B., Naruepon, S., Nguyen, T. and Ouk, V. (2002). *Cambodia mekong giant fish species: on their management and biology*. MRC Technical Paper No. 3, Phnom Penh: Mekong River Commission. p. 29.
- Miranda-Chumacero, G. y Venticinque, E. (2022). Identificación de potenciales zonas de desove del dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) en la cuenca Madeira. *Neotropical Hydrobiology and Aquatic Conservation*, 3(1), 91-103. <https://doi.org/10.55565/tmti7029>
- Mitamura, H., Arai, N., Nakamura, K., Sukumasavin, N. and Viputhanumas, T. (2006). Local knowledge of the Mekong giant catfish at Sirikit Dan Reservoir, Northern Thailand. p.79-81. In: *Proceedings of the 3rd International Symposium on SEASTAR2000 and Asian Bio-logging Science* (The 7th SEASTAR 2000 workshop).
- Medina-Bueno, F., Simbaña-Tasiguano, M., Aguinaga-Barragán, A. y Salgado-Revelo, A. (2023). Análisis del impacto de la pequeña minería en una comunidad amazónica ecuatoriana, dentro del contexto geológico, ambiental y socioeconómico. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 54, 48-63. <https://doi.org/10.15446/rbct109598>
- Narankas, N., Román, V., Narankas, A. y Jimbicti, A. (2022). Etnoictiología Shuar, pesca y problemáticas actuales desde la perspectiva Naturaleza-Hombre. En: Represa, F. (Coord.). *Territorios Pesqueros resiliencia, saberes locales y cambio en Latinoamérica*. Capítulo 9. p. 321-354. Manta: Cuerpo de Voces Editores.
- Nirchio, M., Choco-Veintimilla, O., Quizhpe-Cordero, P., Hernández, J. and Oliveira, C. (2019). Genotoxic effects of mercury chloride on the Neotropical fish *Andinoacara rivulatus* (Cichlidae: Cichlasomatini). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 745-754.
- Nunes, M.U.S., Hallwass, G. and Silvano, R. A. M. (2019). Fisher's local ecological knowledge indicate migration patterns of tropical freshwater fish in an Amazonian river. *Hydrobiologia*, 833, (197-215). <https://doi.org/10.1007/s10750-019-3901-3>
- Núñez-Avellaneda, M., Agudelo, E. y Gil-Manrique, B. D. (2017). Análisis de Mercurio en agua, sedimento y peces de interés socio-económico en la Amazonía Colombiana. p. 142. Simposio Avances en investigación en piscicultura en especies neotropicales. En: Asociación Colombiana de Ictiólogos (Eds.). *Memorias XIII Congreso Colombiano de Ictiología y IV encuentro de Ictiólogos Suramericanos*. Revista Dahlia 12.
- Orellana, L., Méndez, P. y Mishquero, D. (2020). Conflictos e impactos generados por minería: una amenaza al territorio de la comunidad indígena Cofán de Sinangoe, Sucumbios-Ecuador. *Biodiversity*, 5(1), 1-11.
- Ortega, H., Mojica J. I., Alonso, J. C. e Hidalgo, M. (2006). Listado de los peces de la cuenca del río Putumayo en su sector colombo-peruano. *Biota Colombiana* 7(1), 95-112.
- Palencia, P. (1995). Clave identificatoria para los peces de la cuenca alta de los ríos Uribante y Doradas, Edo. Táchira, Venezuela. *Rev. Ecol. Lat. Am.* 3(1-3), 1-4.
- Pelicice, F. M., Azevedo-Santos, V. M., Vitule, J. R. S., Orsi, M. L., Lima, D. P., Magalhães, A. L., Pompeu, P., Petrere, M. y Agostinho, A. (2017). Neotropical freshwater fishes imperilled by unsustainable policies. *Fish and Fisheries*, 2017, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12228>
- Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Azevedo-Santos, V. M., Bessa, E., Casatti, L., Garrone-Neto, D., Gomes, L. C., Pavanelli, C. S., Petry, A. C., Pompeu, P. S., Reis, R. E., Roque, F. O., Sabino, J., de Sousa, L. M., Silveira, F. and Zuanon, J. (2023). Ecosystem services generated by Neotropical freshwater fishes. *Hydrobiologia*, 850, 2903-2926. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04986-7>
- Petrere, M., Barthem, R. B., Agudelo, E. and Corrales, B. (2004). Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 403-414. <https://doi.org/10.1007/s11160-004-8362-7>
- Ramírez-Gil, H., Ajiaco-Martínez, R.E., Bonilla-Castillo, C., Agudelo, E. y Lasso, C. (2012). *Brachyplatystoma platynemum*. p. 89- 91. En: Mojica, J.I., Usma, J. S., Álvarez-León, R. y Lasso, C.A. (Eds). Libro Rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.

- Rebolledo, E., Foronda, A., Montaña, C., Mosquera, A., Ortiz, M., Grueso, A., Veintimilla, V. y Chichande, A. (2014). *Informe final de observación de calidad de agua en los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo, Esmeraldas*. Esmeraldas: Ministerio del Ambiente - PUCSE. 233 p.
- Rivadeneira J. F., Anderson, E. y Dávila, S. (2010). *Peces de la cuenca del río Pastaza, Ecuador*. Quito: Fundación Natura. 61 p.
- Román B. (1985). *Peces de agua dulce de Venezuela I*. Caracas: Editorial Biosfera. 192 p.
- Salinas, Y. y Agudelo, E. (2000). *Peces de importancia económica en la Cuenca Amazónica Colombiana*. Bogotá: Editorial Scripto Ltda. 140 p.
- Stewart, D., Barriga, R. y Ibarra, M. (1987). Ictiofauna de la cuenca del río Napo, Ecuador Oriental: lista anotada de especies. *Revista Politécnica*, XII(4), 9-63.
- Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., Fermín, I. y Senior, W. (2017). Concentración de metales pesados en bivalvos *Anadara tuberculosa* y *A. similis* del Estero Huaylá, Provincia de El Oro, Ecuador. 2017. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 51(2), 97-116.
- Torrico, H., Maldonado, M. y Carvajal-Vallejos, F. (2020). Inventario y distribución de los bagres de la familia Pimelodidae (Teleostei: Siluriformes) en Bolivia. *Hidrobiología Neotropical y Conservación Acuática*, 1(2), 251-262.
- Van Damme, P. A., Córdova-Clavijo, L., Baigún, C., Hauser, M., da Costa Doria, C. R. and Duponchelle, F. (2019). Upstream dam impacts on gilded catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* (Siluriformes: Pimelodidae) in the Bolivian Amazon. *Neotropical Ichthyology* 17(4), e190118. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20190118>
- Van der Sleen P. and Albert, J. (2018). *Field guide to the fishes of Amazon, Orinoco & Guianas*. Princeton and Oxford: Princeton University Press. 464 p.
- Val, A. L., Fearnside, P. M. and Almeida-Val, V. M. F. (2016). Environmental disturbances and fishes in the Amazon. *Journal of Fish Biology*. <https://doi.org/10.1111/jfb.12896>
- Valdiviezo, J., Carrillo, C., Madera, R. y Albarracín, M. (2012). *Guía de peces de Limoncocha*. Quito: Universidad Internacional SEK. 130 p.
- Vickers, W. (1989). *Los sionas y secoyas Su adaptación al ambiente amazónico*. Quito: Ediciones Abya Yala. 374 p.
- Villamil-Rodríguez, J. F., Cortés-Ávila, L. y Rodríguez-Pulido, J. A. (2018). Generalidades sobre la migración de los bagres amazónicos de la familia Pimelodidae y su relación con los ciclos hidrológicos. *Revista Orinoquia*, 22(2), 224-235. <https://doi.org/10.22579/20112629.530>
- Willink, P. W., Chernoff, B. and McCullough, J. (2005). *A rapid biological assessment of the aquatic ecosystems of the Pastaza River Basin, Ecuador and Perú*. RAP Bulletin of Biological Assessment 33. Washington, D.C: Conservation International. 168 p.

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Iván Vinicio Jácome-Negrete: Conceptualización, Investigación, Análisis Formal, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición. **Cristhian Israel Founes-Pinto:** Análisis Formal, Metodología, Redacción-revisión y edición.





Impacto de insecticidas sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) y su influencia en el rendimiento del brócoli en Guaytacama, Cotopaxi, Ecuador

Impact of insecticides on *Brevicoryne brassicae* (L.) and its influence on broccoli yield in Guaytacama, Cotopaxi, Ecuador

Autores

¹José Gabriel Ugsha Sabando

✉ jose.ugsha4298@utc.edu.ec

^{2*}Dorys T. Chirinos

✉ dorys.chirinos@utm.edu.ec

¹Eliana Granja Guerra

✉ eliana.granja@utc.edu.ec

¹Mario Javier Chuquiana Caiza

✉ mario.chuquiana8747@utc.edu.ec

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Dirección de Posgrado, Maestría en Sanidad Vegetal, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

²Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agronómica, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una hortaliza importante debido a su valor nutricional y para Ecuador constituye un cultivo de exportación. Su ciclo puede verse afectado por plagas como el áfido de la col, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) que al extraer los fotoasimilados, puede dañar la cabeza floral haciendo que pierda su valor comercial. Estas plagas son tratadas con insecticidas órgano-sintéticos pero su aplicación puede generar desequilibrios ecológicos y resistencia de insectos a plaguicidas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de insecticidas sobre poblaciones de *B. brassicae* y sobre el rendimiento del cultivo. En Guaytacama, Cotopaxi se sembró un lote (1600 m²), dividido en cuatro bloques completos al azar, incluyendo 13 tratamientos: azadiractina (dosis: 1000, 1500 y 2000 mL·ha⁻¹), extracto de *Sophora* (dosis: 600, 800 y 1000 mL·ha⁻¹), lambdacialotrina (dosis: 200, 250 y 300 mL·ha⁻¹), azadiractina + capsaicina + alicina (dosis: 2000, 2500 y 3000 mL·ha⁻¹) y un testigo no tratado. Se evaluó el número de áfidos, la eficacia de control y el rendimiento (t·ha⁻¹). Los resultados mostraron menores poblaciones de áfidos (3,5-4,4 individuos), superior eficacia (94,5-98,7%) y mayor rendimiento (18,5-19,7 t·ha⁻¹) en lambdacialotrina (dosis: 300 mL), en azadiractina + capsaicina + alicina (dosis: 3000 mL) y en extracto de *Sophora* (dosis: 1000 mL). La efectividad en el control de *B. brassicae* y los altos rendimientos detectados en los insecticidas botánicos hace su uso promisorio para el manejo sostenible de plagas en este importante cultivo de exportación de Ecuador.

Palabras clave: áfidos; insecticidas botánicos; órgano-sintéticos; eficacia, productividad.

Abstract

Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) is an important vegetable due to its nutritional value and for Ecuador it constitutes an export crop. Its cycle can be affected by pests such as the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) that, by extracting the photoassimilates, can damage the flower head causing loss of its commercial value. These pests are treated with organo-synthetic insecticides but their application can generate ecological imbalances, and insect resistance to pesticides. This research aimed to evaluate the effect of insecticides on *B. brassicae* populations and crop yield. In Guaytacama, Cotopaxi, a plot (1600 m²) was planted, divided into four complete blocks at random, including 13 treatments: azadirachtin (doses: 1000, 1500 and 2000 mL·ha⁻¹), *Sophora* extract (doses: 600, 800 and 1000 mL·ha⁻¹), lambda-cyhalothrin (doses: 200, 250 and 300 mL·ha⁻¹), azadirachtin + capsaicin + allicin (doses: 2000, 2500 and 3000 mL·ha⁻¹) and untreated check. The number of aphids, control effectiveness and yield (t·ha⁻¹) were evaluated. The results showed smaller aphid populations (3.5-4.4 individual), higher efficiency (94.5-98.7%) and higher yield (18.5-19.7 t·ha⁻¹) in lambda-cyhalothrin (dose: 300 mL), in azadirachtin + capsaicin + allicin (dose: 3000 mL) and in *Sophora* extract (dose: 1000 mL). The effectiveness controlling *B. brassicae* and high yields detected in botanical insecticides make their use promising for the sustainable management of pests in this important export crop of Ecuador.

Keywords: aphids; botanical insecticides; organo-synthetics; efficacy; productivity.

Citación sugerida: Ugsha Sabando, J. G., Chirinos, D. T., Granja Guerra, E. y Chuquiana Caiza, M. J. (2024). Efecto de insecticidas sobre el pulgón, *Brevicoryne brassicae* (L.) y sobre el rendimiento del brócoli en Guaytacama, Cotopaxi, Ecuador. *La Técnica*, 14(2), 86-94. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6506>

Recibido: Febrero 29, 2024

Aceptado: Mayo 15, 2024

Publicado: Junio 30, 2024



Introducción

Brassica oleracea L. (Brassicaceae) es una especie de planta diploide de importancia agrícola que incluye algunos cultivos como, brócoli, coliflor, coles de Bruselas, nabo y repollo, entre otros (Golicz et al., 2016). Del brócoli (*B. oleracea* var. *italica* Plenck), se consume la cabeza floral, mientras que tallos y hojas son desechados durante la cosecha (Li et al., 2022; Gomez y Sánchez, 2023). Nagraj et al. (2020) señalaron que el brócoli contiene vitaminas, antioxidantes y compuestos anticancerígenos, por lo que ha sido descrita como una hortaliza de alto valor nutricional. Compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, carotenoides, sulforafano y glucosinolatos, también están presentes en el brócoli (Nagraj et al., 2020; Li et al., 2022).

Por estas razones, este cultivo es muy demandado, y, en consecuencia, el brócoli en conjunto con la coliflor (*B. oleracea* var. *botrytis* L.) ocupan en el mundo aproximadamente una superficie de siembra de 1.378.085 ha de las que se han obtenido 25.843.741,37 t de producto consumible (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2024). En Ecuador en el año 2022 se cosecharon 8.725 ha en las que se produjeron 135.259 t de brócoli (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2024). La provincia de Cotopaxi es la principal productora de este cultivo en las que se cosechan 7.697 ha con una producción de 125.146 t lo que representa el 92,52% de la producción nacional (MAG, 2024). Ecuador destina el 80% de la producción de brócoli a la exportación y el 20% restante es para el consumo nacional (Pazmiño et al., 2015). Para el país, las exportaciones de brócoli recientemente han representado ingresos de 171 millones de dólares cuyos principales destinos los constituyen Japón (43%), Estados Unidos (32%) y Alemania (9%) (MAG, 2023).

La productividad de este cultivo puede verse limitada por varios factores bióticos, como, los artrópodos plagas (Panwar et al., 2023). Entre las plagas destacan especies en varios órdenes, orugas y polillas (Lepidoptera), ácaros (Acari) y áfidos (Hemiptera) (Karso et al., 2022). En este último orden, el áfido harinoso de la col, *Brevicoryne brassicae* (L.) y el áfido verde del melocotón, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) causan daños al extraer los fotoasimilados de las brasicáceas (Costello and Altieri, 1995; Karso et al., 2022; Panwar et al., 2023). Mientras *B. brassicae* prefiere atacar plantas dentro del género *Brassica*, *M. persicae* es más generalista el cual se alimenta sobre unas 400 especies de plantas (Panwar et al., 2023).

Aunque ambas plagas pueden formar sus colonias sobre varios órganos (tallos, hojas, cabeza floral) de la planta, *B. brassicae* prefiere alimentarse de tejidos jóvenes, lo que la convierte en un fitófago de importancia en el brócoli dado que al dañar capullos

florales hace que la cabeza floral pierda su valor comercial (Costello and Altieri, 1995; Ambrosino et al., 2007). En Ecuador, sobre el género *Brassica* está reportado *B. brassicae* (Cerdeira et al., 2019).

Debido a la importancia de los daños, las plagas de brasicas son tratadas con insecticidas químicos, como piretroides, neonicotinoides, avermectinas los cuales son efectivos para el control de las mismas (Mahmood Ahmed et al., 2018; Mpumi et al., 2020; Falcon-Alvarado et al., 2023). Específicamente, el piretroide lambdacialotrina es recomendado para el control de áfidos y otras plagas en brasicáceas, por su amplio espectro de acción (Gill et al., 2013; Mpumi et al., 2020; Panwar et al., 2023). Sin embargo, su uso conlleva efectos colaterales como la reducción de la biodiversidad, en los ecosistemas, contaminación ambiental y generación de mecanismos de resistencia de insectos a estos productos organo-sintéticos (Mpumi et al., 2020; Falcon-Alvarado et al., 2023; Panwar et al., 2023).

El brócoli para Ecuador constituye un producto tanto para el mercado nacional como para la exportación (MAG, 2023). Por esta razón, es necesario ejercer métodos de control de plagas que garanticen la producción de la cabeza floral con la menor cantidad posible de insecticidas organo-sintéticos (Murillo y Giraldo, 2023). El uso de insecticidas a base de azadiractina, alcaloides de *Capsicum*, y de *Sophora* (Fabaceae) entre otros de origen botánico podrían resultar promisorios para el manejo de áfidos en brasicáceas como el brócoli (Mpumi et al., 2020; Panwar et al., 2023). Ngosong et al. (2021) mencionaron que el árbol de neem, *Azadirachta indica* A. Juss (Meliaceae) contiene azadiractina, un triterpenoide que ha demostrado actividad reguladora del crecimiento y efectos antialimentarios contra un gran número de plagas.

Por su parte, extractos de ajíes y pimientos también han sido utilizados como insecticidas botánicos que han mostrado efectividad contra plagas debido a la presencia de capsaicinoides, metabolitos secundarios que son producidos únicamente en el género *Capsicum* (Claros et al., 2019). Es de resaltar que la efectividad de extractos de ají y ajo para el control de plagas en brasicáceas ha sido poco estudiada. Por otro lado, especies de plantas del género *Sophora* han sido utilizadas como afidicidas, debido a que poseen varios compuestos alcaloides que muestran toxicidad contra especies de áfidos (Ma et al., 2018). También el ajo, *Allium sativum* L. posee una serie de metabolitos secundarios como la alicina con propiedades insecticidas (Meriga et al., 2012; Kumar, 2017).

Estos insecticidas deben ser probados para el control de plagas como áfidos, incluyendo su comparación con insecticidas químicos como lambdacialotrina, recomendado como efectivos

para estas plagas, a los fines de estimar su eficacia. Esto también debe ser complementado con evaluaciones del efecto de las plagas sobre el rendimiento del brócoli. Basado en lo expuesto este trabajo tuvo como fin evaluar el efecto de tres insecticidas de origen botánico y uno químico en varias dosis sobre poblaciones de *B. brassicae*, así como sobre el rendimiento del brócoli, en la zona de Guaytacama, en Cotopaxi, la más importante provincia productora de brócoli en Ecuador.

Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo durante el período abril -junio de 2023, en la localidad de Guaytacama (coordenadas: 0°48'50,82" S; -78°38'12,33" O) ubicada a 2906 msnm de altitud, perteneciente al cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi (figura 1).

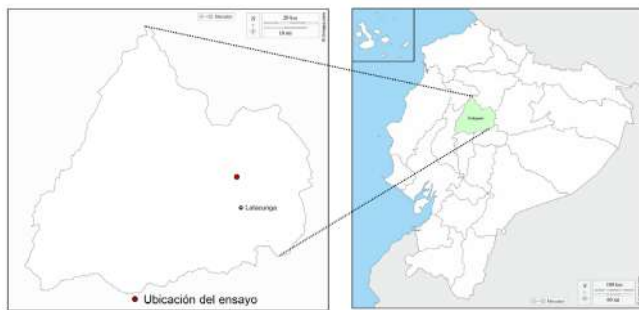


Figura 1. Mapa de Ecuador y de la provincia de Cotopaxi mostrando la zona de estudio. Mapa realizado a partir de los mapas disponibles en el software gratuito <https://d-maps.com/>

La zona de vida donde se realizó el estudio corresponde a un bosque húmedo montano (Holdridge, 1967). Durante el período de evaluación, las variables climáticas fueron obtenidas de una estación meteorológica existente en la zona, registrándose la precipitación y las temperaturas mínimas y máximas (tabla 1).

Tabla 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas registradas en la zona de estudio. Abril-junio de 2023.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Abril	61,5	16,85	8,12
Mayo	35,0	17,96	8,95
Junio	81,5	16,63	8,49

El ensayo se condujo en un lote experimental de aproximadamente 1600 m² (22 x 72 m) en el cual se trasplantaron plantas de brócoli híbrido Steel® que presenta un ciclo de vida de 95 días. El lote fue dividido en cuatro bloques completos al azar en la que se incluyeron 12 tratamientos con insecticidas más una parcela sin aspersiones que constituía la parcela testigo (testigo absoluto).

Cada parcela por tratamiento por bloque medía 30 m² (5 x 6 m). Los surcos fueron sembrados a doble hilera con una separación de 1,00 m entre surcos y las plantas estaban sembradas a una distancia de 0,20 m. Sobre un total de 52 parcelas experimentales

resultantes de los 13 tratamientos, en los cuatro bloques se realizaron las evaluaciones. Se incluyeron tres insecticidas botánicos y un insecticida químico cada uno evaluado a tres dosis (bajas, medias y altas) basadas en la recomendación de sus fichas técnicas. En cada bloque hubo un testigo absoluto por repetición. Así, se evaluaron los 13 tratamientos que se listan en la tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos con insecticidas evaluados.

No	Producto comercial	Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis·ha ⁻¹
1	Nimbo®	Azadiractina	17%	1000 mL
2				1500 mL
3				2000 L
4	Forte®	Extracto de <i>So-phora</i>	1,5%	600 mL
5				800 mL
6				1000 mL
7	Ninja®	Lambdacialotrina	50 g·L ⁻¹	200 mL
8				250 mL
9				300 mL
10	Butanika®	Azadiractina + capsaicina + alicina	6% + 5,5 % + 15%	2000 mL
11				2500 mL
12				3000 mL
13		Testigo (no tratado)		

Al lote se le practicaron todas las labores agronómicas necesarias para un óptimo desarrollo del cultivo. La primera fertilización se realizó en la segunda semana después del trasplante en la que se aplicaron 30 kg de N, 72 kg de P, 35 kg de K₂SO₄ y 200 kg de CaSO₄ por ha. La segunda fertilización se ejecutó en la semana cinco pos-trasplante en la que se emplearon 150 kg de N, 180 kg de K, 50 kg de Ca y 20 kg de Mg por ha. La tercera fertilización se practicó en la semana ocho usando 120, 170, 50 y 30 kg·ha⁻¹ de N, K, Ca y Mg. Una última fertilización fue efectuada en la semana 10 del ciclo del cultivo, suministrando 100 kg de N y 80 kg de K por ha. El control de malezas fue realizado de manera manual en las semanas 3, 5, 8 y 10 del ciclo del cultivo.

Para el control de enfermedades fue utilizado cobre al 5,34% para combatir hongos en la cabeza floral a dosis de 1,5 L·ha⁻¹ en las semanas 8, 9 y 10 del ciclo. El riego se realizó por aspersión, cada tres días por una hora.

Los tratamientos fueron asperjados semanalmente iniciando dos semanas después del trasplante. Para evaluar el efecto de los tratamientos se seleccionaron 15 plantas al azar de las hileras centrales de las parcelas experimentales en las que se contó el número de áfidos. El primer conteo se realizó previo a la primera aspersión con los plaguicidas. Durante las evaluaciones, se observaron las hojas existentes en las primeras dos semanas y posteriormente se observaron hojas del estrato superior, medio y bajo. En las semanas 7 y 8 además de las hojas, se contaron los áfidos presentes en las inflorescencias. Con esto se obtuvo

el número de áfidos por planta realizándose un total de ocho conteos (un conteo semanal).

Basados en la fórmula planteada por Henderson y Tilton (1955) para poblaciones iniciales diferentes, se determinó, la eficacia de los insecticidas (en porcentaje, %):

$$\% \text{Eficacia} = [1 - (Nca \times Ntd) / (Ncd \times Nta)] \times 100$$

N = el número de individuos.

t = parcelas tratadas.

c = parcelas no tratadas (testigos).

d = después del tratamiento.

a = antes del tratamiento.

La cosecha del brócoli se realizó en la semana 12 del ciclo. De las hileras centrales de cada parcela experimental se seleccionaron cinco plantas al azar y se pesó con una balanza la cabeza floral. Con el peso promedio de la cabeza floral por tratamiento por bloque y basado en una densidad de 64.000 plantas·ha⁻¹ se estimó el rendimiento en t·ha⁻¹ para cada tratamiento.

Análisis de datos. La normalidad de las variables, número de individuos y rendimiento fueron analizadas con la prueba de Shapiro-Wilks (P<0,05). El rendimiento resultó normal, pero, el número de áfidos no y en consecuencia se aplicaron algunas transformaciones (raíz cuadrada, arcoseno). Posterior a las transformaciones no se consiguió la normalidad del número de áfidos y, por ende, esta variable fue analizada mediante la prueba no paramétrica de Friedman (P<0,05). La eficacia del control de áfidos fue analizada entre tratamientos usando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (P<0,05). El rendimiento estimado en t·ha⁻¹ fue analizado mediante un ANOVA incluyendo bloques y tratamientos como factores de variación. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey (P<0,05). Se realizó un análisis de regresión exponencial entre el número áfidos por planta (eje X) y el rendimiento estimado en t·ha⁻¹ (eje Y) (P<0,05). Los análisis fueron realizados con el programa Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Resultados y discusión

Densidades poblacionales de *B. brassicae* por tratamiento. En la figura 2 se observa que, en el conteo inicial, previo a la aspersión de los plaguicidas y en la segunda evaluación, las poblaciones fueron similares entre tratamientos. Las poblaciones comenzaron a diferir desde la tercera semana de evaluación, a partir de la cual el número de áfidos en la parcela no tratada incrementó conspicuamente comparado con las parcelas tratadas mostrando el mayor número de individuos (26,5 áfidos·planta⁻¹). En cuanto

a las parcelas tratadas, el número de áfidos varió dependiendo del tratamiento, lo que resultó en diferencias significativas según lo detectado por la prueba de Friedman (P<0,05).

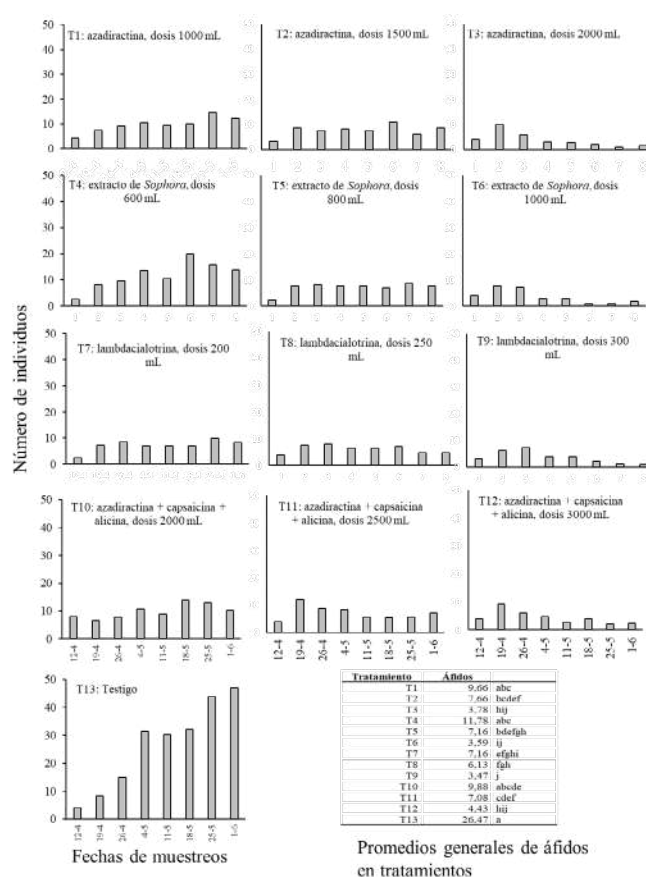


Figura 2. Número de individuos de *B. brassicae* por planta de brócoli por tratamiento en los diferentes muestreos. La tabla final indica los promedios generales de áfidos por tratamiento.

Medias con igual letra no difieren significativamente. Comparaciones de medias realizadas con la prueba de Friedman (P-valor: 0,0001).

Las poblaciones de *B. brassicae* fueron menores en las parcelas asperjadas con lambdacioltina a dosis de 300 mL, sin diferencias con las alcanzadas en las asperjadas con extracto de *Sophora* a dosis de 1000 mL, así como, con azadiractina + capsaicina + alicina aplicada a dosis de 2500 mL y de 3000 mL. Los tratamientos con azadiractina a dosis de 1000 mL, extracto de *Sophora* a 600 mL y azadiractina + capsaicina + alicina a 2000 mL no lograron reducir las poblaciones de *B. brassicae*,

siendo significativamente superiores en esos tratamientos según lo detectado por la prueba de Friedman (figura 2).

Eficacia de los tratamientos. La tabla 3 muestra eficacias de control de *B. brassicae* significativamente superiores en el tratamiento que incluyó la mezcla de azadiractina + capsaicina + alicina a dosis de 3000 L y el tratamiento con lambdacialotrina a dosis de 300 mL. Estas altas eficacias no difirieron de las alcanzadas por los tratamientos, extracto de *Sophora* a dosis de 1000 mL, azadiractina + capsaicina + alicina 2500 L, lambdacialotrina a dosis de 250 mL y azadiractina a dosis de 2000 mL ($P < 0,05$).

Tabla 3. Eficacia de los tratamientos evaluados en el control de *B. brassicae* en el cultivo de brócoli. Eficacia calculada mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1955).

No	Tratamiento	Eficacia
1	Azadiractina, dosis 1000 mL	72,6 c
2	Azadiractina, dosis 1500 mL	70,1 c
3	Azadiractina, dosis 2000 mL	93,1 ab
4	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 600 mL	71,0 c
5	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 800 mL	82,4 bc
6	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 1000 mL	94,5 ab
7	Lambdacialotrina, dosis 200 mL	70,3 c
8	Lambdacialotrina, dosis 250 mL	89,2 abc
9	Lambdacialotrina, dosis 300 mL	96,7 a
10	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 2000 mL	80,4 bc
11	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 2500 mL	88,4 abc
12	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 3000 mL	98,7 a

Comparaciones de medias realizadas con la prueba de Kruskal-Wallis ($H = 30,95$, p -valor: 0,0011). Medias con igual letra no difirieron significativamente.

Eficacias significativamente inferiores fueron observadas en los tratamientos con azadiractina a dosis de 1000 y de 1500 mL, con extracto de *Sophora* a dosis de 600 mL, con lambdacialotrina a dosis de 200 mL y con la mezcla de azadiractina + capsaicina + alicina a dosis de 2000 mL.

Rendimiento y densidades poblacionales de *B. brassicae* para los rendimientos estimados ($t \cdot ha^{-1}$), el análisis de la varianza detectó diferencias entre tratamientos, pero no entre los bloques (tabla 4).

Tabla 4. Análisis de la varianza para el rendimiento estimado ($t \cdot ha^{-1}$). $R^2 = 0,92$; $CV = 2,83\%$.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94,61	15	6,31	26,22	<0,0001
Tratamiento	93,68	12	7,81	32,45	<0,0001
Repetición	0,93	3	0,31	1,29	0,2918
Error	8,66	36	0,24		

Los rendimientos fueron superiores en las parcelas tratadas con el insecticida químico (lambdacialotrina) a dosis de 300 $mL \cdot ha^{-1}$, así como en las parcelas que fueron asperjadas con los insecticidas botánicos a base de la mezcla de azadiractina + capsaicina + alicina a dosis de 3000 L y a base de extracto de *Sophora*

a dosis de 1000 mL (tabla 5). Por otro lado, los rendimientos fueron significativamente inferiores en las parcelas tratadas con azadiractina a dosis de 1000 mL y con lambdacialotrina a dosis de 200 mL sin diferencias con la parcela no tratada (testigo).

Tabla 5. Rendimiento estimado en $t \cdot ha^{-1}$ de brócoli en los diferentes tratamientos evaluados.

No.	Tratamiento	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)
1	Azadiractina, dosis 1000 mL	16,1 fg
2	Azadiractina, dosis 1500 mL	16,8 ef
3	Azadiractina, dosis 2000 mL	18,2 bcd
4	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 600 mL	17,2 def
5	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 800 mL	17,6 cde
6	Extracto de <i>Sophora</i> , dosis 1000 mL	18,5 abc
7	Lambdacialotrina, dosis 200 mL	15,2 g
8	Lambdacialotrina, dosis 250 mL	17,9 bcde
9	Lambdacialotrina, dosis 300 mL	19,7 a
10	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 2000 mL	16,9 ef
11	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 2500 mL	17,5 cde
12	Azadiractina + capsaicina + alicina, dosis 3000 mL	18,9 ab
13	Testigo (no tratado)	14,8 g

Comparaciones de medias realizadas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Medias con igual letra no difirieron significativamente.

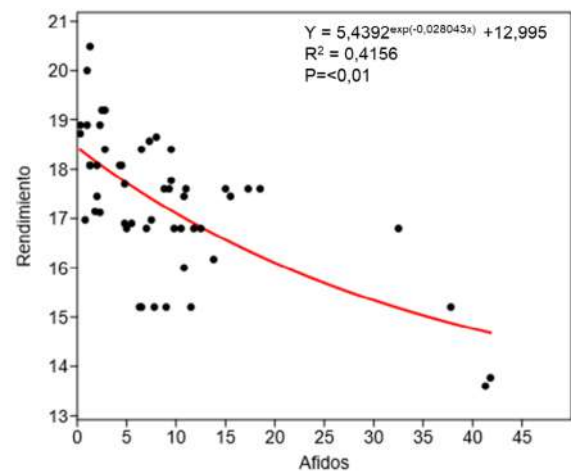


Figura 3. Ecuación exponencial entre el número de individuos de *B. brassicae* por planta (eje X) y el rendimiento del brócoli (eje Y).

La disminución de los rendimientos en brócoli podría estar influenciada al menos en parte por las densidades poblacionales de *B. brassicae*. La ecuación de regresión exponencial calculada (figura 3) indicó que a medida que se incrementaron las densidades poblacionales de *B. brassicae*, el rendimiento disminuyó, donde la variación del rendimiento en función de las densidades poblacionales fue explicada en aproximadamente 41%.

Basado en las evaluaciones de las densidades poblacionales de *B. brassicae*, la eficacia en el control y el rendimiento

estimado, tres tratamientos con insecticidas, el organo-sintético, lambdacialotrina aplicado a dosis de 300 mL·ha⁻¹, y dos de origen botánico, es decir, la mezcla de azadiractina + capsaicina + alicina asperjado a 3000 mL y el extracto de *Sophora* a dosis de 1000 mL mostraron la mayor efectividad para el control de *B. brassicae* en brócoli y el menor efecto sobre el rendimiento.

La efectividad de estos insecticidas para el control de áfidos ha sido probada en brócoli y otras brasicáceas con resultados similares y contrastantes a los obtenidos en esta investigación.

Falcon-Alvarado et al. (2023) aplicaron varios tratamientos con extractos botánicos para el control de áfidos en repollo, *B. oleracea* var *capitata* L. entre los cuales evaluaron extractos de hojas de neem (dosis: 20%) observando promedios generales de siete áfidos por planta, y una eficacia de control del 61,5% a los 45 días de evaluación. Esto fue similar a lo obtenido en este estudio con las dosis baja y media de azadiractina e inferior a lo observado con la dosis alta evaluada para el mismo extracto. Un extracto de semillas de *A. indica* fue preparado al 5% y aplicado para el control de plagas del repollo (*B. oleracea* var *capitata*) en un ensayo de campo conducido en los años 2016 y 2017 en Ketu-Sur, municipio de la Región del Volta, Ghana (Ngosong et al., 2021). Los resultados mostraron la efectividad del extracto, con promedios post aplicación inferiores a un individuo de *B. brassicae* por hoja (Ngosong et al., 2021). Esas densidades poblacionales si se prorratan a individuos por planta, fueron similares a las observadas en este estudio cuando azadiractina fue aplicada a la dosis más alta.

Para lambdacialotrina, algunos experimentos mostraron efectividades altas y medias de este insecticida piretroide. Coincidiendo con lo encontrado en este estudio, tratamientos que incluyeron lambdacialotrina e imidacloprid mostraron la mayor eficacia en el control de plagas lepidópteras y homópteras de *B. oleracea* en experimentos de campos conducidos en los años 2014 y 2015 en la Universidad de Faisalabad, Pakistan (Saeed et al., 2017; Mahmood et al., 2018). Ali y Zedan (2015) ejecutaron un experimento de campo en la región El-Minia, Egipto para evaluar el efecto de varios insecticidas en el control de *B. brassicae* en repollo. Lambdacialotrina evaluada a dosis de 170 mL·ha⁻¹ mostró una eficacia promedio de 64,3% en el control de esta especie de áfido. Esa eficacia es similar a la obtenida en esta investigación cuando lambdacialotrina fue aplicada a dosis de 200 mL·ha⁻¹.

Varias plagas de brasicáceas han desarrollado resistencia a las aspersiones de estos insecticidas organo-sintéticos (Joseph et al., 2017; Mpumi et al., 2020; Panwar et al., 2023). Estos insecticidas también han mostrado efectos adversos sobre

los enemigos naturales de las plagas de brasicáceas (Anjum y Wright, 2023; Panwar et al., 2023). En consecuencia, el impacto de lambdacialotrina y otros piretroides debe ser considerado al diseñar programas de manejo de plagas (Mpumi et al., 2020).

En el caso de extractos de *Capsicum*, ensayos de laboratorio han mostrado 100% de efectividad de alcaloides de *C. frutescens* L. en el control del áfido, *B. brassicae* (Habimana y Hakizayezu, 2014). Capsaicinoides extraídos de *C. annuum* L. fueron probados en experimentos de campo en Yunnan, China para el control de varias plagas. Estos experimentos mostraron una eficacia de control de 77,80 y 89,74% sobre *B. brassicae* y *M. persicae*, respectivamente, cuando estos alcaloides fueron aplicados a una concentración de 3000 mL (Li et al., 2019). Contrastando con lo obtenido en este ensayo, aplicaciones de extractos de ajo (60 g·L⁻¹) y ají (50 g·L⁻¹) redujeron las poblaciones de *B. brassicae* en 42,05 y 26,36%, respectivamente (Baidoo y Mochiah, 2016).

Extractos de especies de *Sophora* han sido también probados para el control de áfidos. Ma et al. (2018) refirieron que alcaloides de *S. alopecuroides* L. mostraron una alta actividad insecticida contra los áfidos pertenecientes a los géneros *Myzus*, *Aphis*, *Macrosiphum* y *Brevicoryne* con rangos de eficacias entre 40 a 70%.

Un experimento de campo indicó una eficacia de 85,91% en el control del áfido de la rosa, *Macrosiphum rosirvorum* L. cuando extractos de *S. alopecuroides* (15,7%) se asperjaron junto con *Nicotiana tabacum* L. (1,1%) (Xin et al., 2014).

En este estudio se detectó la disminución del rendimiento asociados al incremento de poblaciones de *B. brassicae*. Coincidiendo con estos resultados, Falcon-Alvarado et al. (2023) señalaron que los rendimientos fueron menores en parcelas de repollo que no fueron tratadas con insecticidas en las que se desarrollaron las mayores poblaciones de áfidos. En especies de brasicas de semillas oleaginosas, investigaciones de campo encontraron disminuciones de rendimiento que variaron entre 18,3 y 24,5% debido a altas densidades de áfidos y orugas de lepidópteros (Kumar, 2017).

En este ensayo, las densidades de *B. brassicae* disminuyeron el rendimiento del brócoli con una determinación de 40% según la ecuación calculada. Factores abióticos, plagas y enfermedades también tuvieron efectos sobre el rendimiento, lo que podría explicar la variación restante. Además de *B. brassicae*, en Ecuador otras plagas que causaron pérdidas en brócoli son *Leptophobia aripa* (Boisduval) (Lepidoptera: Pieridae) y *Plutella* sp. (Lepidoptera: Plutellidae) (Pazmiño et al., 2015; Gomez y Sánchez, 2023). Dada la importancia del brócoli para la economía ecuatoriana investigaciones sobre evaluación

de alternativas de las plagas de menor impacto representan un significativo aporte para el manejo sostenible de plagas.

Conclusión

Las bajas densidades de *B. brassicae*, altas eficacias en el control, así como superiores rendimientos en los tratamientos botánicos, azadiractina + capsaicina + alicina asperjado a 3000 mL y extracto de *Sophora* a dosis de 1000 mL hacen que sus usos puedan resultar promisorios dentro de programas de manejo sostenible de plagas. Esto es especialmente importante en países que dedican parte de la producción a la exportación como es el caso de Ecuador.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

- Ali, R. A. E. and Zedan, O. A. A. (2015). Selectivity of certain insecticides for controlling the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) and their effect on some predatory insects on cauliflower fields in El-Minia Region-Upper Egypt. *J. Plant Prot. Res. Pathol.*, 6(10), 1427-1437. <https://doi.org/10.21608/jppp.2015.75342>
- Ambrosino, M. D., Jepson, P. C. and Luna, J. M. (2007). Hoverfly oviposition response to aphids in broccoli fields. *Entomol. Exp. Appl.*, 122(2), 99-107. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00499.x>
- Anjum, F. and Wright, D. J. (2023). Foliar residual toxicity of insecticides to *Brassica* pests and their natural enemies. *J. Econ. Entomol.*, 116(1), 153-159. <https://doi.org/10.1093/jee/toac188>
- Baidoo, P. K. and Mochiah, M. B. (2016). Comparing the effectiveness of garlic (*Allium sativum* L.) and hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) in the management of the major pests of cabbage *Brassica oleracea* (L.). *Sustain. Agric. Res.*, 5(2), 83-91. <https://doi.org/10.5539/sar.v5n2p83>
- Cerda, H., Carpio, C., Ledezma-Carrizalez, A. C., Sánchez, J., Ramos, L., Muñoz-Shugulí, C., Andino, M. and Chiurato, M. (2019). Effects of aqueous extracts from amazon plants on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) in laboratory, semifield, and field trials. *J. Insect Sci.*, 19(5), 1-9. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez068>
- Claros Cuadrado, J. L., Pinillos, E. O., Tito, R., Mirones, C. S. and Gamarra Mendoza, N. N. (2019). Insecticidal properties of capsaicinoids and glucosinolates extracted from *Capsicum chinense* and *Tropaeolum tuberosum*. *Insects*, 10(132), 10.3390/insects10050132. <https://doi.org/10.3390/insects10050132>
- Costello, M. J. and Altieri, M. A. (1995). Abundance, growth rate and parasitism of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) on broccoli grown in living mulches. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52(2-3), 187-196. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00535-M](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00535-M)
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA*. <http://www.infostat.com.ar>
- Falcon-Alvarado, J., Valverde-Rodriguez, A., Álvarez-Benaute, L., Briceño-Yen, H. y Campos-Albornoz, M. E. (2023). Extractos vegetales en el control del pulgón (*Brevicoryne brassicae* L.) en el cultivo de la col (*Brassica oleracea* var. *Capitata*), en Perú. *Manglar*, 20(4), 317-323. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.036>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *Food and agriculture data*. Datos Sobre Alimentación y Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Gill, H. K., Garg, H. and Gillett-Kaufman, J. L. (2013). Cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* Linnaeus (Insecta: Hemiptera: Aphididae). In: *IFAS Extension, University of Florida*, 10, 1-5. <https://doi.org/10.32473/edis-in1014-2013>
- Golicz, A. A., Bayer, P. E., Barker, G. C., Edger, P. P., Kim, H. R., Martinez, P. A., Chan, C. K. K., Severn-Ellis, A., McCombie, W. R., Parkin, I. A. P., Paterson, A. H., Pires, J. C., Sharpe, A. G., Tang, H., Teakle, G. R., Town, C. D., Batley, J. and Edwards, D. (2016). The pangenome of an agronomically important crop plant *Brassica oleracea*. *Nature Commun.*, 7, 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms13390>
- Gomez, J. J. M. and Sánchez, C. E. G. (2023). Oviposition preference of *Leptophobia aripa* (Lepidoptera: Pieridae) on plants of *Brassica oleracea* var. *italica* at different phenological stages. *Bionatura*, 8(3). <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.25>
- Habimana, S. and Hakizayezu, M. (2014). Biocide effect of alkaloids, saponins and flavonoids extracted from chilli against *Brevicoryne brassicae*, cabbage aphids. *Sky J. Agric. Res.*, 3(11), 234-239. <http://www.skyjournals.org/SJAR>
- Henderson, C. F. and Tilton, E. W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *J. Econ. Entomol.*, 48(2), 157-161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
- Holdridge, L. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center. https://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf



- Joseph, S. V., Martin, T., Steinmann, K. and Kosina, P. (2017). Outlook of pyrethroid insecticides for pest management in the Salinas Valley of California. *J. Integr. Pest Manag.*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx001>
- Karso, B. A., Yousif, R., Mustafa, H. and Mohammad, D. (2022). Inventorying the most common broccoli pest insect and assessing the effectiveness of sticky traps in reducing damage. *NTU J. Agric. Vet. Sci.*, 2(1), 5-8.
- Kumar Chaubey, M. (2017). Study of insecticidal properties of garlic, *Allium sativum* (Alliaceae) and bel, *Aegle marmelos* (Rutaceae) essential oils against *Sitophilus zeamais* L. (Coleoptera: Curculionidae). *J. Entomol.*, 14(5), 191-198. <https://doi.org/10.3923/je.2017.191.198>
- Kumar, S. (2017). Assessment of avoidable yield losses in crop brassicas by insect-pests. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 5(3), 1814-1818.
- Li, B., Yang, M., Shi, R. and Ye, M. (2019). Insecticidal activity of natural capsaicinoids against several agricultural insects. *Nat. Prod. Commun.*, 14(7), 1-7. <https://doi.org/10.1177/1934578X19862695>
- Li, H., Xia, Y., Liu, H. Y., Guo, H., He, X. Q., Liu, Y., Wu, D. T., Mai, Y. H., Li, H. Bin, Zou, L. and Gan, R. Y. (2022). Nutritional values, beneficial effects, and food applications of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck). *Trends Food Sci. Technol.*, 119, 288-308. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.015>
- Ma, T., Yan, H., Shi, X., Liu, B., Ma, Z. and Zhang, X. (2018). Comprehensive evaluation of effective constituents in total alkaloids from *Sophora alopecuroides* L. and their joint action against aphids by laboratory toxicity and field efficacy. *Ind. Crops Prod.*, 111, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.021>
- Mahmood Ahmed, S., Saeed, M., Nawaz, A., Usman, M., Fartab Shoukat, R., Li, S., Zhang, Y., Zeng, L., Zafar, J., Akash, A., Farjad Shoukat, R., Jaleel, W., Zafar, J., Akash, A. and Fartash Shoukat, R. (2018). Monitoring of quantitative and qualitative losses by lepidopteran and homopteran pests in different crop production systems of *Brassica oleracea* L. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 6(3), 6-12.
- Meriga, B., Mopuri, R. and MuraliKrishna, T. (2012). Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 5(5), 391-395. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(12\)60065-0](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(12)60065-0)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2023). Estado del cultivo del brócoli en Ecuador. In: *Boletín situacional cultivo de brócoli* (Vol. 2). <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/situacionales-agricolas/situacional-brocoli>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2024). *Agroproductive data*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Mpumi, N., Machunda, R. S., Mtei, K. M. and Ndakidemi, P. A. (2020). Selected insect pests of economic importance to *Brassica oleracea*, their control strategies and the potential threat to environmental pollution in Africa. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093824>
- Nagraj, G. S., Chouksey, A., Jaiswal, S. and Jaiswal, A. K. (2020). Broccoli. p. 5-17. In: Jaiswal, A. K. (Ed.) *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, First edition. Elsevier, Campus, Dublin. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00001-5>
- Ngosong, N. T., Boamah, E. D., Fening, K. O., Kotey, D. A. and Afreh-Nuamah, K. (2021). The efficacy of two bio-rational pesticides on insect pests complex of two varieties of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) in the coastal savanna region of Ghana. *Phytoparasitica*, 49(3), 397-406. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00859-8>
- Panwar, N., Thirumurugan, S. and Kumar, S. (2023). Host plant resistance in Brassicaceae against aphids. p. 1-27. In: Kumar S. (Ed.), *Brassica - Recent Advances*. IntechOpen. Princes Gate Court, London. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Pazmiño, O., Flores, M., Vallejo, M. J., Iturra, F., Ramón, P. y Medina, L. (2015). Estudio sobre residuos de plaguicidas en brócoli de exportación y consumo nacional. *Ecuador es calidad: Rev. Científ. Ecuatoriana*, 2(2). <https://doi.org/10.36331/revista.v2i2.12>
- Saeed, M., Fartab Shoukat, R., Zafar, J. and Muhammad Saeed, C. (2017). Population dynamics of natural enemies and insect pest in different *Brassica oleracea* (cabbage) growing seasons with different production systems. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 5(6), 1669-1674. <https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue6/PartW/5-1-239-490.pdf>
- Xin, H., Rong-Juan, M., Jun, H., Yi-Wan, Z., Zhi-Qing, M. and Xing, Z. (2014). Joint aphidicidal action of alkaloids of *Sophora alopecuroides* L. and nicotine. *Acta Entomol. Sin.*, 57(5), 557-563. <http://www.insect.org.cn/EN/Y2014/V57/I5/557>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

José Gabriel Ugsha Sabando: Conceptualización, Investigación, Análisis Formal, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición. **Dorys T. Chirinos:** Análisis Formal, Redacción-revisión y edición. **Eliana Granja Guerra:** Análisis Formal, Redacción-revisión y edición. **Mario Javier Chuquiana Caiza:** Conceptualización, Investigación, Redacción-revisión y edición.





Effect of diet with plant-derived bioactive compounds on physiological and tissular responses in the common carp (*Cyprinus carpio*)

Efecto de la dieta con compuestos bioactivos de origen vegetal en las respuestas fisiológicas y tisulares de la carpa común (*Cyprinus carpio*)

Authors

^{1*}Raad M. Sayed-Lafi

✉ Raadelsayed@nust.edu.iq

²Fatima A.M. Sultan

✉ fatimamantather49@gmail.com

³Riyadh A. Al-Tameemi

✉ riyadh.irmayla@uobasrah.edu.iq

¹National University of Science and Technology, Thi-Qar, Iraq.

²University of Basrah, College of Agriculture, Department of Fisheries and Marine Resources, Basrah, Iraq.

*Autor de correspondencia.

Suggested citation: Sayed-Lafi, R. M., Sultan, F. A. M. and Al-Tameemi, R. A. (2024). Effect of diet with plant-derived bioactive compounds on physiological and tissular responses in the common carp (*Cyprinus carpio*). *La Técnica*, 14(2), 95-102. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6194>

Received: November 14th, 2023

Accepted: May 25th, 2024

Published: July 5th, 2024

Abstract

The aim of this study was to investigate some physiological responses to the influence of raw pomegranate peel (*Punica granatum*) (RPP) and alcoholic extract (PPE) on hematological parameters, immunological responses, and antioxidants with its histological examination of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerling (13.5 ± 0.1 g). Treatments included two concentrations of RPP and PPE (control, 0.5 and 1 mg·kg⁻¹ of diet) of the commercial diet (~35 protein) for 70 days. At the end of the experiment, all fish were anaesthetized for morphometric measurements and blood sampling. Significant increases in hemoglobin (HGB), hematocrit (Hct), and red blood cells (RBCs) were observed in RP and PPE from the diet ($P < 0.05$). Show up the effectiveness of lysozyme improved significantly in all diets containing PPE compared to the control ($P < 0.05$). An improvement in catalase and glutathione peroxidase (GPx) activity were observed ($P < 0.05$). Histological examination showed a normal liver with lipid vacuoles. In summary, the present study revealed an overall improvement in blood, immune response, antioxidant status and maintenance of liver efficiency of PPE in the diet.

Keywords: antioxidants; phenols; pomegranate peel; common carp.

Resumen

El objetivo de este estudio fue investigar algunas respuestas fisiológicas a la influencia del epicarpio crudo (cáscara) de la granada (*Punica granatum*) (RPP) y su extracto alcohólico (PPE) en parámetros hematológicos, respuestas inmunológicas y antioxidantes, junto con su examen histológico en alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) ($13,5 \pm 0,1$ g). Los tratamientos incluyeron dos concentraciones de RPP y PPE (testigo, 0,5 y 1 mg·kg⁻¹ de dieta) en la dieta comercial (~35% de proteína) durante 70 días. Al final del experimento, todos los peces fueron anestesiados para realizar mediciones morfométricas y toma de muestras de sangre. Se observaron aumentos significativos en la hemoglobina (HGB), hematocritos (Hct) y glóbulos rojos (RBCs) en los peces alimentados con RPP y PPE en la dieta ($P < 0,05$). La efectividad de la lisozima mejoró significativamente en todas las dietas que contenían PPE en comparación con el testigo ($P < 0,05$). Se observó una mejora en la actividad de la catalasa y la glutatión peroxidasa (GPx) ($P < 0,05$). El examen histológico mostró un hígado normal con vacuolas lipídicas. El presente estudio revela una mejora general en la sangre, la respuesta inmune, el estado antioxidante y el mantenimiento de la eficiencia hepática con PPE en la dieta.

Palabras clave: antioxidantes; fenoles; cáscara de granada; carpa común.



Introduction

A variety of environmental stresses have an impact on fish species in the intensive aquaculture sector. When subjected to damaging stimuli including temperature changes, pH shifts, drops in oxygen levels, rises in ammonia levels, handling, transportation, and osmotic changes in water, fish experience stress reactions (Pickering, 1993; Everly and Lating, 2013).

The integrated stress response of the fish consists of behavioral, neurological, hormonal, and physiological components, can affect health status, and reduce its resistance to illnesses and stress, and it takes the fish some time to even return to normal (Lebelo et al., 2001; Suljević et al., 2016). Despite their unfavorable side effects, antibiotics are widely used to treat fish diseases. As a result, researchers have sought out natural alternatives that are more affordable, secure, and effective, such as herbs, vegetables, and other food plants, to use as growth or immune boosters (Badrey et al., 2019).

In this scenario, phytogetic are defined as environmentally friendly plant-derived bioactive compounds used as functional feed additives that show positive effects on animal growth and health. Phytogetic often comprise aromatic plants extracts, and essential oils characterized by its richness in biologically active compounds (Suphoronski, et al., 2019; Christaki et al., 2020). In farmed fish, a wide spectrum of phytogetics has been increasingly studied mainly due to their wide repertoire of properties, including growth promotion, and antimicrobial, immunostimulant, antioxidant, anti-inflammatory and sedative activities (Reverter et al., 2021).

In particular, phytogetics derived from pomegranate peel, products manufactured from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel are much more antioxidant-rich than pomegranate juice, making them desirable candidates for use as a dietary supplement in animal feed (Badawi and Gomaa, 2016). However, Türkyılmaz et al. (2013) reported that pomegranate peel also contains flavonoids, phenolic acids, and tannins (ellagitannins such as punicalin, punicalagin, gallic acid and ellagic acid).

This makes pomegranate peel a possible candidate for the discovery of novel natural compounds with varied biological functions, antibacterial action, and potential health advantages (Kaderides et al., 2015). It is well known that pomegranate (*P. granatum*) peel contains phenolic chemicals in quantities roughly 10 times greater than those found in pulp (Li et al., 2006). The antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory, antiproliferative, hypolipidemic, and hypoglycemic characteristics of pomegranates have been extensively studied in both edible and inedible sections of the plant, including the peel, seeds, and blossoms (Akhtar et al., 2015; Banihani et al., 2017; Danesi and Ferguson, 2017; Tortora et al., 2017; Bassiri-Jahromi, 2018; Altieri et al., 2019; Hou et al., 2019).

In order to take advantage of their health-promoting qualities, peel byproducts have been targeted as potential natural additives for food preservation and quality enhancement, as well as components of food supplements and nutraceuticals (Akhtar et al., 2015). With this background, pomegranate peel (*P. granatum*) was chosen as the study's subject with the intention of examining its effects on hematological parameters, oxidative state, immunological responses, and liver health of common carp (*Cyprinus carpio*).

Materials and methods

Preparation of pomegranate peel extract

According to the Gülçin et al. (2003) method, the preparation involved mixing 25 mg of powdered pomegranate peel with 250 mL of ethanol (96%), stirring the mixture for 24 hours on a magnetic stirrer, and then filtering the liquid twice through gauze. Once the filtrate was collected using filter paper (Whatmann No. 1), it was concentrated using a rotary evaporator, dried at a temperature of 40 °C, put in sealed opaque bottles, and kept in the refrigerator until needed. The process was then repeated using the same steps and conditions until enough of the extract was obtained.

Determination of total phenolics content

Was determined using the Folin Ciocalteu reagent (Chun et al., 2003). In a nutshell, 0.5 mL of the extract and 0.5 mL of the Folin-Ciocalteu reagent were combined. Before adding two mL of sodium carbonate solution 7.5% and increasing the volume to eight mL with water, the solution was maintained at 25 °C for 5-8 minutes.

The absorbance was determined by spectrophotometer (LKB 4050, England) at 725 nm after two hours of incubation. A calibration curve using gallic acid was realized. The results were expressed in gallic acid equivalents for fresh mass ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$). The results were computed using the following formula and expressed as a percentage w/w: $\text{GAE}\times\text{V}\times\text{D}\times10-6\times100/\text{W}$ = total phenolic content (% w/w), where GAE is the gallic acid equivalent ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), V is the total sample volume (mL), D is the dilution factor, and W is the sample weight (g) (Chun et al., 2003).

Determination of total flavonoids content

A colorimetric test was used to determine the total flavonoid concentration (Zhishen et al., 1999). Distilled water (4 mL) of were mixed with 100 microliters of the extract. Then 0.3 mL of sodium nitrite solution at 5% was added. Aluminum chloride (0.3 mL of 10%) was added after five minutes. Sodium hydroxide (2 mL of one M) was added to the mixture in six minutes. Distilled water

(3.3 mL) was added right away, and the liquid was properly mixed after being diluted.

At 510 nm, the absorbance was measured in comparison to a blank. Rutin served as the calibration curve's standard. Rutin equivalents per gram of sample ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) was used to express the total amount of flavonoids in the extract. Ten milligrams of rutin were diluted to 10, 20, 40, 80, or 160 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ after being dissolved in 100 mL of methanol (80%) (Lin et al., 2007). The 0.5 mL diluted standard solutions were combined with 1.5 mL of 95% methanol, 0.1 mL of 10% aluminum chloride, 0.1 mL of 1 M potassium acetate, and 2.8 mL of diluted water in separate batches. Using a spectrophotometer, the absorbance of the reaction mixture was measured at 415 nm following a 30-minute incubation period at room temperature. The same volume of distilled water was used in place of 10% of aluminum chloride in the blank (Zhishen et al., 1999).

Experimental fish

The Aquaculture Department of the College of Agriculture provided the common carp fingerlings used in the research. Fish that were large or extremely stressed were not included. On an electronic scale, each fish was weighed to the nearest 13.51 g while submerged in a bowl of water. Five treatments with three replicates each were applied to the fish (5 fish). Before the experiment began, the fish were given two weeks to get acquainted to the laboratory environment. When the experiment began, the fish were placed in $60 \times 40 \times 50$ cm aquaria, which served as the experimental units.

Experimental procedure

A commercial Iranian diet with known chemical composition was utilized in table 1 as the control (C), and pomegranate peel powder (RPP) and alcohol extracts (PPE) at 0.5% and 1%, respectively, were added to four experimental diets. For 70 days, diets were given to the fish twice daily (at 9 am and 4 pm) at a rate of 2% of their body weight. During the trial period, measurements of the water quality parameters ($\text{pH}= 8.78$, $\text{EC}= 2.71 \text{ ds}\cdot\text{cm}^{-1}$, $\text{DO}= 9.43 \text{ ppm}$, $\text{Temp}= 24.34 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{Sal}= 1.30 \text{ psu}$) were made.

Table 1. The proximate chemical composition of the commercial diet used in the experiment.

Nutrition	Amount
Moisture	10%
Crude protein	35%
Ash	12%
Metabolizable energy	3700 Kcal $\cdot\text{kg}^{-1}$
Crude fiber	5.5%
Crude fat	6%
Total volatile nitrogen (TVN)	50 mg $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$
Essential amino acids	
Lysine	1.8%
Methionine	0.48%
Threonine	1.15%

Composition: wheat flour, barley, corn gluten, vegetable meal, fish meal, yeast, fish oil, vegetable oil, choline chloride, lysine, methionine, threonine, vitamin premix, special mineral premix, anti-oxidant, inositol.

Hematological analysis

Blood samples were drawn through the heart by a tow ml glass syringe, and the drawn blood was placed in test tubes in two groups, the first group free of anticoagulant, to obtain serum by using centrifuge (Labofuge 400 E, 600 g; Heraeus, Os-terode, Germany) at 3000 rpm for 15 minutes and kept in refrigeration until biochemical analysis. The Mindrary- BC-30S hematology analyzer was used to measure the hemoglobin concentration (HGB), hematocrit (HCT), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), red blood cells (RBC) and white blood cells (WBC).

Immune responses and antioxidant activity

Lysozyme activity was analyzed based on turbidity measurements. In this test, serum (10 μL) was added in cuvettes to 200 μL of *Micrococcus* suspension (35 mg of *Micrococcus* dry powder in 95 mL of 0.15 M phosphate buffer + 5.0 mL of NaCl solution). The change in extinction was measured immediately at 546 nm at the beginning of the reaction and after a 20-minute incubation at 40 $^{\circ}\text{C}$. Lysozyme content was determined based on the calibration curve and the extinction was measured according to Schäperclaus et al. (1992). Catalase, and glutathione peroxidase, activities were determined by using commercial kits (Cayman 707002 Catalase assay kit, and Cayman 703102 glutathione peroxidase assay kit, respectively).

Histopathological analysis

Two fish from each aquarium were randomly selected and sacrificed ($n=$ six per treatment). The head and tail of each fish were removed, and the viscera and liver were dissected and stored for 48 hours in 10% neutral buffered formalin (Thermo Fisher, Kalamazoo, MI). The liver samples were fixed in formalin for 48 hours. Then samples were washed and dried in successive grades of ethyl alcohol. After then the samples were routinely treated to obtain four μm thick paraffin slices using a Cambridge Rocking microtome. All tissues were sectioned longitudinally. For the microscopic analysis, hematoxylin and eosin stains (H&E) were used to stain the slices (Bancroft and Layton, 2013).

Statistical analysis

Data were presented as mean $\pm$ SD. The results were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) to test the effect of treatment inclusion on fish performance. Data were analyzed using IBM SPSS (2013) program, Version 22. Differences between means were compared using LSD's multiple range tests at $P<0.05$ level.

Results and discussion

The health benefits of flavonoids have been subjected by recent studies, and their potent antioxidant effects were proven (Orak et al., 2012). As can be seen in table 2, higher antioxidant activity and phenolic contents were found in pomegranate peel. Based on previous studies that report antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content, the peel extracts are more potent



(nearly tenfold) than the pulps, indicating that peel extract has more potentially effective compounds (Ardekani et al., 2011).

The antioxidant results were consistent with those from studies by Nuamsetti et al. (2012) and Badawi and Gomaa (2016), which found that the alcohol extract contained phenols ($185 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ GAE} \cdot \text{g}^{-1}$) and flavonoids ($32 \text{ mg RE} \cdot \text{g}^{-1}$), as well as a total of $166.83 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$, $152.6 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$, and $85.48 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$ of phenols, respectively. Hence, if we compare this plant's antioxidant content to that of many other plants, it is high. Although, differences between antioxidant content in other studies it must be considered that variations in the total phenolic contents of a pomegranate can be influenced by the solvent used for extraction (Ambigaipalan et al., 2016).

Table 2. Total phenolic and flavonoid contents of pomegranate peel extract (n= 3).

	Total phenolic (mg GAE·g ⁻¹)*	Total flavonoid (mg RE·g ⁻¹)**
Alcoholic extract	175.95±1.41	42.89±1.30

*(GAE)·g⁻¹ -mg gallic acid equivalents ** (RE)·g⁻¹ -mg rutin equivalents.

Lysozyme enzyme showed an increase in all treatments (figure 1). Badawi and Gomaa (2016) explained that lysozyme is one of the non-specialized agents that are considered the first line against pathogens, and the study indicated that adding PPE increased lysozyme levels, and the same result was indicated by Monir et al. (2020), where they noted improvement in lysozyme levels in serum of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after adding moringa (*Moringa oleifera*) leaves extract and PPE. The results of the study by Harikrishnan et al. (2012) showed an increase in lysozyme levels after adding PPE to Olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) diets.

Hamed and Abdel-Tawwab (2021) confirmed that lysozyme levels increased in Nile tilapia fed on diets containing RPP. The study of Sönmez et al. (2022) showed a continuous increase in lysozyme activity during the 40 days of the experiment in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). However, the present results agree with the study of Badrey et al. (2019). Nevertheless, these results may be related to the chemical components of pomegranate peels and extracts such as flavonoids, calutanine, and ellagic acid derivatives (Dahham et al., 2010).

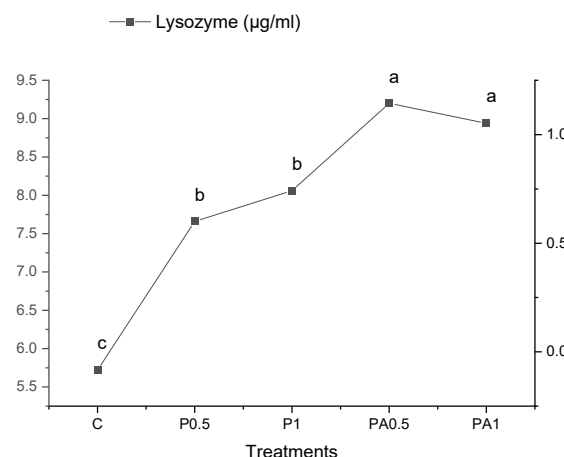


Figure 1. Lysozyme activity in serum of common carp (*Cyprinus carpio*) fed with RPP and PPE. Values are presented as mean±SD. Different letters above line express significant differences between treatments (P<0.05). C: Control, P0.5: Pomegranate peel powder 0.5%, Pomegranate peel powder 1%, PA0.5: Alcohol extracts 0.5%, PA1: Alcohol extracts 1%.

Both antioxidant activities (Catalase and Gpx) were found to be significantly increased (P<0.05) in the serum blood of fed common carp meals containing different concentrations of RPP and PPE presented in figure 2. Antioxidant activities (Catalase and Gpx) were found to be significantly increased (P<0.05) in the serum blood of fed common carp meals containing different concentrations of RPP and PPE are presented in figure 2.

However, the increase of Catalase may be attributed to the presence of some phenolic compounds in pomegranate peels such as protocatechuic acid, gallic acid, pyrogallol, p-coumaric acid, catechine, rosmarinic acid, rutin, naringeen, myrcetin scoplatin, and hisperdin, which have antioxidant activities through reducing the stress caused by the generation of free radicals and lipid peroxidation (Mashkor and Muhson, 2014).

Also, phenolic compounds enhance GPx enzyme activity (Moskaug et al., 2005). PPE may be an important factor in protecting tissues from oxidative damage by increasing the removal of free radicals by Catalase and GPx enzymes (Abdel-Moneim, 2012).

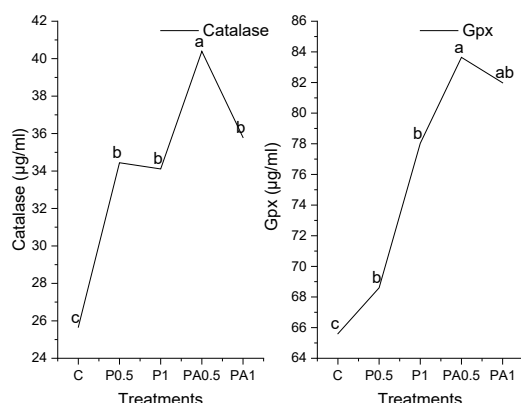
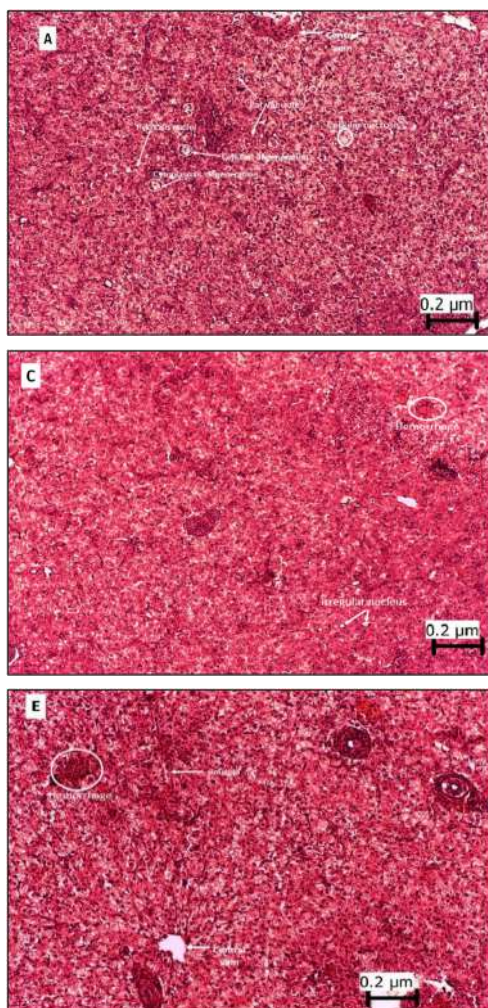


Figure 2. Catalase and GPx activity in serum of common carp (*Cyprinus carpio*) fed with RPP and PPE. Values are presented as mean±SD. Different letters above lines express significant differences between groups ($P < 0.05$). C: Control, P0.5: Pomegranate peel powder 0.5%, Pomegranate peel powder 1%, PA0.5: Alcohol extracts 0.5%, PA1: Alcohol extracts 1%.



Histological studies are very important to assess the health status of fish; through it, the pathological effects that can be caused by nutrients are evaluated, in addition to understanding the mechanisms of digestion, metabolism, and monitoring the health status of fish. In general, the shape and structure of the alimentary canal in fish are closely related to fish food and feeding habits (Banan, 2012; Bonvini, 2017).

The results from the conducted histological study are presented in figure 3 for common carp that were fed RPP and PPE supplements. In the control treatment, we observed in figure 3A vacuolization in cells and a kind of necrosis and, additionally, degeneration in the cytoplasm. The liver histological with RPP and PPE showed a relatively normal liver morphology appearance, and the hepatic structure was characterized by compactly arranged hepatocytes disposed in a simple layer aligned with sinusoids. The parenchyma itself was primarily composed of polyhedral hepatocytes, typically with central nuclei, densely stained chromatin margins, and a prominent nucleolus. We also observed the pancreatic mass, which was situated around the branches of the hepatic portal veins.

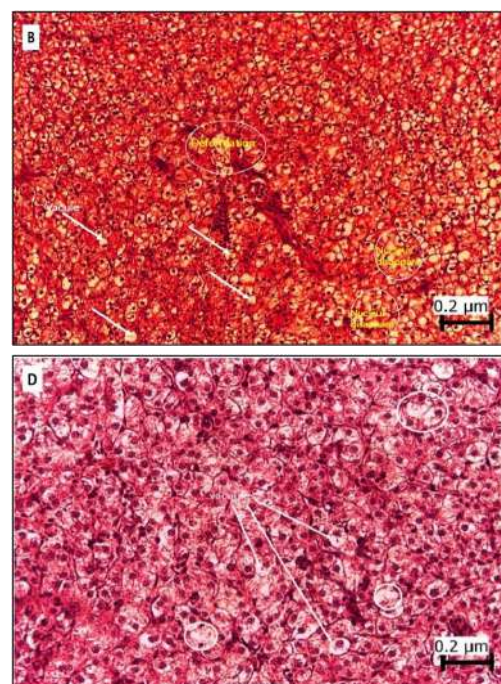


Figure 3. Photomicrographs of the liver of common carp fed RPP (P0.5%, P1%), PPE (PA0.5%, PA1%), and control treatment (c). (A) Degeneration and necrosis of hepatocytes (white arrows) and fat vacuoles. (B) fat vacuoles (white arrows), and small number of peripherally displaced, deformation (white circle). (C) Hemorrhage (white circle) and irregular nucleus (white arrows). (D) and (E) fat vacuoles (white arrows). H&E; bar= 20 µm.

Figure 3B displayed vacuolation and the nucleus disappeared. While, normal histological appearance with lipid accumulation in the cytoplasm of hepatocytes could be noticed in figures C, D, and E. Overall, it was discovered that the addition of RPP and PPE improved the liver's normal tissue. The development of lipid vesicles during alcohol treatments is depicted in figure 3. Perhaps, lipids and glycogen, which are related to the normal metabolic operation of the liver, may be present in vacuoles in the cytoplasm of hepatocytes.

The creation of vacuoles in the liver indicates an imbalance between the pace at which chemicals are synthesized in parenchyma cells and their rate of release into the circulation. Hepatocytes can produce vacuoles as a sort of cellular protection against dangerous compounds, and this defense mechanism may be in charge of gathering toxic molecules and keeping them from interfering with this cell's basic functions (Ayadi et al., 2015).

Moreover, the morphometric assessment of the liver revealed that in P0.5%, a small number of peripherally displaced nuclei were observed. According to Caballero et al. (1999) enlarged nuclei of hepatocytes and nuclear displacement to the hepatocyte periphery, depending on the experimental conditions, are considered a pathological situation or might be regarded as an adaptive mechanism of hepatocytes. In the presented study, the morphology of hepatocytes was similar to the analyzed carp diets.

Therefore, the observed hepatic morphology reflected a well-fed status rather than a pathological situation. The present findings are due to the active compounds in pomegranate peels, reported similar results by Hussein et al. (2022).

Conclusion

The outcomes of the current study demonstrated that including pomegranate peel alcohol extract in the diet increased blood parameters, immunity, antioxidants, and liver safety. More research should be done to figure out the optimal ratios for fish feed in order to improve the resistance and health of fish farmed using phytonics rather than using antibiotics.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest in this publication in any of its phases.

Bibliographic references

Abdel-Moneim, A. E. (2012). Evaluating the potential role of pomegranate peel in aluminum-induced oxidative stress

and histopathological alterations in brain of female rats. *Biological Trace Element Research*, 150(1), 328-336.

Akhtar, S., Ismail, T., Fraternal, D. and Sestili, P. (2015). Pomegranate peel and peel extracts: Chemistry and food features. *Food Chemistry*, 174, 417-425.

Altieri, F., Cairone, F., Giamogante, F., Carradori, S., Locatelli, M., Chichiarelli, S. and Cesa, S. (2019). Influence of ellagitannins extracted by pomegranate fruit on disulfide isomerase PDIA3 activity. *Nutrients*, 11(1), 186. <https://doi.org/10.3390/nu11010186>

Ambigaipalan, P., De Camargo, A. C. and Shahidi F. (2016). Phenolic compounds of pomegranate byproducts (outer skin, mesocarp, divider membrane) and their antioxidant activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(34), 6584-6604. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02950>

Ardekani, M. R. S., Hajimahmoodi, M., Oveisi, M. R., Sadeghi, N., Jannat, B., Ranjbar, A. M., Gholam, N. and Moridi, T. (2011). Comparative antioxidant activity and total flavonoid content of persian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 10(3), 519. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2011.948>

Ayadi, I., Monteiro, S. M., Regaya, I., Coimbra, A., Fernandes, F., Oliveira, M. M., Peixoto, F. and Mnif, W. (2015). Biochemical and histological changes in the liver and gills of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to Red 195 dye. *RSC Advances*, 5(106), 87168-87178. <https://doi.org/10.1039/C5RA13127H>

Badawi, M. E. and Gomaa, A. M. (2016). Influence of diets supplemented with pomegranate peel extract on performance in *Oreochromis niloticus*. *Japanese Journal of Veterinary Research*, 64 (Supplement 2), S87-S94. <http://hdl.handle.net/2115/62021>

Badrey, A. A., Osman, A., Farrag, S. M., Toutou, M. M. M. and Moustafa, M. (2019). Influences of diets supplemented with pomegranate peel on haematology, blood biochemistry and immune status in monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(2), 133-144. <https://dx.doi.org/10.21608/ejabf.2019.33559>

Banan Khojasteh, S. M. (2012). The morphology of the post-gastric alimentary canal in teleost fishes: a brief review. *International Journal of Aquatic Science*, 3(2), 71-88.

- Bonvini, E. (2017). Development of innovative feed products and feed concepts for marine species in aquaculture. Ph.D. Thesis. University of Bologna. 100 p.
- Bancroft, J. D. and Layton, C. (2013). The hematoxylin and eosin. pp. 172-214. In: Suvarna, S. K., Layton, C. and Bancroft, J. D. (Eds.). *Theory and practice of histological techniques*. 7th Ed., Churchill Livingstone of El Sevier, Philadelphia, Ch. 10 and 11.
- Banihani, S., Swedan, S. and Alguraan, Z. (2013). Pomegranate and type 2 diabetes. *Nutrition Research*, 33(5), 341-348. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2013.03.003>
- Bassiri-Jahromi, S. (2018). *Punica granatum* (Pomegranate) activity in health promotion and cancer prevention. *Oncology Reviews*, 12(1), 345,351. <https://doi.org/10.4081/oncol.2018.345>
- Caballero, M. J., López-Calero, G., Socorro, J., Roo, F. J., Izquierdo, M. S. and Fernández, A. J. (1999). Combined effect of lipid level and fish meal quality on liver histology of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 179(1-4), 277-290. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00165-9)
- Christaki, E., Giannenas, I., Bonos, E. and Florou-Paneri, P. (2020). Innovative uses of aromatic plants as natural supplements in nutrition. pp. 19-34. In: Florou-Paneri, P., Christaki, E. and Giannenas, I. (Eds.). *Feed additives*. Cambridge, Massachusetts. Academic Press.
- Chun, O. K., Kim, D. O., Moon, H. Y., Kang, H. G. and Lee, C. Y. (2003). Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(25), 7240-7245. <https://doi.org/10.1021/jf0343579>
- Dahham, S. S., Ali, M. N., Tabassum, H. and Khan, M. (2010). Studies on antibacterial and antifungal activity of pomegranate (*Punica granatum* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(3), 273-281.
- Danesi, F. and Ferguson, L. R. (2017). Could pomegranate juice help in the control of inflammatory diseases?. *Nutrients*, 9(9), 958. <https://doi.org/10.3390/nu9090958>
- Everly, G. S. and Lating, J. M. (2013). The anatomy and physiology of the human stress response. pp. 17-51. In: Everly, G. S. and Lating J. M. (Eds.). *A clinical guide to the treatment of the human stress response*. Springer, New York, NY.
- Gülçin, İ., Oktay, M., Kireççi, E. and Küfrevioğlu, Ö. İ. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. *Food Chem.*, 83(3), 371-382.
- Hamed, H. S. and Abdel-Tawwab, M. (2021). Dietary pomegranate (*Punica granatum*) peel mitigated the adverse effects of silver nanoparticles on the performance, haemato-biochemical, antioxidant, and immune responses of Nile tilapia fingerlings. *Aquaculture*, 540, 736742. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736742>
- Harikrishnan, R., Kim, J. S., Kim, M. C., Balasundaram, C. and Heo, M. S. (2012). Pomegranate enriched diet enhances the hematology, innate immune response, and disease resistance in olive flounder against *Philasterides dicentrarchi*. *Veterinary Parasitology*, 187(1-2), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.12.006>
- Hou, C., Zhang, W., Li, J., Du, L., Lv, O., Zhao, S. and Li, J. (2019). Beneficial effects of pomegranate on lipid metabolism in metabolic disorders. *Molecular Nutrition and Food Research*, 63(16), 1800773. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800773>
- Hussein, E. E., Fatan, N., El-Betagy, A. E. D. and Naeem, M. A. (2022). Enhancement of the nutritional value, antioxidant properties and growth performance in mono-sex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fries by pomegranate peel supplementation. *ResearchSquare*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1717922/v1>
- Kaderides, K., Goula, A. M. and Adamopoulos, K. G. (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.006>
- Lebelo, S. L., Saunders, D. K. and Crawford, T. G. (2001). Observations on blood viscosity in striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum) associated with fish hatchery conditions. *Kansas Academy of Science*, 104, 183194. [https://doi.org/10.1660/0022-8443\(2001\)104\[0183:OOBVIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1660/0022-8443(2001)104[0183:OOBVIS]2.0.CO;2)
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J. and Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry*, 96(2), 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.033>
- Lin, J. Y. and Tang, C. Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1), 140-147.
- Mashkor, I. M. A. A. and Muhson, A. A. (2014). Total phenol, total flavonoids and antioxidant activity of pomegranate peel. *International Journal of ChemTech Research*, 6(11), 4656-4661.
- Monir, W., Abdel-Rahman, M. A., Hassan, S. E. D. and Awad, S. M. (2020). Pomegranate peel and moringa-based diets enhanced biochemical and immune parameters of Nile tilapia against bacterial infection by *Aeromonas*

- hydrophila*. *Microbial Pathogenesis*, 145, 104202. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104202>
- Moskaug, J. Ø., Carlsen, H., Myhrstad, M. C. and Blomhoff, R. (2005). Polyphenols and glutathione synthesis regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 277S-283S.
- Nuamsetti, T., Dechayuenyong, P. and Tantipaibulvut, S. (2012). Antibacterial activity of pomegranate fruit peels and arils. *Science Asia*, 38(3), 319-322.
- Orak, H. H., Yagar, H. and Isbilir, S. S. (2012). Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (*Punica granatum* L.) and inter-relationships with total phenolic, tannin, anthocyanin, and flavonoid contents. *Food Science and Biotechnology*, 21(2), 373-387. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0049-6>
- Pickering, A.D. (1993). Growth and stress in fish production. In *Genetics in aquaculture*, 111, 51-63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81527-9.50010-5>
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sarter, S., Sasal, P. and Caruso, D. (2021). Moving towards more sustainable aquaculture practices: A meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Review in Aquaculture*, 13(1), 537-555. <https://doi.org/10.1111/raq.12485>
- Sönmez, A. Y., Bilen, S., Özdemir, K. Y., Alagöz, K. and Özçelik, H. (2022). Effect of aqueous methanolic extract of pomegranate peel (*Punica granatum*) and veratrum (*Veratrum album*) on oxidative status, immunity and digestive enzyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Agricultural Sciences*, 28(2), 159-170. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.870923>
- Suphoronski, S. A., Chideroli, R., Facimoto, C. T., Mainardi, R. M., Souza, F. P. and Lopera-Barrero, N. M. (2019). Effects of a phytogenic, alone and associated with Potassium diformate, on tilapia growth, immunity, gut microbiome and resistance against *Francisella*. *Scientific Reports*, 9(1), 6045. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42480-8>
- Suljević, D., Alijagić, A., Mitrašinić-Brulić, M., Fočak, M. and Islamagić, E. (2016). Comparative physiological assessment of common carp (*Cyprinus carpio*) and crucian carp (*Carassius carassius*) based on electrolyte and hematological analysis. *Macedonian Journal of Animal Science*, 6(2), 95-100. <http://dx.doi.org/10.54865/mjas1662095s>
- Tortora, K., Femia, A. P., Romagnoli, A., Sineo, I., Khatib, M., Mulinacci, N., Giovannelli, L. and Caderni, G. (2018). Pomegranate by-products in colorectal cancer chemoprevention: effects in apc-mutated pirc rats and mechanistic studies in vitro and ex vivo. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(2), 1700401. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700401>
- Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Dereli, U. and Özkan, M. (2013). Effects of various pressing programs and yields on the antioxidant activity, antimicrobial activity, phenolic content and colour of pomegranate juices. *Food Chemistry*, 138(2-3): 1810-1818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.100>
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

Author's contribution statement according to the CRediT classification

Raad M. Sayed-Lafi: Investigation, Formal Analysis, Writing-original draft, Writing-review & editing. **Fatima A. M. Sultan:** Writing-original draft, Writing-review & editing. **Riyadh A. Al-Tameemi:** Formal Analysis, Writing - review & editing.



Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica

Analysis of wastewater treatment technologies: A bibliographic review

Autores

***Fabiola Maribel Jiménez Tamayo** 

✉ fm.jimenezt@uea.edu.ec

Joana Alexandra Moreno López 

✉ ja.moreanol@uea.edu.ec

Mónica Cecibel Encalada Zumba 

✉ mc.encaladaz@uea.edu.ec

Evelyn Alejandra Vargas Peralvo 

✉ ea.vargasp@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, El Puyo,
Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Jiménez Tamayo, F. M., Moreno López, J. A., Encalada Zumba, M. C. y Vargas Peralvo, E. A. (2024). Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica. *La Técnica*, 14(2), 103-117. DOI:<https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6467>

Recibido: Febrero 29, 2024

Aceptado: Mayo 15, 2024

Publicado: Julio 22, 2024

Resumen

Un manejo eficaz de los efluentes generados por la actividad resulta fundamental para proteger la salud pública y conservar el medio ambiente, especialmente cuando 2.400 millones de personas aún carecen de acceso a servicios sanitarios esenciales. La contaminación de los recursos hídricos en Latinoamérica amenaza la biodiversidad y la salud, haciendo esencial el tratamiento eficiente y sostenible de aguas negras para enfrentar la creciente demanda de agua potable y cumplir con regulaciones ambientales más estrictas. El objetivo fue identificar las principales tecnologías desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales. La revisión bibliográfica se realizó mediante la metodología PRISMA, la cual, constó de cuatro etapas: identificación, selección, elegibilidad e inclusión. Se identificaron métodos físicos, mecánicos, biológicos, químicos y avanzados para el tratamiento de aguas residuales. Se enfatizó la efectividad de los métodos biológicos, como lodos activados y humedales construidos, para eliminar la materia orgánica, alcanzando eficiencias superiores al 80% en aguas domésticas y hasta 88% en efluentes industriales. También se destacó la utilidad de procesos físico-químicos en la eliminación de compuestos específicos. Se concluye que la combinación de tecnologías en sistemas híbridos es esencial para un tratamiento integral y se señala la emergencia de membranas, como la nanofiltración y ultrafiltración, para la eliminación selectiva de contaminantes. Además, se subraya la tendencia hacia el uso de procesos sostenibles, que incluyen el aprovechamiento de residuos como materiales de tratamiento, la generación de subproductos útiles y la reducción del consumo energético.

Keywords: eficiencia; innovación; saneamiento; sustentabilidad.

Abstract

Effective management of effluents generated by the activity is essential to protect public health and conserve the environment, especially when 2,4 billion people still lack access to essential health services. Pollution of water resources in Latin America threatens biodiversity and health, making efficient and sustainable wastewater treatment essential to meet the growing demand for drinking water and comply with stricter environmental regulations. The objective was to identify the main technologies developed for wastewater treatment. The literature review was carried out using the PRISMA methodology, which consists of four stages: identification, selection, eligibility and inclusion. Physical, mechanical, biological, chemical and advanced methods for wastewater treatment were identified. The effectiveness of biological methods, such as activated sludge and constructed wetlands, is emphasized to eliminate organic matter, reaching efficiencies greater than 80% in domestic waters and up to 88% in industrial effluents. The usefulness of physical-chemical processes in the elimination of specific compounds was also highlighted. It is concluded that the combination of technologies in hybrid systems is essential for a comprehensive treatment and the emergence of membranes, such as nanofiltration and ultrafiltration, for the selective elimination of contaminants is noted. Furthermore, the trend towards the use of sustainable processes is highlighted, which includes the use of waste as treatment materials, the generation of useful by-products and the reduction of energy consumption.

Palabras clave: efficiency; innovation; sanitation; sustainability.



Introducción

El progreso en la salud pública y el saneamiento a nivel global depende en gran medida de buenas prácticas de higiene, la disponibilidad de instalaciones sanitarias y un manejo confiable de las aguas residuales (AR; Peña, 2016). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que 2.400 millones de personas, alrededor de un tercio de la población mundial no tienen acceso a ningún tipo de instalación sanitaria (OMS, 2023). Esta falta de acceso afecta de manera desproporcionada a las comunidades rurales y a los países en desarrollo. Según Wolf et al. (2023) el acceso inadecuado al agua potable, saneamiento e higiene es responsable de casi el 10% de la carga mundial de morbilidad. Además, mencionó que la diarrea es la segunda causa principal de muerte en niños menores de 5 años en todo el mundo. Al mismo tiempo, la falta de saneamiento también facilitó la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A y la poliomielitis (Rodríguez et al., 2016).

Latinoamérica enfrenta un creciente desafío ambiental debido a la gestión inadecuada de las AR. A medida que la población de la región aumenta la cantidad de aguas servidas generadas por actividades domésticas, industriales y agrícolas también se incrementa. Estos efluentes se vierten directamente en el ambiente sin recibir el tratamiento adecuado (Rodríguez-Valencia et al., 2022). Esta práctica no solo amenaza la salud pública, al exponer a las comunidades a patógenos y sustancias tóxicas, sino que también pone en peligro la inmensa biodiversidad de la región. América del Sur es el hogar de aproximadamente un tercio de las fuentes de agua dulce del mundo depende directamente de los recursos hídricos, ve cómo sus ecosistemas acuáticos se ven afectados debido a los efluentes generados por la actividad humana (Sáez et al., 2022). Además, la contaminación del agua complica el uso en actividades esenciales como la agricultura, la industria y el consumo humano, lo que podría tener repercusiones económicas y sociales a largo plazo para los países de la región (Velázquez-Chávez et al., 2022).

El tratamiento de AR ha cobrado una importancia crítica en el contexto actual, donde la creciente demanda de agua potable y las regulaciones ambientales más rigurosas son más controladas. Esta situación se ve exacerbada por la rápida industrialización y el crecimiento demográfico, factores que han llevado a una disminución notable en la disponibilidad de recursos hídricos vitales (Díaz-Cuenca et al., 2012). En una era marcada por una creciente preocupación sobre las repercusiones de las estrategias de la gestión ambiental y la urgencia de abordar problemas de saneamiento, enfermedades y pobreza, se hace imperativo desarrollar tecnologías de tratamiento de AR que sean no solo eficientes, sino también respetuosas con el ambiente (Muga et al.,

2008). La adopción y promoción de estas tecnologías sostenibles no solo garantizarán un suministro de recursos hídricos más limpios y seguros, sino que también sentarán las bases para un futuro más sostenible y ecológicamente responsable (Lee et al., 2022).

A nivel internacional específicamente en Japón autores como Semaha et al. (2023) han desarrollado una transición en el tratamiento biológico de AR, pasando del proceso de lodo activado convencional (CAS) a sistemas de lodo granular aeróbico bacteriano y/o algal-bacteriano (AGS). Estos sistemas avanzados ofrecieron una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes y permiten la recuperación de recursos, alineándose con el concepto de economía circular. En cambio, Ewing et al. (2014) realizaron estudios para aprovechar los gradientes redox en lagunas facultativas (Pullman, EE. UU) utilizando una celda de combustible microbiana de laguna para mejorar autónomamente la entrega de oxígeno a la laguna a través de la aireación y la mezcla operando una bomba de aire. Se buscó demostrar el “lagoon microbial fuel cells (LMFC)” como una fuente alternativa de energía para sistemas de tratamiento de AR autónomos. Por último, Rojas-Morales et al. (2016) analizaron los efluentes generados en el proceso de matanza de aves. Este proceso involucró el uso de grandes cantidades de agua en actividades como escaldado, lavado, enfriamiento y limpieza, lo que resultó en la generación de AR contaminadas. El enfoque del estudio fue investigar el uso de carbones activados como adsorbentes para eliminar estos contaminantes.

En Ecuador autores como, Peña et al. (2018) trataron las AR de la ciudad de Yaguachi mediante uso de cuatro lagunas facultativas y ocho lagunas de maduración. Con este sistema, se espera una reducción de la carga contaminante del 82% para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y del 99,99% para los coliformes. Este método ha sido popular debido a su sencillez, bajo costo inicial y de operación, y la mínima capacitación requerida para el personal encargado de su funcionamiento. Por otro lado, Sánchez et al. (2018) realizaron estudios en la quebrada de “Chasinato” en el cantón Ambato para determinar la eficiencia de un sistema de tratamiento de AR de flujo subsuperficial con macrófitas para la remoción de coliformes. La presencia de este microorganismo fue un indicador de contaminación fecal en el agua. Mientras, Marín et al. (2015) propusieron una solución para las AR generadas en la industria procesadora de pescado en Manta, mencionó el uso de un tratamiento anaeróbico como una solución viable, ya que utiliza microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en los efluentes. Una de las ventajas de este método es que produce biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía, y genera una menor cantidad de lodos en comparación con otros métodos de tratamiento.

Atendiendo las premisas anteriores el objetivo del presente trabajo fue identificar las principales tecnologías desarrolladas para el tratamiento de AR.

Materiales y métodos

La metodología de la investigación bibliográfica se estructuró en dos etapas clave, apoyada en los estándares PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) expuesto por Page et al. (2021). Inicialmente, se efectuó una búsqueda sistemática en bases de datos académicos, utilizando una selección estratégica de términos claves. Además, se usó operadores booleanos como “AND” para interceptar conceptos, “OR” para ampliar la búsqueda incluyendo sinónimos o temas relacionados, y “NOT” para excluir términos no deseados sobre métodos de tratamiento de AR, eficiencia de remoción de contaminantes y sostenibilidad de los procesos. Esta fase se orientó a identificar literatura que abordó de manera significativa tratamientos de AR. Posteriormente, se aplicó un criterio de selección estricto, descartando aquellos estudios que no cumplieron con los requisitos de relevancia o calidad. Este procedimiento garantizó una revisión bibliográfica exhaustiva y meticulosa, enfocada en consolidar una base de conocimiento robusta para el estudio en cuestión.

Recuperación de la información

La metodología PRISMA para este análisis se inició con una fase de identificación utilizando repositorios de investigación clave como ScienceDirect, SciELO, MDPI, y añadiendo Google Académico para una cobertura más amplia. Se diseñó una estrategia de búsqueda con términos precisamente seleccionados que abarcaron aspectos cruciales del tratamiento de AR, como “tratamiento de aguas”, “purificación” y “sistemas de depuración”, aplicando una lógica de búsqueda refinada para abordar el espectro completo de la investigación actual en el campo.

La fase de selección, siguiendo la metodología PRISMA, se efectuó después de reunir inicialmente los estudios en octubre de 2023, resultando en 263 documentos preliminares (figura 1). Se aplicaron criterios de exclusión para eliminar trabajos sin una autoría definida y aquellos no directamente relacionados con el tratamiento de AR. Los criterios de inclusión se basaron en la relevancia directa al tema y la cobertura de publicaciones desde 2007 hasta 2023. Este proceso meticoloso redujo la selección a 192 artículos, asegurando una base de datos concentrada y pertinente para el análisis subsiguiente.

En la fase de evaluación de elegibilidad del proceso PRISMA, se procedió a un escrutinio detallado de los 192 documentos filtrados, enfocándose en su pertinencia para el ámbito del tratamiento de AR. Este análisis implicó una revisión profunda de los resúmenes y títulos, centrándose en criterios como la innovación en las técnicas de tratamiento, su viabilidad ambiental y su eficacia. Se descartaron los duplicados y aquellos estudios que divergían de

los objetivos principales del estudio, culminando en la selección de 93 trabajos que cumplieran con los estándares de actualidad, relevancia y calidad para la investigación.

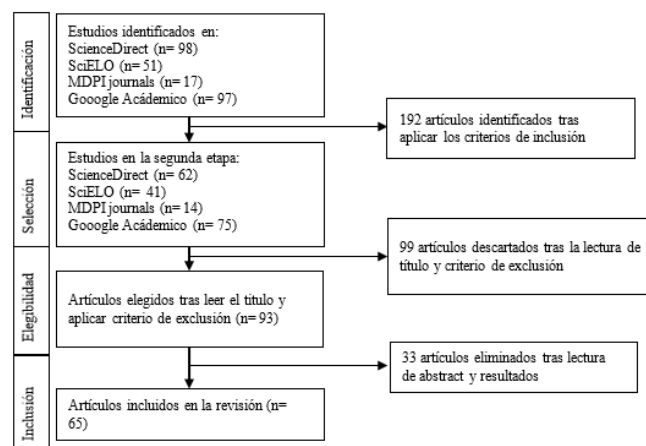


Figura 1. Metodología PRISMA aplicada al estudio.

En la última etapa de la metodología PRISMA aplicada al estudio de tratamientos de AR, se efectuó una síntesis y análisis detallados de los 65 artículos finales. Este proceso implicó un examen minucioso de cada documento, identificando tendencias clave, patrones y avances en el campo. A través de este análisis, se obtuvo una comprensión profunda y actualizada del tratamiento de AR, resaltando tanto el estado del arte como las direcciones futuras para la investigación. Esta fase aportó un valor considerable al cuerpo de conocimiento en este ámbito, iluminando aspectos críticos y potenciales de las tecnologías involucradas.

Resultados y discusión

Análisis de los artículos seleccionados

La evolución de las publicaciones sobre el tratamiento de AR a lo largo de los años reflejó un campo de estudio que ha capturado un interés fluctuante pero progresivo de la comunidad científica. El año 2016 se distinguió como un punto culminante con un total de nueve artículos. Este alto índice fue seguido por una destacada contribución de siete artículos en 2018, sugiriendo una continuidad en el interés y la investigación. Aunque algunos años intermedios, como 2017 y 2020, vieron una disminución en la producción con solo dos artículos, otros años mostraron una presencia más constante de estudios, como en 2012 y 2015, con cuatro artículos cada uno. Recientemente, el año 2023 ha igualado al año 2016 con otros nueve artículos, evidenciando un resurgimiento y una dedicación sostenida hacia la investigación en la materia. Los años 2021 y 2022 también reflejaron una atención continua con cuatro y cinco artículos, respectivamente. Este patrón subrayó la importancia y el interés constante en la mejora de las prácticas de tratamiento de AR, señalando un área de investigación activa y en expansión.

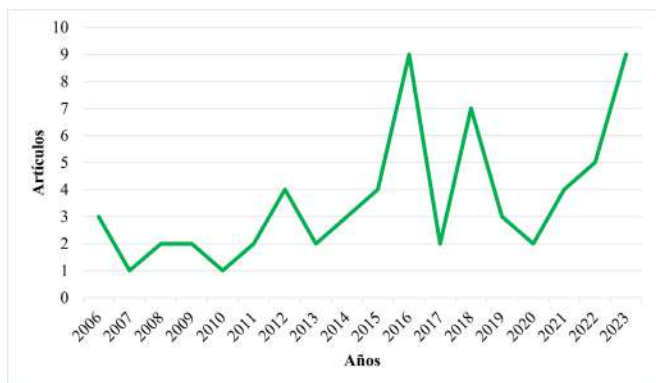


Figura 2. Comportamiento en el tiempo de los artículos seleccionados.

Métodos de tratamiento de aguas residuales

Se refiere al conjunto de acciones dirigidas a tratar las aguas contaminadas, las cuales pudieron originarse en entornos residenciales o industriales como un subproducto. El proceso de tratamiento englobó una serie de procedimientos y mecanismos diseñados para purificar el agua que ha sido contaminada debido a actividades químicas o industriales (Morató et al., 2006). El objetivo principal de los tratamientos fue recuperar y reutilizar el agua, ya sea reintroduciéndola en el ambiente o canalizándola hacia sistemas de alcantarillado sanitario. Es fundamental realizar una evaluación y análisis exhaustivo del agua a tratar antes de iniciar el proceso de pretratamiento, con el propósito de determinar las estrategias de tratamiento específicas requeridas (UNESCO, 2018). La clasificación de los métodos de tratamientos de AR se categorización según su naturaleza y la tecnología (figura 3).

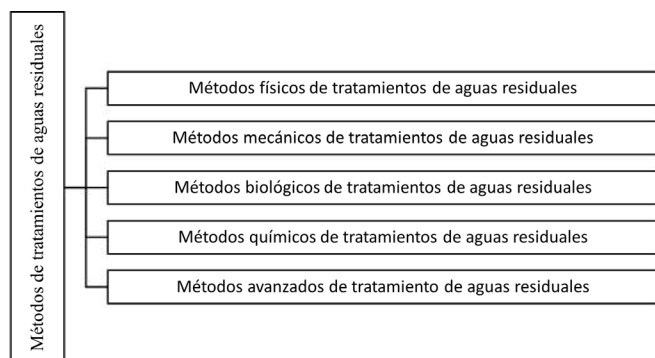


Figura 3. Tipos de tratamientos de AR.

Métodos físicos de tratamiento de aguas residuales

Sedimentación

Es el proceso físico por el cual partículas en suspensión con una densidad superior a la del fluido que las contiene, se depositan por efecto de la gravedad. Este proceso depende de las propiedades de las partículas como tamaño, forma y densidad, así como de las características del fluido como viscosidad y densidad. La sedimentación se utilizó comúnmente para el tratamiento de AR industriales y municipales, con el fin de remover los sólidos sedimentables antes de tratamientos biológicos posteriores. Se llevó a cabo en tanques o clarificadores donde se redujo la velocidad del flujo para permitir la decantación de las partículas por diferencia de densidades entre el fluido y las partículas. El material sedimentado se acumuló en el fondo y fue retirado periódicamente como lodo.

En la tabla 1, Ghanem et al. (2010) estudiaron experimentalmente la velocidad de sedimentación de flóculos de coagulantes químicos, lastrados con diferentes tamaños de micro-arenas mediante pruebas en columna. Mientras Solís et al. (2013) propusieron y evaluaron la sedimentación por 24 horas como pretratamiento de bajo costo para disminuir demanda química de oxígeno (DQO) y color en efluentes textiles de lavanderías. En cambio, Oliva et al. (2008) desarrollaron un sistema óptico para medir velocidad de sedimentación de lodos y comparar con el método de probeta graduada. Finalmente, Arguedas-Zumbado et al. (2016) analizaron un sedimentador industrial, diagnosticaron su bajo rendimiento y propusieron una remodelación para cumplir la normativa de vertidos.

Tabla 1. Estudios de AR con el método de sedimentación.

Residuo por sedimentar	Lugar de estudio	Parámetros de sedimentación	Autor
Flóculos lastrados con microarenas	Venezuela	Velocidad de sedimentación en función de la dosis y el tamaño de grano del agente lastrante. Rangos de velocidad de 145 a 225 m·h ⁻¹	(Ghanem et al., 2010)
Lodos de AR textiles	México	Sedimentación por 24 h como pretratamiento. Remoción de DQO de 35 a 67%. Remoción de color visible. Fitotoxicidad del agua pretratada.	(Solís et al., 2013)
Lodos de AR	Yucatán, México	Velocidad de sedimentación medida con sistema óptico y probeta graduada. Sedimentación zonal de lodos. Lámina de lodo sedimentada.	(Oliva et al., 2008)
Lodos de agua residual industrial	Costa Rica	Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) a la entrada y salida del sedimentador. Tiempo de retención. Rendimiento de remoción de SST del sistema.	(Arguedas-Zumbado et al., 2016)

En el estudio de Ghanem et al. (2010) se observó que la velocidad de sedimentación aumentó con la dosis de agente lastrante, mostrando una relación lineal, pero sin una tendencia clara con respecto al tamaño de la microarena. Por otro lado, Oliva et al. (2008) demostraron que su sistema óptico para medir la velocidad de sedimentación ofreció mayor precisión en comparación con los métodos convencionales. Estos hallazgos resaltaron la relevancia de las técnicas avanzadas en la medición y control de procesos de sedimentación, indicando un progreso significativo hacia métodos más eficientes y precisos en el tratamiento de AR.

En el estudio de Arguedas-Zumbado et al. (2016) se observaron mejoras significativas en la concentración de sólidos suspendidos totales tras la remodelación del sedimentador, con una reducción de 296 a 40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, situándose por debajo del límite permitido de 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Por otro lado, Solís et al. (2013) reportaron una eficiente reducción de DQO en los efluentes textiles, alcanzando hasta un 70% en el proceso de sedimentación. Estos datos específicos demostraron la eficacia de las mejoras en los procesos de sedimentación y el impacto positivo en la calidad del agua tratada.

Aireación

Es un proceso de lodos activados que consiste en bombear aire a un tanque, lo que promueve el crecimiento microbiano en las AR. Los microbios se alimentan de la materia orgánica y forman bandadas que pueden asentarse fácilmente. Después de sedimentarse en un tanque de sedimentación separado, las bacterias que forman los “lodos activados” se recirculan continuamente de regreso al tanque de aireación para aumentar la velocidad de descomposición (figura 4). Los diseños más comunes utilizaron reactores de tanque agitado convencionales, de aireación por etapas y de flujo continuo (Ahmmed et al., 2016). En el uso industrial, el método de aireación más común fue la aireación por caída de agua, mediante el uso de boquillas pulverizadoras. También se encontró el método de aireación por difusión de aire, en el que el aire se difundió en un recipiente receptor que contuvo agua que fluyó a contracorriente (Teixeira Correia et al., 2013).

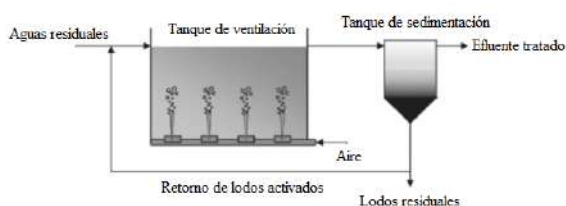


Figura 4. Proceso de lodos activados.

Fuente: Ahmmed y Sreekrishnan (2016).

Autores como Teixeira et al. (2013) y Uggetti et al. (2016) evaluaron la eficiencia de remoción de fósforo en AR, el primero en reactores de lecho fluidizado trifásico y el segundo en humedales construidos de flujo subsuperficial (tabla 2). Ambos

estudios analizaron parámetros como concentración inicial y final, eficiencia de remoción, efecto de factores como tiempo de retención hidráulica y concentración de medio soporte. Teixeira et al. (2013) obtuvieron remociones de fósforo total de 32,7% con tiempos de retención muy cortos (0,19 horas), mientras que Uggetti et al. (2016) alcanzaron hasta 38,4% de remoción de fósforo reactivo con tiempos mayores (3 horas). Si bien los procesos difirieron, los resultados mostraron el potencial de procesos biológicos para la remoción de fósforo si se operó bajo condiciones controladas.

Tabla 2. Estudios respecto a AR usando el método de aireación.

Residuo	Lugar de estudio	Parámetros de estudio	Autor
Fósforo	Brasil	Eficiencia de remoción de fósforo reactivo y fósforo total en reactores aerobios de lecho fluidizado trifásico	(Teixeira et al., 2013)
Fósforo	España	Eficiencia de remoción de fósforo reactivo mediante aireación intermitente en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal	(Uggetti et al., 2016)

Métodos mecánicos de tratamiento de aguas residuales

Las membranas cerámicas presentaron grandes ventajas en el campo de la separación. Su función de separación se basa en la teoría del “cribado”. Para sustancias permeables con diferentes permeabilidades, la diferencia de presión se utilizó como fuerza impulsora para permitir que las sustancias moleculares pequeñas pasaran e interceptaran sustancias moleculares grandes para lograr la separación (Zhang et al., 2023). Estas membranas están elaboradas de materiales inorgánicos como alúmina, carburo de silicio, óxido de titanio y zeolitas, que les confieren una serie de propiedades deseables para el tratamiento de AR, como alta estabilidad química, resistencia a altas temperaturas, alta resistencia mecánica, y una larga vida útil. Además, fueron capaces de resistir ambientes químicos agresivos y condiciones de operación severas que las membranas poliméricas no pudieron soportar (Lin et al., 2018).

En cuanto a la clasificación de las membranas cerámicas según Qiu et al. (2018) se clasificaron en función del tamaño de poro (tabla 3). Estas clasificaciones se basaron en el tamaño de los poros de las membranas, lo que determinó su capacidad para separar diferentes tipos de contaminantes. Por ejemplo, las membranas de microfiltración fueron capaces de retener bacterias y partículas grandes, mientras que las de ósmosis inversa pueden retener iones y moléculas pequeñas.

Tabla 3. Clasificación de las membranas según el tamaño del poro.

Tipo de membrana	Tamaño de poros
Microfiltración (MF)	0,1 a 10 micrómetros
Ultrafiltración (UF)	0,01 a 0,1 micrómetros
Nanofiltración (NF)	1 a 10 nanómetros
Ósmosis inversa (RO)	0,1 a 1 nanómetros

Fuente: Qiu et al. (2018).

En la tabla 4 los tres estudios evaluaron el uso de membranas para el tratamiento de AR de diferentes industrias. Ayala et al. (2006) alcanzaron una eficiencia superior al 97% en la remoción del colorante amarillo ácido 23 mediante nanofiltración, destacando la eficacia de esta técnica para compuestos específicos en la industria textil. En contraste, Salazar et al. (2009) demostraron que el biorreactor de membrana superó al sistema de lodos activados, con un rango de remoción de DQO entre 82-92% y un 95% en sólidos suspendidos, resaltando su mayor eficacia en la eliminación de contaminantes orgánicos y partículas. Por su parte, Escobar-Jiménez et al. (2012) obtuvieron los mejores resultados en la recuperación de agua para la industria de cereales con membranas de 15 y 13 kDa, siendo la de 13 kDa más eficiente en términos de flujo de agua.

Tabla 4. Estudios de AR usando el método de membrana cerámica.

Tipo de agua residual	Residuo por eliminar	País	Parámetros de operación y tamaño de membrana	Autor
Textil	Colorante amarillo ácido 23	Colombia	Membrana de nanofiltración NF90SR de FILMETC, diámetro de 2,5", longitud de 40", configuración en espiral. Presión transmembranal de 200 psig. Relación de caudales de 15% en el permeado. Planta piloto de biorreactor de membrana	(Ayala et al., 2006)
Textil	Colorantes azul brillante y tartrazina	España	con membranas de ultrafiltración UFS3 y UFS2 y microfiltración MFS de polysulfona. Modo de filtración y modo de lavado.	(Salazar Gámez et al., 2009)
Cereales	Colorantes azul brillante y tartrazina, DQO y conductividad	México	Membranas cerámicas de 150 y 15 kDa, y membranas poliméricas de fibra hueca de 50 y 13 kDa. Presión transmembranal de 3-5 bar. Velocidad de flujo de 2,5-3 m·s ⁻¹ para membranas poliméricas y 3 m·s ⁻¹ para membranas cerámicas.	(Escobar-Jiménez et al., 2012)

La eficacia de la nanofiltración para capturar moléculas específicas, como en el estudio de Ayala et al. (2006) sugirió su utilidad en industrias con desechos químicos específicos,

como farmacéutica o química fina, donde la precisión en la eliminación de contaminantes fue crucial. La capacidad del biorreactor de Salazar et al. (2009) para manejar altas cargas orgánicas lo posicionó como una solución prometedora para industrias alimentarias o agrícolas, donde los efluentes solían ser ricos en materia orgánica. En el caso de Escobar-Jiménez et al. (2012) la búsqueda de un equilibrio entre eficiencia y calidad del agua reflejó la necesidad de soluciones versátiles, como en la gestión de efluentes municipales o en sectores donde se reutilizó agua, como en la agricultura o en la industria de bebidas. Estas tendencias indicaron una evolución hacia tecnologías especializadas adaptadas a necesidades sectoriales específicas.

Método biológico de tratamiento de aguas residuales

Este método utilizó microorganismos para descomponer la materia orgánica contaminante, reduciendo así la carga de contaminantes de manera efectiva antes de que el agua fuera liberada al ambiente o reutilizada. En estos sistemas, que podrían ser aerobios, anaerobios o anóxicos, los microorganismos como bacterias, hongos y protozoos metabolizaron los contaminantes y los transformaron en masa celular, agua, dióxido de carbono y otros gases (Menéndez et al., 2018). Los procesos aerobios, como el de lodos activados, fueron muy comunes y flexibles, pudiendo adaptarse a distintos tipos de AR y podrían ser eficientes en la eliminación de materia orgánica y nutrientes. Aun ante la diversidad de diseños y operaciones, todos comparten factores críticos como la biomasa, la carga orgánica, el tiempo de retención y las condiciones ambientales que deben ser óptimas para el tratamiento efectivo. Además, se debe prestar atención al manejo del lodo generado para evitar impactos ambientales adversos (Vargas et al., 2020).

En la tabla 5 los estudios analizados se enfocaron en el tratamiento biológico de AR domésticas y de embotelladoras utilizando reactores con microorganismos aerobios y anaerobios. Torres et al. (2011) evaluaron diferentes configuraciones de lodos activados y biodiscos para tratar aguas residuales domésticas en Colombia, reportando eficiencias de remoción de DQO mayores al 80%. Linares et al. (2021) también obtuvieron altas eficiencias de remoción de DQO (88,73%) en agua residual de embotelladora en Venezuela, utilizando reactores aerobios por carga secuencial. Por su parte, Duque-Sarango et al. (2018) trataron agua residual urbana en Ecuador con contactores biológicos rotatorios aerobios en cuatro etapas, alcanzando una eficiencia de 86% en DQO. Finalmente, Sánchez-Balseca et al. (2019) probaron un reactor anaerobio de biopelícula para desnitrificación de agua residual en Ecuador, reportando una eficiencia de 97,58% en nitratos. Los estudios demostraron la efectividad de procesos biológicos para el tratamiento de contaminantes en AR, ya sea utilizando

reactores aerobios para remover materia orgánica o anaerobios para desnitrificación.

Tabla 5. Estudios de AR usando métodos biológicos.

Tipo de agua residual	Contaminante por eliminar	País	Parámetros de tratamiento	de Microorganismo y condición	Autor
Agua residual doméstica	Materia orgánica	Colombia	Lodos activados: convencional (TRH 4-8 h), extendido (TRH 30-8 h), estabilización por contacto (TRH total 13.1-2.5 h). Biodiscos (TRH 22-0.8 h)	Bacterias heterótrofas aerobias	(Torres et al., 2011)
			Reactores por carga secuencial (SBR) operados en condiciones aerobias y anaerobias	Bacterias heterótrofas y autótrofas	(Linares et al., 2021)
			Contactores biológicos rotatorios (CBR) de cuatro etapas	Bacterias heterótrofas aerobias	(Duque-Sarango et al., 2018)
			Reactor de biopelícula	Bacterias desnitrificantes anaerobias	(Sánchez-Balseca et al., 2019)
Agua residual de embotelladora	DQO, Coliformes	Venezuela			
Agua residual urbana	Materia orgánica	Ecuador			
Agua residual doméstica	Nitratos	Ecuador			

En cuanto a los parámetros de tratamiento, Torres et al. (2011) y Duque-Sarango et al. (2018) utilizaron reactores aerobios de biomasa en suspensión (lodos activados) y biopelículas (biodiscos) respectivamente, para remover materia orgánica, mientras que Linares et al. (2021) probaron tanto condiciones aerobias como anaerobias en reactores por carga secuencial para reducir DQO y coliformes. Sánchez-Balseca et al. (2019) fueron los únicos en usar un reactor anaerobio de biopelícula para desnitrificación. En relación a los microorganismos, todos emplearon bacterias heterótrofas aerobias excepto Sánchez-Balseca et al., (2019) que usaron bacterias anaerobias desnitrificantes.

La heterogeneidad de los tratamientos biológicos reflejada en los estudios de la tabla 6 indicaron que la personalización en la eliminación de distintos contaminantes fue clave. Por ejemplo, sistemas aerobios fueron idóneos para DQO en AR con alta carga orgánica, como las industriales, mientras que los procesos anaerobios se mostraron prometedores en la eliminación de nitratos, lo que fue crucial en zonas agrícolas afectadas por la escorrentía rica en fertilizantes. Estos avances sugirieron una tendencia hacia la especialización de los tratamientos biológicos para atender necesidades particulares de descontaminación según el origen del efluente.

Además, los métodos biológicos comprendieron el compostaje a partir de AR, fue así, que analizando la información literaria se encontraron diversos artículos respecto a la temática. Torres et al. (2007) realizaron un estudio experimental con el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de materiales de soporte y enmienda en el compostaje de biosólidos generados en la Planta de Tratamiento de AR Cañaveralejo en Cali, Colombia (tabla 6). Utilizaron residuos de poda y viruta de madera como materiales

de soporte y cachaza y residuos orgánicos como enmienda. En cambio Íñiguez et al. (2006) evaluaron el compostaje de material de descarte y AR de una curtiduría en México en dos etapas: una de 239 días en pilas estáticas y otra de 204 días con volteos y riego con agua residual. Mientras Vicencio-De La Rosa et al. (2011) produjeron composta y vermicomposta a partir de lodos de una planta de tratamiento de AR de un rastro en México.

Tabla 6. Estudios de AR usando el método de compostaje.

Tipo de agua residual	País de estudio	Parámetros de operación	Características del compostaje obtenido	Autor
Biosólidos de PTAR	Colombia	Mezcla de 72% biosólido con materiales de soporte y enmienda.	Mejora en características físicas y químicas del compost.	(Torres et al., 2007)
Residuos sólidos y líquidos de curtiduría	México	239 días en pilas estáticas sin volteo. 204 días con volteos semanales y riego con agua residual.	Temperatura máxima de 65 °C. Alto contenido de sales en el producto final. 10.9 toneladas de composta.	(Íñiguez et al., 2006)
Lodos residuales de rastro	México	150 días de composteo en pilas con volteos. 210 días de vermicomposteo.	12.5 toneladas de vermicomposta. Mayor calidad nutricional de la composta.	(Vicencio-De La Rosa et al., 2011)

Torres et al. (2007) encontraron que la adición de biosólido, residuos de poda y cachaza mejoró las características físicas y químicas del compost, acelerando la fase termófila, manteniendo mayores temperaturas y mejorando la relación C/N. La mejor combinación fue 72% biosólido, 10% residuos de poda y 18% cachaza (tabla 6). Mientras que Íñiguez et al. (2006) utilizaron un periodo prolongado de pilas estáticas seguido de volteos, y Vicencio-De La Rosa et al. (2011) emplearon volteos desde el inicio. Estas diferencias influyeron en los resultados; por ejemplo, Íñiguez et al. (2006) obtuvieron compost con alto contenido de sales debido al riego con agua residual durante el proceso. En cuanto a características del compostaje, Torres et al. (2007) y Vicencio-De La Rosa et al. (2011) lograron mejoras en propiedades físicas y químicas del compost, mientras que el producto de Íñiguez et al. (2006) tuvo limitaciones por su composición.

Estos métodos mostraron potencial para la mejora de la calidad del suelo y la agricultura sostenible, al tiempo que enfrentaron retos como el alto contenido salino, que requirió soluciones innovadoras para evitar impactos negativos en el suelo. La adaptación de estos procesos a los diferentes tipos de residuos y condiciones ambientales será crucial para su éxito y sostenibilidad a largo plazo.

Métodos químicos de tratamiento de aguas residuales

Neutralización

La neutralización de AR ácidas es un proceso químico que se utiliza para elevar el pH de efluentes industriales ácidos a niveles neutros, generalmente entre 6 y 9. Esto se logra mediante la adición de sustancias alcalinas que neutralizan la acidez (Nazuwatussya et al., 2023). Las AR ácidas se generan comúnmente en procesos industriales como la minería, refinación de metales, producción de acero, entre otros. Estas aguas suelen contener ácidos como el sulfúrico o clorhídrico, así como metales pesados disueltos. Si se vierten directamente, pueden dañar infraestructura, suelos y ecosistemas acuáticos (Arbona et al., 2023).

Las sustancias neutralizantes más utilizadas son la cal viva (CaO), cal hidratada (Ca(OH)_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3), hidróxido de sodio (NaOH) y carbonato de calcio (CaCO_3). Al añadirlas, reaccionan con los ácidos del agua residual generando sales y agua, incrementando el pH. El proceso se realiza en tanques de neutralización con agitación (Lochyński et al., 2021).

Jarnerud et al., (2021) presentaron un estudio experimental sobre el uso de residuos de las industrias de pasta y papel que contenían CaO , como cenizas volantes y lodo calcinado, para neutralizar AR ácidas de procesos de decapado en la producción de acero (tabla 7). En cambio, Forsido et al. (2019) reportaron un estudio sobre el uso de escoria de horno de arco eléctrico, en combinación con cal, para neutralizar efluentes ácidos y remover metales de una industria siderúrgica. Finalmente Zvimba et al. (2017) presentaron un estudio experimental y de modelado sobre el uso de escoria de horno de oxígeno básico para la neutralización pasiva de drenaje ácido de minas.

Tabla 7. Estudios de AR usando el método de neutralización.

Tipo de agua residual	País de estudio	Sustancias neutralizantes	Parámetros de operación	Autor
AR ácidas de decapado en producción de acero	Suecia	Cenizas volantes y lodo calcinado de industrias de pasta y papel	Adición de 9,5-52 g·L ⁻¹ de cenizas o 4-19 g·L ⁻¹ de lodo; agitación a 500 RPM; tiempo de neutralización de 30 min	(Jarnerud et al., 2021)
Efluentes ácidos de industria siderúrgica	Sudáfrica	Escoria de horno de arco eléctrico y cal	Adición de 54 g·L ⁻¹ de escoria y 0,7 g·L ⁻¹ de cal; agitación a 380 RPM; tiempo de neutralización de 1-96 horas	(Forsido et al., 2019)
Drenaje ácido de minas	Sudáfrica	Escoria de horno de oxígeno básico	Sistema de neutralización pasiva; tiempo de neutralización de 1-90 días	(Zvimba et al., 2017)

Los parámetros de operación variaron desde procesos activos de agitación y adición directa de reactivos, hasta sistemas pasivos con tiempos de retención más prolongados. Sin embargo, en todos los casos se logró una neutralización exitosa, alcanzando el rango de pH deseado entre 6-9 y removiendo metales por precipitación. En términos de resultados, si bien las cinéticas

de neutralización dependieron del proceso específico, todos los estudios señalaron porcentajes de remoción de acidez y metales superiores al 90%. Incluso el proceso pasivo de Zvimba et al. (2017) alcanzó estos niveles en periodos relativamente cortos (10 días).

La investigación de la tabla 7 demostró un crecimiento en el uso de residuos industriales para el tratamiento de AR, marcando un paso hacia la sostenibilidad ambiental. Estos estudios mostraron cómo los subproductos, como las cenizas y la escoria, pueden ser reciclados eficientemente para corregir la acidez del agua, lo que redujo la necesidad de neutralizantes químicos y aprovechó los materiales que de otro modo se desecharían. Este enfoque no solo ofreció soluciones de tratamiento más ecológicas, sino que también impulsó la economía circular, alineándose con los desafíos contemporáneos de la gestión de residuos y la conservación de recursos.

Adsorción

Es una técnica clave en el tratamiento de AR ácidas, este método usa materiales adsorbentes para eliminar contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos. El proceso se fundamenta en la afinidad química y física entre el adsorbente y los contaminantes, siendo su eficacia dependiente de la naturaleza del adsorbente y las condiciones del medio, como el pH. Materiales como carbón activado y zeolitas fueron frecuentemente seleccionados por su capacidad para capturar una gama de contaminantes (Jagadeesh et al., 2023). Además de ser eficiente en la remoción de sustancias tóxicas, la adsorción es valorada por su simplicidad operativa y su potencial para cumplir con estándares ambientales estrictos, lo que la hace una opción atractiva en comparación con métodos convencionales, especialmente como tratamiento terciario para pulir el agua residual antes de su descarga o reutilización (Paccha Rufasto et al., 2023).

Analizando la literatura disponible de la temática de adsorción en AR, autores como Tejada-Tovar et al. (2015) presentó un análisis sobre el uso de materiales biológicos como adsorbentes de metales pesados en tratamiento de AR. Además, describe fundamentos de la adsorción, biomateriales utilizados, sus modificaciones y factores que influyen en la adsorción de iones metálicos (tabla 8). En cambio García-Rojas et al. (2012) analizó la adsorción como tratamiento terciario o de pulimiento de AR, presentando conceptos básicos, tipos de adsorción, descripción del proceso experimental y modelación con isothermas de adsorción. Por último, Cascaret-Carmenaty et al. (2014) estudió la adsorción de cromo (VI) por biomasa bacteriana, describiendo la selección de cepas, efecto del pH, modelación cinética y aplicación en una matriz real de agua residual.

Tabla 8. Estudios de AR empleando el método de adsorción.

Tipo de agua residual	País de estudio	Tipo de adsorbente	Parámetros de operación	Autor
AR industriales con metales pesados	Colombia	Cáscara de tamarindo, cáscara de naranja, cáscara de plátano, hojas de maíz, cáscara de mani, quitosano, residuos de tallos de uva	pH, tamaño de partícula, temperatura, concentración de metal	Tejada-Tovar et al. (2015)
AR con metales pesados	México	Biomasa	pH, tiempo de contacto, concentración inicial	(García-Rojas et al., 2012)
Agua residual galvánica con cromo (VI)	Cuba	Biomasa de cepas bacterianas aisladas del residuo galvánico	pH, concentración de biomasa	(Cascaret-Carmenaty et al., 2014)

Tejada-Tovar et al. (2015) presentó un análisis amplio de adsorbentes de origen biológico para aguas industriales, mientras García-Rojas et al. (2012) se enfocaron en fundamentos de la adsorción con biomasa. En cambio Cascaret-Carmenaty et al. (2014) estudiaron un caso específico de biomasa bacteriana para agua residual galvánica con cromo (VI). Estos estudios subrayaron el potencial de la biomasa, desde residuos agrícolas hasta cepas bacterianas especializadas, para eliminar metales pesados y otros compuestos nocivos (tabla 9). En cuanto a condiciones operacionales, los tres estudios coincidieron en la importancia del pH como parámetro clave, pero difirieron en otros factores como concentración de biomasa, tiempo de contacto y temperatura. Se evidenció que la investigación en la adsorción para tratamiento de aguas debe optimizarse según el tipo de contaminante y las características del adsorbente a utilizar.

Precipitación

Se emplearon compuestos químicos en las AR para que cambiaran el estado físico de los sólidos suspendidos o disueltos y luego se separaron mediante sedimentación. Cuantitativamente, la separación de la solución se volvió más completa, dependiendo de la insolubilidad del compuesto formado (Barat et al., 2009). Es así, que la precipitación química, a diferencia de otros métodos químicos de tratamiento de AR, se consideró un proceso de purificación primario o principal ya que permitió obtener agua casi libre de sólidos en suspensión. Además, se ha puesto especial atención en la eliminación del fósforo y otros compuestos orgánicos (Hualpa-Cutipa et al., 2022).

Respecto a la temática Zhang et al. (2020) analizaron la preparación de hidroxycarbonato de magnesio a partir de magnesita de bajo grado, y su uso como agente precipitante de metales pesados (VO^{2+} , Cr^{3+} y Fe^{3+}) en AR industriales en el estudio se logró reducir las concentraciones de estos metales por debajo de los límites de descarga en China (tabla 9). En cambio Barat et al. (2009) presentó un estudio de caso sobre los

problemas de precipitación en la planta de tratamiento de AR Murcia Este en España; se realizó un análisis de balance de masas para identificar las fuentes de precipitación, encontrando que ocurre principalmente en los digestores anaeróbicos. Mientras Córdova et al. (2014) compararon la precipitación química de cromo en efluentes de procesos de curtido de cuero tradicionales y alternativos; los procesos alternativos requirieron menor dosis de hidróxido de sodio debido al uso de agentes complejantes de cromo.

Tabla 9. Estudios de AR empleando el método de precipitación.

Tipo de agua residual	Compuesto precipitante	Sustancia precipitada	Parámetros de operación	Autor
AR de curtimiento	Hidróxido de magnesio carbonatado sintético	VO^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+}	pH 7,1, 0,3 g·L ⁻¹ de $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_x$, agitación durante 20 min a temperatura ambiente	(Zhang & Duan 2020)
AR urbanas	Hidróxido de sodio	Estruvita, hidroxiapatita	pH 7,5 en digestor anaeróbico, aumento de concentración de NH_4^+ de 139 a 922 mg·L ⁻¹ , digestión anaerobia con TRS de 38% y carga orgánica de 1,9 gD-QO/L·día ⁻¹	(Barat et al., 2009)
AR de curtimiento tradicional y alternativa	Hidróxido de sodio	Cr^{3+}	pH óptimo entre 7,4-10 mediante adición de 0,5-5,5 g·L ⁻¹ de NaOH, agitación a temperatura ambiente	(Córdova Bravo et al., 2014)

Los estudios analizados obtuvieron altas eficiencias de remoción de las sustancias objetivo ajustando el pH entre 7,1 y 10, mediante la adición de los compuestos precipitantes en rangos de 0,3 a 5,5 g·L⁻¹, durante tiempos de reacción de 20 min a temperatura ambiente, en procesos por agitación. Se requiere mayor investigación para determinar la cinética de las reacciones y evaluar la aplicabilidad de estos métodos a mayor escala. Estos estudios enfatizaron la relevancia de ajustar el pH y la dosificación de precipitantes para alcanzar altas eficiencias de remoción, y sugirieron que investigaciones futuras deberían profundizar en la cinética de reacción y la escalabilidad de estas soluciones.

Desinfección

Es un método ampliamente empleado, Casierra-Martínez et al. (2016) evaluaron la combinación de un proceso fotocatalítico solar con peróxido de hidrógeno y un sistema de humedales construidos para la desinfección de AR domésticas y su reúso en riego (tabla 10). Por otro lado, Zurita et al. (2015) compararon la eficiencia de tres sistemas piloto de humedales construidos híbridos de dos etapas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* de AR domésticas. En cambio, Noriega-Treviño et al. (2012) presentaron un estudio comparativo de la efectividad antibacteriana de nanopartículas metálicas en aguas con diferente composición química, como una alternativa para la desinfección de aguas, y propusieron el uso de membranas compuestas con nanopartículas para osmosis inversa y nanofiltración.

Tabla 10. Estudios de AR empleando el método de desinfección.

Tipo de agua residual	País de estudio	Compuesto desinfectante	Microorganismo	Parámetros de operación	Autor
Doméstica	Colombia	UV/H ₂ O ₂ solar + humedales construidos	Coliformes totales y fecales	5 h en fotorreactor solar, 3 días en humedal. Dosis H ₂ O ₂ : 3, 30 y 300 mg·L ⁻¹	(Casierra-Martínez et al., 2016)
Doméstica	México	Humedales construidos híbridos	Coliformes totales y <i>E. coli</i>	1 año de operación, 4 meses de estabilización, 8 meses de monitoreo.	(Zurita Martínez et al., 2015)
Sintética	México	Nanopartículas metálicas	<i>E. coli</i> y <i>E. faecalis</i>	CMI y CMB de nanopartículas metálicas. Matrices de agua sintética.	(Noriega-Treviño et al., 2012)

De acuerdo a los estudios revisados, se observó que Zurita et al. (2015) y Casierra-Martínez et al. (2016) utilizaron sistemas de tratamientos biológicos (humedales construidos) para la desinfección de AR domésticas y la remoción de coliformes totales, fecales y *E. coli*. Ambos estudios se realizaron en países de América Latina (Colombia y México), lo cual reflejó la importancia de encontrar métodos de bajo costo para el tratamiento de aguas en esta región. Sin embargo, Casierra-Martínez et al. (2016) complementaron el sistema biológico con una etapa de oxidación avanzada (UV/H₂O₂ solar), logrando altas eficiencias en la desinfección del agua residual. Por otro lado, Noriega-Treviño et al. (2012) evaluaron la aplicación de nanopartículas metálicas, específicamente de plata, como alternativa para la desinfección de agua, probando su efectividad antibacteriana contra *E. coli* y *E. faecalis* en el laboratorio. A diferencia de los otros estudios, este se realizó con agua sintética y midiendo parámetros como la concentración mínima inhibitoria y bactericida. Se encontró que las nanopartículas de plata de menor tamaño presentaron mayor actividad antibacteriana.

En cuanto a los parámetros de operación, los tiempos de retención hidráulica fueron mayores en los sistemas biológicos (días o meses) en comparación con las horas requeridas en el sistema UV/H₂O₂ solar. Además, los estudios enfatizaron la relevancia de ajustar el pH y la dosificación de precipitantes para alcanzar altas eficiencias de remoción, y sugirieron que investigaciones futuras deberían profundizar en la cinética de reacción y la escalabilidad de estas soluciones.

Métodos avanzados de tratamiento de aguas residuales

Debido a los avances tecnológicos, se han descubierto varios métodos únicos de tratamiento de agua. Estos son algunos de los métodos avanzados de tratamiento de AR que se han descubierto.

Tecnología de irradiación ultravioleta

Es un método de desinfección para inactivar microorganismos patógenos. Este proceso no utilizó productos químicos, lo que lo hizo más ecológico comparado con los métodos de desinfección convencionales como la cloración (Beck et al., 2015). La luz UV actúa dañando el ADN o ARN de los microorganismos, impidiendo su reproducción y, por ende, su capacidad de causar enfermedades. Este método es efectivo contra una amplia gama de patógenos, incluyendo bacterias, virus y protozoos (Song et al., 2016). Además, el tratamiento UV es una técnica de rápido accionar y puede ser ajustado para manejar diferentes cargas de contaminación, lo que lo hace adecuado para su integración en sistemas de tratamiento de AR existentes y futuros (Zhang et al., 2019).

Respecto a la irradiación ultravioleta se identificó estudios como por ejemplo; Malato et al. (2016) investigaron la descontaminación y desinfección del agua mediante fotocatalisis solar, utilizando dióxido de titanio (TiO₂) y experimentación en la Plataforma Solar de Almería. La investigación se enfocó en la eficiencia de este proceso para eliminar contaminantes y patógenos del agua (tabla 11). En cambio, González et al. (2023) realizaron la desinfección UV de AR, abordando la reactivación microbiana post-tratamiento. Propusieron estrategias para mejorar la eficiencia de la desinfección, incluyendo la combinación con procesos de oxidación avanzada, con el objetivo de lograr un tratamiento más efectivo y seguro. Finalmente, Zhang et al. (2017) analizaron los efectos de la desinfección ultravioleta (UV) en *E. coli* resistente a antibióticos, proveniente de AR. Se evaluó cómo la desinfección UV afectó los perfiles de resistencia a los antibióticos y los genes de resistencia a los antibióticos (ARGs) de estas bacterias.

Tabla 11. Estudios de AR empleando el método radiación ultravioleta.

Tipo de agua residual	País de estudio	Compuesto desinfectante	Parámetros de operación	Autor
AR	España	TiO ₂ /UV	Concentración de TiO ₂ , intensidad de la luz UV, pH del agua	(Malato et al., 2016)
AR urbanas	Chile	UV	Intensidad de la luz UV, tiempo de contacto	(González et al., 2023)
AR	China	UV	Intensidad de la luz UV, tiempo de contacto, niveles de resistencia a antibióticos	(Zhang et al., 2017)

Los estudios revisados mostraron la luz UV como un agente desinfectante eficaz, donde el trabajo de González et al. (2023) reportaron una reducción de 99,9% en las poblaciones de *E. coli* en AR urbanas con una dosis de UV de 30 mJ·cm⁻².

Comparativamente, el estudio de Zhang et al. (2017) destacaron la necesidad de incrementar la dosis de UV a 60 mJ·cm⁻² para lograr una inactivación comparable en cepas de *E. coli* resistentes a antibióticos, sugiriendo un umbral más alto para patógenos más robustos. Este dato puso de relieve la variabilidad de la eficacia de UV frente a microorganismos con diferentes perfiles de resistencia. Por otro lado, el estudio de Malato et al. (2016) introdujeron la fotocatalisis solar con TiO₂, mostrando una degradación de contaminantes orgánicos de hasta un 80% en pruebas piloto, además de indicar un potencial para la producción de hidrógeno, lo cual no solo tuvo implicaciones en la sostenibilidad del tratamiento de agua sino también en la generación de energía renovable.

Estos resultados apuntaron hacia un futuro donde la desinfección del agua puede ser más sostenible y multifuncional. La tendencia indicó que las tecnologías basadas en UV y fotocatalisis podrían adaptarse para satisfacer necesidades específicas, como la inactivación de patógenos resistentes y la degradación de contaminantes emergentes. Las futuras investigaciones podrían centrarse en la integración de la fotocatalisis con otros métodos de tratamiento para formar sistemas híbridos que puedan abordar una gama más amplia de desafíos en el tratamiento de AR.

Conclusión

Existe una amplia variedad de tecnologías para el tratamiento de AR que van desde métodos convencionales como sedimentación, neutralización y desinfección, hasta tecnologías más avanzadas como membranas, procesos de oxidación avanzada y tratamientos biológicos especializados. Los métodos biológicos como losodos activados y humedales construidos son muy efectivos para remover materia orgánica, se han reportado eficiencias de remoción de DQO mayores al 80% en aguas domésticas y de hasta 88% en efluentes industriales. Mientras, que los procesos físico-químicos como sedimentación, adsorción y oxidación avanzada son útiles para eliminar compuestos específicos.

Los estudios analizados revelan que no existe una solución única aplicable a todos los casos, sino que se requiere una combinación de tecnologías en sistemas híbridos para lograr un tratamiento integral. Las tecnologías de membrana, en particular la nanofiltración y ultrafiltración, están surgiendo como alternativas prometedoras para la eliminación selectiva de contaminantes específicos. Asimismo, se observa una evolución hacia el uso de procesos sostenibles, ya sea empleando residuos como materiales de tratamiento, generando subproductos aprovechables o minimizando el consumo energético.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

Ahammad, S. Z. and Sreekrishnan, T. R. (2016). *Energy from wastewater treatment*. Chapter 20, Elsevier, p. 523-536. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802830-8.00020-4>

- Arbona Cabrera, M., Cabrera Estrada, I., O'Farril Pie, M. E. y Fabelo Falcón, J. A. (2023). Determinación de la influencia de variables de operación en la neutralización de las aguas residuales textiles con CO₂. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 80(599), 187-192. <https://doi.org/10.55815/417974>
- Arguedas-Zumbado, N., Vetrani-Chavarria, K., Murrell-Blanco, M. y Bermúdez-Hidalgo, L. (2016). Propuesta de remodelación del sistema de sedimentación del quebrador de materiales de la empresa CONCREPAL, Barranca, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 50(1), 53-74. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070585004>
- Ayala, M. E., Peñuela Mesa, G. y Montoya, J. L. (2006). Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 38, 53-63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003805>
- Barat, R., Bouzas, A., Martí, N., Ferrer, J. and Seco, A. (2009). Precipitation assessment in wastewater treatment plants operated for biological nutrient removal: a case study in Murcia, Spain. *Environ Manage*, 90(2), 850-857. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.02.001>
- Beck, S. E., Wright, H. B., Hargy, T. M., Larason, T. C. and Linden, K. G. (2015). Action spectra for validation of pathogen disinfection in medium-pressure ultraviolet (UV) systems. *Water Research*, 70, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.028>
- Cascaret-Carmenaty, D. A., Calzado-Lamela, O. y Pérez-Silva, R. M. (2014). Determinación de la capacidad de adsorción de cromo (VI) por biomasa bacteriana. *Revista Cubana de Química*, XXVII(3), 215-224. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543739005>
- Casierra-Martínez, H., Casalins-Blanco, J., Vargas-Ramírez, X. y Caselles-Osorio, A. (2016). Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(4), 97-111. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549828006>
- Córdova Bravo, H. M., Vargas Parker, R., Cesare Coral, M. F., Flores del Pino, L. y Visitación Figueroa, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 183-191. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937639005>
- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A. R. y Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes



- y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 78-97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>
- Duque-Sarango, P. J., Heras-Naranjo, C., Lojano-Criollo, D. y Vilorio, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios./Modeling of biological wastewater treatment; study in pilot plant of rotating biological contactors. *CIENCIA UNEMI*, 11(28). <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p>
- Escobar-Jiménez, J., Muro-Urista, C., Esparza-Soto, M., Gómez-Espinoza, R. M., Díaz-Nava, C., García-Gaitán, B., Ortega-Aguilar, R. E. y Zavala-Arce, R. E. (2012). Recuperación de agua de efluentes de una industria de cereales utilizando membranas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, III(3), 65-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531978005>
- Ewing, T., Babauta, J. T., Atci, E., Tang, N., Orellana, J., Heo, D. and Beyenal, H. (2014). Self-powered wastewater treatment for the enhanced operation of a facultative lagoon. *Journal of Power Sources*, 269, 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.06.114>
- Forsido, T., McCrindle, R., Maree, J. and Mpenyana-Monyatsi, L. (2019). Neutralisation of acid effluent from steel manufacturing industry and removal of metals using an integrated electric arc furnace dust slag/lime process. *SN Applied Sciences*, 1(12), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1649-z>
- García-Rojas, N., Villanueva-Díaz, P., Campos-Medina, E. y Velázquez-Rodríguez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 109-129. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>
- Ghanem, A., Paulesu, G., Campos, F. y Rodríguez, P. (2010). Comportamiento de la velocidad de sedimentación en flóculos lastrados con diferentes tamaños de microarenas. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 22(1), 70-79. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739443010>
- González, Y., Gómez, G., Moeller-Chávez, G. E. and Vidal, G. (2023). UV disinfection systems for wastewater treatment: Emphasis on reactivation of microorganisms. *Sustainability*, 15(14)..
- Hualpa-Cutipa, E., Acosta, R. A. S., Sangay-Tucto, S., Beingolea, X. G. M., Gutierrez, G. T. and Zababurú, I. N. (2022). Recent trends for treatment of environmental contaminants in wastewater: An integrated valorization of industrial wastewater. Chapter 15. Elsevier, p. 337-368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91180-1.00007-7>
- Íñiguez, G., Rodríguez, R. y Virgen, G. (2006). Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(3), 113-123. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37022302>
- Jagadeesh, N. and Sundaram, B. (2023). Adsorption of pollutants from wastewater by biochar: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100226>
- Jarnerud, T., Karasev, A. V. and Jönsson, P. G. (2021). Neutralization of acidic wastewater from a steel plant by using CaO-Containing waste materials from pulp and paper industries. *Materials (Basel)*, 14(10), 23-39. <https://doi.org/10.3390/ma14102653>
- Lee, Y.-G. and Chon, K. (2022). Green technologies for sustainable water and wastewater treatment: Removal of organic and inorganic contaminants. *Separations*, 9(11), 335. <https://doi.org/10.3390/separations9110335>
- Lin, F., Zhang, S., Ma, G., Qiu, L. and Sun, H. (2018). Application of ceramic membrane in water and wastewater treatment. *E3S Web of Conferences*, 53, 1-4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185304032>
- Linares, A., Pire-Sierra, M. G., Lameda-Cuicas, E., Molina-Quintero, L. y Pire-Sierra, M. C. (2021). Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en una embotelladora de bebidas no alcohólicas. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(8), 89-107. <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/3398>
- Lochyński, P., Wiercik, P., Charazińska, S., & Ostrowski, M. (2021). Research on neutralization of wastewater from pickling and electropolishing processes. *Archives of Environmental Protection*, 47, 18-29. <https://doi.org/10.24425/aep.2021.139499>
- Malato, S., Maldonado, M. I., Fernández-Ibáñez, P., Oller, I., Polo, I. and Sánchez-Moreno, R. (2016). Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: The pilot plants of the plataforma solar de Almería. *Materials*

- Science in Semiconductor Processing*, 42, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.07.017>
- Marín Leal, J. C., Chinga Panta, C. A., Velásquez Ferrín, A. I., González Cabo, P. A. y Zambrano Rodríguez, L. M. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 27-42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91139263003>
- Menéndez Gutiérrez, C., y Dueñas Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39, 97-107. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000300097
- Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A. y Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 19-29. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530105>
- Muga, H. E. and Mihelcic, J. R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 88(3), 437-447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.008>
- Nazuwatussya, D., Ekawati, E., Pradipta, J. and Yulia, E. (2023). Automation system architecture of pH neutralization process in Batik wastewater treatment plant. *Journal of Physics: Conference Series*, 2673(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2673/1/012020>
- Noriega-Treviño, M. E., Quintero González, C. C., Guajardo Pacheco, J. M., Morales Sánchez, J. E., Compeán Jasso, M. E. y Ruiz, F. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, III, 87-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531980006>
- Oliva, J., Vallejos, G., & Pérez, M. (2008). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. *Ingeniería*, 12(2), 17-29. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46712202>
- OMS. (2023). Declaración política de la tercera reunión de alto nivel de la Asamblea General sobre la prevención y el control de las enfermedades no transmisibles, y salud mental. *CONSEJO EJECUTIVO 152.ª reunión. Punto 6 del orden del día provisional*, 1-25. https://apps.who.int/gb/cbwaha/pdf_files/EB152/B152_6-sp.pdf
- Paccha Rufasto, C. A. y Paccha Huamani, P. R. (2023). Capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para remover contaminantes de aguas residuales. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), 1-12. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25258>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P. and Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Peña Barreto, J. A. (2016). Saneamiento ambiental y participación ciudadana. *Revista Científica*, 1(1), 53-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=563660226005>
- Peña, S., Mayorga, J. y Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). *Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 161-167. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507557606007>
- Qiu, Q., Zhao, B. w. and Qiu, L. P. (2018). Development of flat ceramic membrane technology on municipal wastewater treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(2), 2-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/2/022036>
- Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L. y Castañeda, S. A. (2022). Construya y opere su sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda de su finca cafetera. *Cenicafé*, 12, 23-40. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0012>
- Rodríguez Miranda, J. P., García-Ubaque, C. A. y García-Ubaque, J. C. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18(5), 738-745. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=422497850004>
- Rojas-Morales, J. L., Gutiérrez-González, E. C. y Colina-Andrade, G. d. J. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(4), 453-462. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.005>
- Sáez Huamán, W., Palomino Pastrana, P. A., Dávila Victoria, H. M. y Tito Córdova, L. A. (2022). Aguas residuales en la calidad de agua del río. *GnosisWisdom*, 2(3), 30-36. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43>
- Salazar Gámez, L., Rosell, M. C. y Salazar, R. (2009). Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana. *Ingeniería y Desarrollo*, 26, 83-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212233007>
- Sánchez-Balseca, J. J., Muñoz-Rodríguez, I. M. y Aldás-Sandoval, M. B. (2019). Tratamiento biológico de desnitrificación de aguas residuales usando un reactor de biopelícula con cáscara de arroz como fuente de energía.



- Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(2), 78-97. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-02-03>
- Sánchez Proaño, R. G. y García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales con cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 103-111. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476054842008>
- Semaha, P., Lei, Z., Yuan, T., Zhang, Z. and Shimizu, K. (2023). Transition of biological wastewater treatment from flocculent activated sludge to granular sludge systems towards circular economy. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101-116. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101294>
- Solís, M., Gil, J. L., Solís, A., Pérez, H. I., Manjarrez, N., & Perdomo, M. (2013). El proceso de sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 585-594. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966020>
- Song, K., Mohseni, M. and Taghipour, F. (2016). Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review. *Water Research*, 94, 341-349. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.003>
- Teixeira Correia, G., Sánchez Ortiz, I. A., Gebara, D., Dall'Aglío Sobrinho, M. y Matsumoto, T. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 67, 172-182. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029146015>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á. y Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18, 109-123. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010
- Torres Lozada, P., Vasquez, N., Pérez Vidal, A., Madera, C. y Rodriguez, J. (2011). Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia *Afinidad -Barcelona-, LXVIII*, 49-55. <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/268129/355707>
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J. C., Uribe, I. E. y Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Engenharia Agrícola*, 27. <https://www.scielo.br/j/eagri/a/wcTXZFqkXkXhS36V9DKGw/#>
- Uggetti, E., Hughes-Riley, T., Morris, R. H., Newton, M. I., Trabi, C. L., Hawes, P., Puigagut, J. and García, J. (2016). Intermittent aeration to improve wastewater treatment efficiency in pilot-scale constructed wetland. *Science of the Total Environment*, 559, 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.195>
- UNESCO, Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018. (2018). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua, París. p. 168. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261605_spa
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M. y Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28, 315-322. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Velázquez-Chávez, L. D. J., Ortiz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A. y Pámanes-Carrasco, G. A. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, e482. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
- Vicencio-de La Rosa, M. G., Pérez-López, M. E., Medina-Herrera, E. y Martínez-Prado, M. A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263-270. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37020226011>
- Wolf, J., Johnston, R. B., Ambelu, A., Arnold, B. F., Bain, R., Brauer, M. and Brown, J. (2023). Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes. *Lancet*, 401(10393), 2060-2071. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00458-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00458-0)
- Zhang, C. M., Xu, L. M., Wang, X. C., Zhuang, K. and Liu, Q. Q. (2017). Effects of ultraviolet disinfection on antibiotic-resistant *Escherichia coli* from wastewater: inactivation, antibiotic resistance profiles and antibiotic resistance genes. *J. Appl. Microbiol.*, 123(1), 295-306. <https://doi.org/10.1111/jam.13480>
- Zhang, Y. and Duan, X. (2020). Chemical precipitation of heavy metals from wastewater by using the synthetical magnesium hydroxy carbonate. *Water Sci. Technol.*, 81(6), 1130-1136. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.208>

- Zhang, Y., Tan, Y., Sun, R. and Zhang, W. (2023). Preparation of ceramic membranes and their application in wastewater and water treatment. *Water*, 15(19), 123-139. <https://doi.org/10.3390/w15193344>
- Zhang, Z., Li, B., Li, N., Sardar, M. F., Song, T., Zhu, C., Lv, X. and Li, H. (2019). Effects of UV disinfection on phenotypes and genotypes of antibiotic-resistant bacteria in secondary effluent from a municipal wastewater treatment plant. *Water Res.*, 157, 546-554. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.079>
- Zurita Martínez, F., Rojas Bravo, D., Carreón Álvarez, A. y Gutiérrez Lomeli, M. (2015). Desinfección de aguas residuales en tres sistemas de humedales construidos híbridos. *Interciencia*, 40(6), 409-415. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33938675008>
- Zvimba, J., Siyakatshana, N., & Mathye, M. (2017). Passive neutralization of acid mine drainage using basic oxygen furnace slag as neutralization material: Experimental and modelling. *Water Science and Technology*, 75, 1014-1024. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.579>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Fabiola Maribel Jiménez Tamayo: conceptualización, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción, revisión y edición del artículo. **Joana Alexandra Moreno López:** redacción del borrador original del artículo, y redacción, revisión y edición del artículo. **Mónica Cecibel Encalada Zumba:** análisis formal, redacción, revisión y edición del artículo. **Evelyn Alejandra Vargas Peralvo:** curación de datos, análisis formal, y redacción, revisión y edición del artículo.





Aprovechamiento de ensilaje de raquis de *Musa x paradisiaca* (plátano) como suplemento alimenticio en rumiantes en el marco de la economía circular

Agricultura y Silvicultura

Use of *Musa x paradisiaca* (Plantain) rachis silage as a feed supplement in ruminants for circular economy purposes

Artículo original

Resumen

Autores

^{1*}Roxanna Patricia Palma-León

✉ rpalma@uteq.edu.ec

²Miguel Ángel Macay-Anchundia

✉ miguel.macay@uleam.edu

³Veronica Carolina Cevallos-López

✉ vcevallosl@uteq.edu.ec

³Angelica Nicole Cuzme-Figueroa

✉ e1726748724@live.uleam.edu.ec

²Leonardo Avellán-Vásquez

✉ leonardo.avellan@uleam.edu.ec

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

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

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Fundación Río Negro, Investigadora independiente. Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Citación sugerida: Palma-León, R. P., Macay-Anchundia, M. Á., Cevallos-López, V. C., Cuzme-Figueroa, A. N. y Avellán-Vásquez, L. (2024). Aprovechamiento de ensilaje de raquis de *Musa x paradisiaca* (plátano) como suplemento alimenticio en rumiantes en el marco de la economía circular. *La Técnica*, 14(2), 118-126 DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6686>

Recibido: Mayo 09, 2024

Aceptado: Septiembre 09, 2024

Publicado: Octubre 11, 2024

La implementación de la economía circular en los sistemas agroproductivos, busca hacerlos más eficientes, racionales y equilibrados en el uso de recursos y transformar los residuos en productos de valor. El objetivo fue analizar la calidad bromatológica del ensilaje de raquis de plátano con tres dosis de microorganismos lácticos, durante la época seca (mayor escasez de pasturas) del año 2021, con el fin de aplicar la economía circular a esta industria, haciendo más digestible y nutritivo un subproducto que se desecha comúnmente. El raquis fue triturado con una picadora de pasto y posteriormente colocado en fundas para silo, con un peso de 50 lb. A todos los tratamientos se les añadió melaza al 5%, diluyendo en ella SiloBacter® a diferentes concentraciones: 351 mL (T1), 234 mL (T2), 117 mL (T3), y sin SiloBacter® en el tratamiento testigo (T4). Se dejó fermentar 30 días para conocer si las diferentes concentraciones podrían mejorar las características nutricionales del ensilaje. Los resultados se analizaron utilizando un diseño completamente al azar con la prueba de Tukey al 5%. T2 reportó la mayor concentración de extracto libre de nitrógeno (18,56%) y la menor concentración de fibra (53,19%), T1 el mayor contenido de proteína (7,56%), ceniza (17,37%) y extracto etéreo (7,31%). Estos resultados indicaron que el uso del inóculo bacteriano mejoró la bromatología del ensilaje lo cual vuelve más eficiente el uso de los subproductos y mejora la nutrición de los rumiantes que lo consumen. El raquis de plátano tiene gran potencial y su calidad bromatológica lo hace apto para la suplementación de rumiantes.

Palabras clave: silo; vástago; economía circular; suplementación; subproducto.

Abstract

The implementation of circular economy in agro-productive systems seeks to make them more efficient, rational, and balanced in the use of resources, while transforming waste into valuable products. The objective was to analyze the bromatological quality of plantain rachis silage with three doses of lactic microorganisms during the dry season (a period of pasture scarcity) of 2021, with the aim of applying circular economy principles to this industry, making a commonly discarded by-product more digestible and nutritious. The rachis was shredded using a grass chopper and subsequently placed into silo bags, each weighing 50 lbs. Molasses (5%) was added to all treatments, and SiloBacter® was diluted in varying concentrations: 351 mL (T1), 234 mL (T2), 117 mL (T3), and no SiloBacter® in the control treatment (T4). The silage was left to ferment for 30 days to determine if the different concentrations could improve its nutritional characteristics. The results were analyzed using a completely randomized design with Tukey's test at 5%. T2 showed the highest concentration of nitrogen-free extract (18.56%) and the lowest fiber content (53.19%), while T1 had the highest levels of protein (7.56%), ash (17.37%), and ether extract (7.31%). These results indicate that the use of bacterial inoculum improved the bromatology of the silage, making the use of by-products more efficient and enhancing the nutrition of the ruminants that consume it. Plantain rachis has great potential, and its bromatological quality makes it suitable for ruminant supplementation.

Keywords: silo; stem; circular economy; supplementation; by-product.



Introducción

La agricultura y la ganadería tienen una importancia fundamental en la economía de Ecuador, en la provincia de Manabí se concentra un volumen importante tanto de producción bovina como platanera; a nivel nacional, el campo agropecuario representa un 8,2% del producto interno bruto (PIB) y desempeña un rol estratégico en el contexto más amplio de la seguridad alimentaria, ya que contribuye al menos con el 20% de la producción de bienes y servicios a nivel nacional como lo indicó el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023).

No todo lo que es producido es aprovechado. Durante todo el proceso productivo hasta que los productos son consumidos, se producen grandes cantidades de residuos (Domínguez et al., 2023) llegando a sobrepasar las 930 toneladas métricas de alimentos por año, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2022). La incursión de grandes empresas al sector agroalimentario, cambió el modelo de ciclo cerrado de manejo de desechos y provocó un incremento en la generación de residuos (Cervantes, 2021; Morales et al., 2021).

Si bien, un mayor grado de tecnificación resulta en niveles de productividad óptimos, también ocasiona grandes residuos de postcosecha; se calcula que los desechos agrícolas han tenido un incremento de cinco puntos porcentuales (Varma et al., 2015). Estos residuos, de acuerdo con la World Wide Fund for Nature (WWF, 2020) no solo se deben valorar por las pérdidas *per se*, sino que representan recursos naturales desperdiciados como agua, energía, desgaste del recurso suelo y, en algunos casos deforestación (Silvestri et al., 2022).

El desperdicio de alimentos es una realidad inevitable; sin embargo, gran parte de ellos, no son aptos para el consumo humano, como los epicarpios (cáscaras) de plátano y otros desechos que son proporcionados por las plantas (Engelberth, 2020). La gestión inapropiada de estos desechos y la falta de sensibilización ambiental, resultan en la aparición de problemas de contaminación (Oliveira et al., 2007; Villalba et al., 2011). Siendo que en realidad estos residuos se desestiman al dejarlos en los vertederos, ya que muchos de ellos, son una buena fuente de nutrientes que podría emplearse para la alimentación animal (Borras-Sandoval et al., 2017).

La economía circular puede promover el uso de materiales biodegradables que puedan ser reciclados y reutilizados con facilidad, de este modo se genera un sistema autosostenible (Shanmugam et al., 2021). Se pretende que el valor tanto económico, como ambiental se mantenga durante el tiempo, ya sea transformándolos en nuevos productos o reincorporándolos

al sistema (Den Hollander et al., 2017; Kalmykova et al., 2018; Park et al., 2023).

Una producción agroalimentaria orientada hacia la sostenibilidad y los modelos de economía circular (EC) es capaz de permitir la eficiencia de los recursos y la reducción de los impactos ambientales (Morales et al., 2021; Silvestri, 2022). Dentro de este sistema el modelo lineal con presencia de residuos es eliminado (Morales et al., 2021) y es sustituido por un circuito cerrado donde es necesario monitorear continuamente todos los recursos, verificando la preservación de la vida útil de cada uno de los productos (Den Hollander et al., 2017; Hernández-Pajares y Yagui-Nishii, 2021).

Al adoptar la EC en los sistemas agroproductivos, además de aliviar la presión en los recursos naturales, existen otros beneficios. A nivel empresarial se puede observar una disminución en sus costos operativos (Rivera-Acosta y Martínez-Torres, 2021) y la generación de empleo como lo mencionan tanto la International Labour Organization (ILO, 2018) como Gómez et al. (2023).

Sin embargo, autores como Betancourt-Morales y Zartha (2020) al igual que Porcelli y Martínez (2018) advirtieron que a nivel de América Latina se pueden presentar obstáculos culturales, sociales y políticos para su correcta implementación. En cuanto a la cultura, De Kock et al. (2020) demostraron que las personas no disminuyeron la producción de residuos para mitigar la carga al ambiente, sino por otros factores. Franco (2016) reportó que los ciudadanos desecharon principalmente los vegetales debido a sus hábitos alimenticios y culturales.

La aplicación de EC en un país, envuelve una transición completa que incluye desafíos sociales, económicos y ecológicos que requieren no únicamente voluntad sino también normas y regulaciones gubernamentales (Porcelli y Martínez 2018; Betancourt-Morales y Zartha, 2020; Vera-Acevedo y Raufflet, 2021; Ospina-Mateus et al., 2023). Según Portilla-Jiménez (2022) en Ecuador existe la normativa para la aplicación de EC, incluso en la Constitución de la República del Ecuador a través de los derechos otorgados a la naturaleza; sin embargo, aún no es suficiente.

En América Latina y el Caribe (ALC), la economía y el desarrollo social están fuertemente ligados a los recursos naturales, en muchos casos, esto ocurre a costa del ambiente natural (Delgado-Serrano et al., 2017). En Ecuador uno de los productos de cultivo más intensivo es el plátano. En el año 2020 hubo 515 empresas que se dedicaron al cultivo de bananos y plátanos que generaron aproximadamente 39 mil empleos como lo mencionó la Corporación Financiera Nacional (CFN, 2021).

La variedad de usos que se puede dar al plátano tanto como consumo alimenticio y de transformación por la industria proporcionan un aporte significativo en el desarrollo económico de Ecuador (Sánchez-Urdaneta et al., 2022). Es por ello, que este cultivo se convierte en un gran potencial dentro del sector agrícola ecuatoriano (Solano-Apuntes et al., 2022).

El cultivo de plátano, en general, es considerado por su fruto, pero también genera vastas cantidades de residuos de biomasa procedentes del tallo (pseudotallo) y los racimos (raquis), que se desechan en el campo (Vallejo y Muñoz, 2022). En algunos casos el raquis se queda en los lugares de transformación del fruto donde se establece su procesamiento para la exportación (Ramdhoney y Jeetah, 2017), generando un punto de contaminación.

Ayala et al. (2016) y Gómez et al. (2021) mencionaron que el residuo de la cosecha del plátano, conocido como raquis o en algunos otros países como pinzote, queda acumulado en los centros de acopio y mercados de productos agrícolas; los cuales pudiesen constituirse en un elemento contaminante del ambiente si no se realiza el tratamiento adecuado (Caicedo et al., 2020). Se calcula que se pierde cerca del 85% del cultivo de plátano (Gómez et al., 2021); en el mejor de los casos, estos residuos se utilizaron como abono orgánico (Oliveira et al., 2007).

Los desechos de postcosecha del plátano también proporcionaron una diversidad de usos, de las hojas, vástago y del pseudotallo por sus altos contenidos ricos en fibra, energía y celulosa, forjando una potencialidad para la industria dedicada a la transformación con miras hacia una nueva matriz productiva (Beltrón et al., 2018).

Una práctica común para los desechos orgánicos es la incineración, se transforman en abonos o se depositan en vertederos, en los tres casos se requieren grandes cantidades de energía (Wang et al., 2016; Shu-Yuan et al., 2021). Debido a esto, múltiples son las alternativas que se han investigado para dar un aprovechamiento al raquis de plátano, a través de diferentes procesos sean estos físicos, químicos, termoquímicos o biológicos (Gómez et al., 2023). Se han generado compuestos reforzados de fibras a partir del pseudotallo (Cadena et al., 2017), desde su uso con fines industriales como la utilización de pectinasas para la extracción de fibra a partir de residuos de platanera (Chauhan y Sharma, 2014); hasta su empleo en alimentación animal, particularmente rumiantes menores (cabras) (Chinea, 1999) y rumiantes mayores (bovinos) (Cruz y Gutiérrez, 2006).

De todos ellos, los procesos de fermentación biológica son una opción económica para mejorar la composición de nutrientes de los desechos agroindustriales (Chekwube-Enebe y Erasmus, 2023; Yafetto et al., 2023). El ensilaje es un método que se emplea para preservar alimentos durante las temporadas de cosecha y proporcionarlos en momentos de escasez. Este proceso conserva la calidad y el sabor de los alimentos a un costo reducido, lo que facilita el aumento de la cantidad de animales por hectárea o la sustitución y complementación de alimentos concentrados (Encalada et al., 2017).

Debido al fuerte interés del uso de residuos del plátano en la alimentación de rumiantes, se han desarrollado trabajos investigativos con diferentes partes del plátano, como es ensilaje de hojas y de vástago de plátano (Villalba et al., 2011), ensilaje de vástago de banano (Olivera et al., 2007), ensilaje de raquis de plátano (Olivera et al., 2007; Caicedo et al., 2020), y ensilaje de la cáscara de plátano (Adeniran et al., 2010), también en combinaciones como el ensilaje de piña con banano (Lazo-Salas et al., 2018), así como en esta investigación, donde se utilizó el raquis de plátano como ensilaje con fines de suplementación alimenticia de rumiantes.

Debido a la variedad de metodologías que pueden aplicarse, diferentes aditivos para el proceso de ensilaje y por la diversidad de materiales biológicos del plátano para ser utilizados como materia prima, es necesario continuar con las investigaciones de ensilaje de residuos del plátano para mejorar su aprovechamiento y la calidad nutricional como suplemento alimenticio. Es por ello, que el objetivo fue analizar la calidad bromatológica del ensilaje de raquis plátano con tres dosis de microorganismos lácticos durante la época seca del año 2021 con el fin de aplicar la economía circular a esta industria, proveer de una alternativa alimenticia en la época de mayor escasez de forraje (época seca) y conocer si la inclusión de microorganismos en mayor o menor proporción puede mejorar la calidad bromatológica del ensilaje permitiendo una mejor nutrición para los animales que lo consumen.

Materiales y métodos

La fase de campo se realizó en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, ubicada geográficamente a X 674882; Y 9971241, Km 3 de la vía El Carmen - Santo Domingo, cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador.

Preparación del ensilaje

Los raquis de plátano se recolectaron en el sitio Palmeras Unidas vía a la Raíz, el mismo día después de haber sido desechados y se trasladaron posteriormente hacia la granja experimental. Los raquis fueron lavados con agua potable y escurridos por 10 min. Posterior a eso se molieron en fresco con una picadora en una criba de 2 cm (Suárez et al., 2011).

Se utilizó polvillo de aserrín en una concentración del 6% como material secante por el alto contenido de humedad del raquis (Ayala et al., 2016). Como sustrato se agregó melaza (5%) la cual se trasladó a temperatura ambiente de 24 °C en galones plásticos (Castaño y Villa, 2017).

Se adicionó como inoculador SiloBacter®, que contenían bacterias ácido-lácticas *Pedococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum*, dichas bacterias proporcionaron un óptimo proceso fermentativo (Martínez-Fernández et al., 2014).

El llenado de ensilaje se realizó el mismo día después de su proceso de picado, utilizando como método de conservación el



silo de bolsa plástica de color negro con peso de 50 libras totales para cada silo.

El cierre y el almacenado se realizó bajo techo y protegido de la luz solar, comprimiendo todo el aire presente (Caicedo et al., 2013). Todos los silos se prepararon en una sola ocasión dejando un tiempo de preservación de 30 días, en total fueron cuatro tratamientos con tres repeticiones y los componentes de los tratamientos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos implementados en la investigación experimental.

Tratamientos	Descripción
T1	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (3,51 mL).
T2	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (2,34 mL).
T3	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%) + SiloBacter® (1,17 mL).
T4 (testigo)	Raquis (89%) + Melaza (5%) + polvillo de aserrín (6%).

Diseño experimental y procesamiento de datos

El análisis experimental fue un diseño completamente al azar (DCA), ya que es de gran utilidad en investigaciones agronómicas de experimentos realizados en laboratorios o en condiciones controladas. Los datos fueron analizados a través de las pruebas de significancia de Tukey al 5% (Mandeville, 2012). El estudio estadístico se realizó mediante el programa R versión 2021 y se analizaron los datos tomando en cuenta como principal parámetro la calidad bromatológica de los tratamientos.

Se estableció como variables dependientes las concentraciones (%) de fibra bruta (FB), cenizas, proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE) y extracto libre no nitrogenado (ELNN), según los procedimientos de la Association of Analytical Communities (AOAC, 2016). Por lo tanto, las variables independientes fueron las concentraciones de las bacterias ácido-lácticas.

Resultados y discusión

Existen varios procesos de transformación para aprovechar los residuos del plátano como transformación física, química o biológicas (Gómez et al., 2021), en el presente estudio se presentan los resultados de la transformación biológica del raquis de plátano.

Las variables bromatológicas se evaluaron después de 30 días de fermentación del ensilaje cumpliendo con el tiempo óptimo para obtener un ensilaje de calidad. Triana et al. (2014) enfatizaron que la fermentación del ensilaje fue más eficiente cuando se

realizaron con base de subproductos como cáscara de naranja y plátano de rechazo, este factor estaría relacionado con la mayor cantidad de carbohidratos solubles y la mayor cantidad de azúcares en las pectinas. A continuación, se exhiben la caracterización de cada una de las variables en la elaboración de ensilaje a partir del residuo orgánico de raquis de plátano.

Extracto libre no nitrogenado (ELNN)

El ELNN se refiere a la parte de un alimento que excluye cualquier componente que contenga nitrógeno, principalmente en carbohidratos no nitrogenados y lípidos (grasa). Con este parámetro se evaluó la energía disponible en la dieta de los animales, a través de los carbohidratos no fibrosos que se pueden convertir en una fuente energética para las especies que lo ingieren. Se observó que la dosis de 2,34 mL de bacterias ácido-lácticas reportó la concentración más alta (18,56%) de ELNN (tabla 2). Esta concentración fue aceptable como suplemento para alimentar a los rumiantes, valores superiores encontró Caicedo et al. (2020) reportando 34,80%. Si bien es cierto, que muchos alimentos proporcionan niveles altos de ELNN, cualquier aporte de dicho componente en la dieta de los animales, será beneficioso. Las diferencias en su contenido, puede variar por diversos factores como el origen de la materia prima, el manejo del cultivo o la edad del mismo.

Tabla 2. Concentración de extracto libre de nitrógeno.

Tratamientos	E.L.N.N
Testigo	13,24 ± 0,34 b
SiloBacter® (3,51 mL)	12,22 ± 0,34 b
SiloBacter® (2,34 mL)	18,56 ± 0,34 a
SiloBacter® (1,17 mL)	11,26 ± 0,34 b
Valor P	0,0070
CV (%)	13,97

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Según Zhongming et al. (2016) parte de la economía circular permite la reutilización y refabricación, de residuos. Bajo este concepto, el ensilaje de raquis se convierte en un suplemento alimenticio que permite reducir los vertederos o aglomeraciones en el campo donde queda depositada dicha biomasa.

Fibra cruda (FC)

El tratamiento testigo y la dosis más baja (1,17 mL) de bacterias ácido-lácticas reportaron las concentraciones más altas de fibra 64,04 y 64,01% respectivamente (tabla 3). La época seca y la baja dosis de bacterias ácido-lácticas probablemente intensificaron la concentración de fibra, lo que explicaría el contenido alto de dicha variable debido a una menor concentración de agua en el

raquis disminuyendo la absorción de nutrientes que permitieron la acumulación de proteína o energía ya que se usaron en el mantenimiento y desarrollo de la planta; así mismo, la mayor concentración de BAL ayudaría a la degradación de la fibra y por ende una disminución de la concentración de la misma.

Aguirre et al. (2016) enfatizaron que el menor consumo registrado en el ensilaje de maíz y alfalfa podría deberse al mayor contenido de fibra del ensilaje de maíz con el 30% de alfalfa utilizado en la alimentación de vacas. Se observó que a mayor dosis de bacterias ácido-lácticas se redujo la concentración de fibra del ensilado, esto podría deberse a la degradación de componentes estructurales por parte de los microorganismos lácticos (Morales et al., 2016).

Tabla 3. Porcentaje de fibra cruda del ensilaje de raquis de plátano.

Fibra	
Tratamientos	
Testigo	64,04 ± 0,22 a
SiloBacter® (3,51 mL)	55,54 ± 0,22 b
SiloBacter® (2,34 mL)	53,19 ± 0,22 b
SiloBacter® (1,17 mL)	64,01 ± 0,22 a
Valor P	0,0001
CV (%)	2,79

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Aun cuando la concentración de fibra en el ensilaje fue alta, se podría utilizar en dieta de búfalos, ya que poseen rusticidad propia, estos animales se derivan de mecanismos anatómicos, digestivos y fisiológicos que los hacen más eficientes que los bovinos y en consecuencia más resistentes en planos nutricionales bajos (Vale et al., 2013). Ensilaje con otros residuos han mostrado menor contenido de fibra cruda, por ejemplo, en el ensilaje de residuos de pulpa de café se reportaron porcentajes entre 18,09 y 19,47% (Encalada et al., 2017).

Concentración de proteína cruda (PC)

Se observaron diferencias significativas en la variable proteína, siendo la dosis más alta de bacterias ácido-lácticas (BAL) las que reportaron la mayor concentración de proteína (7,5%) (tabla 4). El incremento de proteína cruda en un material fermentado, como el ensilaje, puede ser atribuido a varios factores, que incluyeron desde el material inicial y los aditivos utilizados, principalmente BAL (Aguirre-Fernández et al., 2018). A medida que las bacterias se reprodujeron, pueden aumentar el contenido de proteína cruda debido a su propia composición celular rica en proteínas y debido a la inoculación, el desarrollo de estos microorganismos sería mucho más rápido y en mayores concentraciones.

Otros autores, como Caicedo et al. (2020) han reportado contenidos mayores de proteína cruda (14%) y anteriormente China (1999) reportó 13% en ensilaje de raquis de banano. Esto podría deberse a que el cultivo de banano se maneja de

forma más tecnificada, esto incluye el uso de fertilizantes, lo que también ayudaría a incrementar la concentración de proteína en las diferentes partes de la planta; si a dicho subproducto se suma la inoculación de BAL que ayudarían a mejorar la calidad del mismo, así como su propia estructura podrían incrementar dicho componente en el producto final posterior a la fermentación láctica.

Tabla 4. Concentración de proteína cruda del ensilaje de raquis de plátano.

Proteína	
Tratamientos	
Testigo	4,23 ± 0,12 d
SiloBacter® (3,51 mL)	7,5 ± 0,12 a
SiloBacter® (2,34 mL)	6,77 ± 0,12 b
SiloBacter® (1,17 mL)	5,13 ± 0,12 c
Valor p	<0,0001
CV (%)	3,51

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Sin embargo, ya han sido reportados contenidos de proteína inferiores también en el raquis de banano por Oliveira et al. (2007), cuyo valor alcanzó apenas el 2%. Autores como Villalba et al. (2011) encontraron valores diferentes de proteína dependiendo del material de plátano fermentado, por ejemplo, en hoja de plátano el porcentaje de proteína fue de 14,45% en contraste con el contenido de proteína encontrado en el ensilaje de vástago de plátano que llegó a apenas a 5,25%. Del mismo modo, con otros residuos como el café, Aguirre-Fernández et al. (2018) encontraron diferentes niveles de proteína dependiendo el aditivo utilizado, alcanzando un máximo de 18,1% cuando el café fue fermentado con una bebida fermentada (kumis), 15,9% cuando fueron utilizados microorganismos eficientes y el nivel más bajo cuando no fue utilizado ningún aditivo que llegó a 13,5%. Lazo-Salas et al. (2018) sugirieron ensilajes con valores de proteína cruda en los niveles obtenidos en esta investigación deben ser suplementados para alcanzar el desarrollo bacteriano adecuado para una correcta digestión de la fibra.

Concentración de extracto etéreo y ceniza

La concentración de extracto etéreo (grasa) y ceniza en la alimentación de rumiantes puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo el tipo de forraje, el estado fisiológico del animal, y los objetivos de producción. Es recomendable que estos dos parámetros estén en cantidades equilibradas para satisfacer sus necesidades nutricionales específicas. En el presente estudio los mayores valores obtenidos para extracto etéreo y ceniza fueron con la dosis más alta de BAL alcanzando el 7,31% para extracto etéreo y 17,37% para ceniza (tabla 5). Estas concentraciones fueron inferiores a las reportadas por Oliveira et al. (2007) que encontraron 26,8% de ceniza en el raquis de banano. Pyar y Peh (2018) reportaron una mayor concentración de E.E. de banano en estado natural (19,20 %).



Tabla 5. Concentración de ceniza y extracto etéreo del ensilaje de raquis de plátano.

	Ceniza	Extracto etéreo
Tratamientos		
Testigo	12,95 ± 0,08 b	5,48 ± 0,33 b
SiloBacter® (3,51 mL)	17,37 ± 0,08 a	7,31 ± 0,33 a
SiloBacter® (2,34 mL)	16,04 ± 0,08 a	5,38 ± 0,33 b
SiloBacter® (1,17 mL)	14,02 ± 0,08 b	5,01 ± 0,33 b
Valor P	0,0001	0,0003
CV (%)	4,69	8,10

Letras iguales no difirieron según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

El incremento en los contenidos de cenizas y EE se debería a la inclusión de aditivos en el ensilado (sal mineral, suero de leche y melaza) (Borras-Sandoval et al, 2017). Las bacterias ácido lácticas permitieron reducir el contenido de metabolitos secundarios del ensilaje como alimento y consecuentemente, se obtuvieron mejoras en el aprovechamiento de los nutrientes (Caicedo et al., 2017). Aunque las cantidades reportadas por los autores mencionados difirieron, es importante mencionar que las necesidades de extracto etéreo y ceniza pueden variar según la especie de rumiante (por ejemplo, vacas, ovejas y cabras), su estado fisiológico (gestación, lactancia y crecimiento) y el objetivo de producción (carne, leche y lana).

Independientemente de la metodología y los aditivos utilizados, el ensilaje de raquis permitió generar un alimento de notable calidad nutritiva para su empleo en la dieta de rumiantes. Cruz-Hernández y Gutiérrez-Fernández (2006) reportaron una mayor ganancia de peso y mayor eficiencia alimentar en bovinos alimentados con una combinación de banano y ensilado de raquis en proporción 50:50, cuando lo compararon con la alimentación de solo zacate Taiwán.

Además, el aprovechamiento del raquis fue una estrategia eco-inteligente que permitió disminuir el daño ambiental (Morató et al., 2017). También, al emplear estas nuevas estrategias como ensilar el raquis de plátano, se reincorporó como materia prima a la cadena de valor, reduciendo de manera favorable los residuos agroindustriales (Macay et al., 2023). Sin embargo, se debe tener cuidado a momento de implementar estrategias aisladas de EC, ya que puede ser que se alcance un nivel alto de cumplimiento en prácticas de EC, y al mismo tiempo no se certifican mejoras en los indicadores ambientales (Hernández-Pajares y Yagui-Nishii, 2021).

Conclusión

El análisis de la calidad bormatológica del ensilaje de raquis de plátano presentó una mejor calidad nutritiva de extracto libre

de nitrógeno, fibra, ceniza, EE y proteína con la dosis más alta de bacterias ácido-lácticas. El modelo de economía circular en el manejo del raquis con inclusión de BAL dentro del cultivo de plátano contribuye de forma positiva en la conservación del ambiente, mejorando el aprovechamiento de subproductos en lugar de generar residuos, así como en la conservación de alimentos para rumiantes para las épocas de estiaje permitiendo en ambos casos mejorar los ingresos de los agricultores, así mismo, posibilita el cierre del ciclo de los nutrientes y la aplicación de economía circular en esta industria.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

- Adeniran, H., Abiose, S. and Ogunsua, A. (2010). Production of fungal β -amylase and amyloglucosidase on some Nigerian agricultural residues. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 693-698. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-008-0141-3>
- Aguirre, L., Cevallos, Y., Herrera, R. y Escudero, G. (2016). Utilización de ensilaje de maíz y alfalfa en la alimentación de ovinos mestizos en pastoreo. *Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia*, 6(1). <https://ibit.ly/WKFvG>
- Aguirre-Fernández, P. A., Acosta-Pinto, L. M., Cardozo-Corzo, L. D., Rodríguez-Arenas, S. A. and Corredor-Sánchez, G. A. (2018). Nutritional evaluation of silage with coffee (*Coffea arabica* L.) cherry for ruminant supplementation. *Acta Agronómica*, 67(1), 326-332. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.66563>
- AOAC (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International. <https://ibit.ly/Ybiy2>
- Ayala, L., Martínez, M., Castro, M., García, A., Delgado, E. J., Caro, Y. y Ly, J. (2016). Composición química del raquis de racimos de plátano (*Musa paradisica*) y aceptabilidad como alimento para cerdos en ceba. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 23(2), 79-86. <https://ibit.ly/rqf2p>
- Beltrón, C., Sánchez, A. y Ortiz, M. (2018). El fortalecimiento de la comercialización del plátano mediante formas asociativas. Caso de estudio el cantón el Carmen de la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1(3), 13-69 <https://ibit.ly/0uiU8>
- Betancourt-Morales, C. M. and Zartha, J. W. (2020). Circular economy in Latin America: A systematic literature

- review. *Estrategia Empresarial y Medio Ambiente*, 29(6), 2479-2497. <https://doi.org/10.1002/bse.2515>
- Borras-Sandoval, L., Valiño, E. y Elías-Iglesias, A. (2017). Evaluación del efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de papa (*Solanum tuberosum*) inoculado con preparado microbial. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 18(8), 1-16. <https://ibit.ly/vxNGe>
- Cadena, E. M., Vélez, J., Santa, J. F. and Otálvaro, G. V. (2017). Natural fibers from plantain pseudostem (*Musa paradisiaca*) for use in fiber-reinforced composites. *Journal of Natural Fibers*, 14(5), 678- 690. <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1266295>
- Caicedo, Q., Rodríguez, B. y Valle, R. (2013). Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china *Colocasia esculenta* conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(1), 1-10. <https://ibit.ly/4da6s>
- Caicedo, W., Rodríguez, R., Lezcano, P., Ly, J., Vargas, J. C., Uvidia, H. y Flores, L. (2017). Digestibilidad rectal de nutrientes en cerdos de crecimiento ceba, alimentados con ensilaje de taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3). <https://ibit.ly/uhRX5>
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Alves Ferreira, F. N., Rubio, G., Yanza, R. y Motta-Ferreira, W. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19035>
- Castaño, G. and Villa, L. (2017). Use of whey and molasses as additive for producing silage of Cuba OM-22 (*Cenchrus purpureus* x *Cenchrus glaucum*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 51(1), 61-70. <https://ibit.ly/hJyFi>
- Cervantes, G. (2021). Transitando a la economía circular en el sector agropecuario: granjas experimentales en Guanajuato, México. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 7, 45-66.
- Chauhan, S. y A. Sharma (2014). Utilization of Pectinases for Fiber Extraction from Banana Plant's Waste. *International Journal of Waste Resources*, 4, 1-8. <https://ibit.ly/Qz6QK>
- Chekwube-Enebe, M. and Erasmus, M. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345, 118585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
- Chinea, E. (1999). Estudio del ensilado del raquis de banana (*Musa acuminata* Colla, subgrupo Cavendish) para la alimentación del ganado caprino en las Islas Canarias. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 16(3), 291-305. https://ibit.ly_fitA
- Corporación Financiera Nacional (CFN). (2021). Ficha sectorial banano y plátano. <https://ibit.ly/Qz6QK>
- Cruz-Hernández, J. y Gutiérrez-Fernández, G. (2006). Alimentación de bovinos con ensilado de mezclas de banano de rechazo y raquis en diferentes proporciones. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(3), 29-40. <https://ibit.ly/vUnf8>
- De Kock, L., Sadan, Z., Arp, R. and Upadhyaya, P. (2020). A circular economy response to plastic pollution: Current policy landscape and consumer perception. *South African Journal of Science*, 116(5), 1-3. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/8097>
- Delgado-Serrano, M., Mistry, J., Matzdorf, B. and Leclerc, G. (2017). Community-based management of environmental challenges in Latin America and the Caribbean. *Ecology and Society*, 22(1). <https://ibit.ly/m3Mb8>
- Den Hollander, M., Bakker, C. and Hultink, E. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
- Domínguez, D. A., Florian, G., Ying, Z. and Ardestani-Jaafari, A. (2023). Allocation methods in life cycle assessments (LCAs) of agri-food co-products and food waste valorization systems: Systematic review and recommendation. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138488. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138488>
- Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., y Quichimbo, A. (2017). Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 71-82. <https://ibit.ly/rFzV>
- Engelberth, A. (2020). Evaluating economic potential of food waste valorization: Onward to a diverse feedstock biorefinery Current. *Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 26, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100385>
- Franco, E (2016). El desperdicio de alimentos: una perspectiva desde los estudiantes de Administración de Empresas del UPS Guayaquil. *Retos*, 6(11), 53-64. <https://doi.org/10.17163/ret.n11.2016.04>
- Gómez, J. A., Matallana, L. G., Teixeira, J. A. and Sánchez, Ó. J. (2023). A framework for the design of sustainable multi-input second-generation biorefineries through process simulation: A case study for the valorization of lignocellulosic and starchy waste from the plantain agro-industry. *Chemical Engineering Research and Design*, 195, 551-571. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.004>



- Gómez, J., Sánchez, Ó. y Matallana, L. (2021). Procesos de transformación: perspectiva de aprovechamiento para los residuos de la agroindustria del plátano. *Producción Limpia*, 16(1), 6-30. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a1>
- Hernández-Pajares, J. y Yagui-Nishii, V. (2021). Análisis de información y factores de desempeño ambiental y de economía circular en empresas peruanas. *Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 12(1), 37-52. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.12.1.481>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Boletín técnico: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. [Boletín técnico ESPAC_2022\[1\].pdf](#).
- International Labour Organization (ILO). (2018). *World employment and social outlook 2018: Greening with jobs*. <https://ibit.ly/cE71S>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M. and Rosado, L. (2018). Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. Resources, conservation and recycling. *Sustainable Resource Management and the Circular Economy*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Lazo-Salas, G. J., Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C. M., Zumbado-Ramírez, C. y López-Herrera, M. (2018). Caracterización fermentativa y nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con guineo cuadrado *Musa* (ABB) I. Parámetros fermentativos, análisis bromatológico y digestibilidad *in vitro*. *Nutrición Animal Tropical*, 12(1), 59-79. <https://doi.org/10.15517/nat.v12i1.33847>
- Macay Anchundia, M. Á., Cedeño Moreira, A. A., Zambrano Mendoza, M. E. e Intriago Vera, J. V. (2023). Uso de raiquis de plátano (*Musa* AAB) para la producción de ensilaje como estrategia de economía circular. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 4848-4862. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8074
- Mandeville, P. (2012). Diseños experimentales. *CIENCIA-UANL*, 15(57), 151-155.
- Martínez-Fernández, A., Argamentería-Gutiérrez, A. y Roza-Delgado, B. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. *Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias*. <https://ibit.ly/IqT16>
- Morales, A., Rodríguez, R., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S., y Sarduy, L. (2016). Evaluación de la inclusión de VITAFERT en el valor nutritivo de ensilajes de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum purpureum*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(4), 619630. <https://ibit.ly/SPgbd>
- Morales, D., Condori, A. y Torres, D. (2021). Aplicación de la economía circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*). *Acta Nova*, 1(10), 42-60.
- Morató, J., Jiménez, L. y Tollin, N. (2017). Situación y evolución de la economía Circular en España. *Fundación COTEC para la Innovación*. <https://ibit.ly/Ud0iU>
- Oliveira, L., Cordeiro, N., Evtuguin, D. V., Torres, I. C. and Silvestre, A. J. D. (2007). Chemical composition of different morphological parts from 'Dwarf Cavendish' banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural products. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 163-172.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2020). *Pasando de pérdidas a soluciones en América Latina y el Caribe*. <https://ibit.ly/gIR8k>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2022). *Faostat: Food and agriculture data*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>.
- Ospina-Mateus, H., Marrugo-Salas, L., Castilla, L. C., Castellón, L., Cantillo, A., Bolívar, L. and Zamora-Musa, R. (2023). Analysis in circular economy research in Latin America: A bibliometric review. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19999>
- Park, S., Song, J., Lee, W. C., Jang, S. H., Lee, J., Kim, J. and Min, K. (2023). Advances in biomass-derived electrode materials for energy storage and circular carbon economy. *Chemical Engineering Journal*, 470, 144234. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144234>.
- Porcelli, A. y Martínez, A. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Direito GV*, 14(3), 1-6. <https://doi.org/10.1590/2317-6172201840>
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del marco normativo de economía circular en Ecuador orientado al sector de los plásticos. FIGEMPA. *Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38-47. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Pyar, H. and Peh, K. (2018). Chemical compositions of banana peels (*Musa sapientum*) fruits cultivated in Malaysia using proximate analysis. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 1(222), 108-111. <https://ibit.ly/VDcRf>

- Ramdhonee, A. y Jeetah, P. (2017). Producción de papel de regalo a partir de fibras de plátano. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 5(5), 4298-4306.
- Rivera-Acosta, P. y Martínez-Torres, R. (2021). Articulación de los objetivos de desarrollo sostenible con el paradigma de la economía circular. *Investigación y Desarrollo*, 2(1), 178-194. <https://doi.org/10.14482/indes.29.1.333.7>
- Sánchez-Urdaneta, A. B., Zambrano, R. C., Chica, S. T., Vásquez, L. A., Urdaneta, D. y Batista, R. M. (2022). Emergencia y crecimiento inicial de hijos de plátano “barraganete” (*Musa AAB*), en El Carmen, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(1), 59-64., <https://ibit.ly/j5pUb>
- Shanmugam, V., Mensah, R. A., Försth, M., Sas, G., Restás, A., Addy, C. and Ramakrishna, S. (2021). Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100138>.
- Shu-Yuan, P., Sai, C., Liu, C., Wang, S. W., Kim, H. and Fan, C. (2021). Anaerobic co-digestion of agricultural wastes toward circular. *iScience*, 24(7), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102704>.
- Silvestri, L., Silvestri, C., Forcina, A. and De Luca, C. (2022). A review of energy-based indicators for assessing sustainability and circular economy in the agri-food production. *Procedia Computer Science*, 200, 1756-1765.
- Solano-Apunte, A., Ponce-Saltos, W. y Zambrano-Gavilanes, F. (2022). Biodigestión anaeróbica de residuos de musáceas. *Biotiempo*, 19(1), 23-31. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4803>
- Suárez, R., Mejía, J., González, M., García, D. E. y Perdomo, D. A. (2011). Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos. *Pastos y Forrajes*, 34(1), 69-85. <https://ibit.ly/W277E>
- Triana, E., Leal, F., Campo, Y. y Lizcano, H. (2014). Evaluación de ensilaje a partir de dos subproductos agroindustriales (cáscara de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Revista de Alimentos Hoy*, 22(31), 33-45. <https://ibit.ly/HY-L1>
- Vale, W. G., Minervino, A. H., Neves, K. A., Morini, A. and Coelho, J. A. (2013). Buffalo under threat in Amazon Valley Brazil. *Buffalo Bulletin*, 32(1), 121-131. <https://ibit.ly/haErJ>
- Vallejo, M. y Muñoz, L. (2022). Identificación de usos potenciales para el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de beneficio del plátano (*Musa paradisiaca*) var. Hartón. *Boletín Informativo*, 9(2), 181-188. <https://ibit.ly/3ueLg>
- Varma, V., Yadav, J., Das, S. and Kalamdhad, A. S. (2015). Potential of waste carbide sludge addition on earthworm growth and organic matter degradation during vermicomposting of agricultural wastes. *Ingeniería Ecológica*, 83, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.050>
- Vera-Acevedo, L. y Raufflet, E. (2021). Análisis de la estrategia nacional de economía circular de Colombia a partir de dos modelos. *Estudios Políticos*, 64(1), 27-52. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n64a02>
- Villalba, D. K., Holguín, V. A., Acuña, J. A. y Piñeros Varón, R. (2011). Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 47-52. <https://ibit.ly/9QC6s>
- Wang, B. Dong, F., Chen, M., Zhu, J., Tan, J., Fu, X. and Chen, S. (2016). Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. *Procedia Environmental Science*, 31, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.002>
- World Wide Fund for Nature (WWF). (2020). Estamos devorando nuestro planeta: Primer día internacional de concienciación sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos. <https://www.wwf.org.ec/?364845/desperdicioalimentos#:~:text=En%20el%20Ecuador%20se%20desperdician, donde%20m%C3%AAs%20se%20desperdicia%20alimentos>.
- Yafetto, L., Odamtten, G. and Wiafe-Kwagyan, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>
- Zhongming, Z., Zhu, J., Tan, J., Fu, X. and Chen, S. (2016). Circular economy in Europe -Developing the knowledge base. En: *Luxemburgo: Agencia Europea de Medio Ambiente*. <https://ibit.ly/wAG4N>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Roxanna Patricia Palma-León: análisis formal, redacción-borrador original. **Miguel Ángel Macay-Anchundia:** conceptualización, supervisión, validación, metodología, redacción-revisión y edición. **Verónica Carolina Cevallos-López:** metodología, análisis formal, redacción-revisión y edición. **Angelica Nicole Cuzme-Figueroa:** metodología, investigación, redacción-borrador original. **Leonardo Enrique Avellán-Vásquez:** análisis formal, redacción-borrador original, metodología.





Validación del programa informático Kinovea® para la obtención de medidas zoométricas en cerdos: Comparación con métodos tradicionales

Validation of the Kinovea® software program for obtaining zoometric measurements in swine: Comparison with traditional methods

Autores

¹**Andreina Monserrate Cedeño-Muñoz**

✉ andreina.cedenom@espam.edu.ec

^{1*}**Arianna Abigail Rivera-González**

✉ arianna.rivera@espam.edu.ec

²**Carlos Octavio Larrea-Izurrieta**

✉ clarrea@espam.edu.ec

¹Estudiante de la Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), Calceta, Ecuador.

²Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL), Calceta, Ecuador

Citación sugerida: Cedeño-Muñoz, A. M., Rivera-González, A. A. y Larrea-Izurrieta, C. O. (2024). Validación del programa informático Kinovea® para la obtención de medidas zoométricas en cerdos: Comparación con métodos tradicionales. *La Técnica*, 14(2), 127-131. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6912>

Recibido: Agosto 12, 2024

Aceptado: Septiembre 18, 2024

Publicado: Noviembre 15, 2024

Resumen

La zoometría ha demostrado ser una herramienta valiosa para diferenciar individuos tanto dentro como entre poblaciones. El objetivo de este estudio fue validar el uso del programa informático Kinovea® V2023.1.1 (KV) para obtener medidas zoométricas. Se utilizaron 50 cerdas mestizas (Duroc x Landrace x Yorkshire) con más de ocho meses de edad, se midieron siete variables morfométricas con tres zoómetros de bastón, se tomaron fotografías en plano lateral para evaluar las medidas morfométricas en KV y se utilizó la alzada a la cruz como medida de referencia para calibrar el KV. Se aplicó la prueba T de Student independiente y no se encontró diferencia significativa ($P>0,05$) entre los dos métodos utilizados. Los resultados de medidas manuales por zoómetros de bastón fueron: alzada a la cruz $75,9 \pm 4,85$ cm, grupa $81,14 \pm 5,25$ cm y nacimiento de cola $73,2 \pm 5,35$ cm; diámetros longitudinales $106,9 \pm 8,44$ cm y dorso esternal $42,7 \pm 4,07$ cm; longitud de la cabeza $31,38 \pm 3,69$ cm y grupa $34,66 \pm 4,08$ cm. Los resultados de medidas obtenidas con KV fueron similares: alzada a la cruz $75,9 \pm 4,85$ cm, grupa $82,24 \pm 6,11$ cm, nacimiento de cola $74,50 \pm 6,26$ cm; diámetros longitudinales $108,87 \pm 11,46$ cm y dorso esternal $44,07 \pm 4,78$ cm; longitud de la cabeza $31,00 \pm 5,10$ cm y grupa $34,89 \pm 3,87$ cm. Se concluye que el uso de Kinovea® es factible para la obtención de medidas corporales en cerdos sin recurrir a métodos invasivos y que provoquen estrés al animal.

Palabras clave: biometría; fotogrametría; biomecánica; zootécnica; calibración.

Abstract

Zoometry has proven to be a valuable tool for differentiating individuals within and between populations. The objective of this study was to validate the use of the Kinovea® V2023.1.1 (KV) software to obtain zoometric measurements. 50 crossbred sows (Duroc x Landrace x Yorkshire) aged over eight months were used, seven morphometric variables were measured with three stick zoometers and photographs were taken in the lateral plane to evaluate the morphometric measurements in KV and the rear elevation was used as a reference measurement to calibrate the KV. The independent Student's T test was applied and no significant difference ($p>0.05$) was found between the two methods. The results of manual measurements by cane zoometers were: height at the withers 75.9 ± 4.85 cm, rump 81.14 ± 5.25 cm and tail rise 73.2 ± 5.35 cm; longitudinal diameters 106.9 ± 8.44 cm and sternal dorsum 42.7 ± 4.07 cm; head lengths 31.38 ± 3.69 cm and rump 34.66 ± 4.08 cm. The results of measurements obtained with KV were similar: height at withers 75.9 ± 4.85 cm, rump 82.24 ± 6.11 cm, tail rise 74.50 ± 6.26 cm; longitudinal diameters 108.87 ± 11.46 cm and sternal dorsum 44.07 ± 4.78 cm; head lengths 31.00 ± 5.10 cm and rump 34.89 ± 3.87 cm. It is concluded that the use of Kinovea® is feasible to obtain body measurements in pigs without resorting to invasive methods that cause stress to the animal.

Keywords: biometry; photogrammetry; biomechanics; zootechnics; calibration.



Introducción

Los cerdos (*Sus scrofa domesticus*) son animales que desempeñan un papel fundamental dentro de la producción pecuaria, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2024) en Ecuador en el año 2023 se estimó una población de 983.999 cabezas de ganado porcino, distribuidos por regiones con 67,89% en la Sierra, 28,54% en la Costa y 3,57% en la región Amazónica; la provincia de Manabí ocupa el primer lugar en la región Costa y el tercer lugar a nivel nacional con 9,61% después de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas e Imbabura con 17,74% y 12,41%, respectivamente.

La zoometría porcina es conocida como la rama de la zootecnia que estudia la medición de diferentes regiones corporales de los cerdos, estas medidas pueden ser cualitativas o cuantitativas y a partir de estos datos se pueden obtener los diferentes índices zoométricos (Armijos-Tituana et al., 2022; Estrada-León et al., 2023). Por esta razón la caracterización morfométrica del ganado porcino es una parte crucial en la preservación de los recursos zoogenéticos, ya que los datos que se obtienen a partir del conocimiento de las características de una población permitirán distinguirla de otras, destacando los valores distintivos que le confieran a dicha población características singulares (Olmedo et al., 2021).

Tradicionalmente, las mediciones corporales de los animales se han realizado manualmente utilizando diversos instrumentos, uno de estos es el zoómetro de bastón, aunque su uso es sencillo, el contacto forzado con el animal no está exento de dificultades, riesgos e inconvenientes (Ribas et al., 2023). Estos desafíos incluyen los riesgos de lesiones a los trabajadores y animales por el contacto con estructuras de retención, estrés inducido en el animal evaluado y errores de medición debido al movimiento continuo del mismo (Salamanca-Carreño et al., 2022).

Por otra parte, investigaciones realizadas por Contino-Esquiveros et al. (2017) y Hernández et al. (2020) enfatizaron que los avances tecnológicos han revolucionado la forma en que se abordaban la salud y el bienestar de los animales, obteniendo desde diagnósticos más precisos hasta terapias innovadoras, con la aplicación de un programa informático, en el cual se puede evaluar características físicas de un animal permitiendo analizar distancias, ángulos, coordenadas y parámetros espacio-temporales.

En los últimos años, varios estudios publicados corroboraron que las técnicas fotogramétricas proporcionaron datos exactos y precisos en comparación con el objeto o realidad que se analizó; Salazar-Vidal et al. (2012) mencionaron su uso en caballos a través del software PhotoModeler®, el cual permitió mediciones

precisas y de alta calidad a partir de fotografías; por su parte, Torres-Pérez et al. (2016) usaron el programa informático TEMA® que también permitió hacer videogrametría, el cual requirió la compra de la licencia para su uso. De igual manera, Gaudioso et al. (2014) destacaron que estas técnicas permitieron realizar mediciones más precisas en menos tiempo y almacenar datos para futuras consultas, mejorando la fiabilidad de la zoometría. Además, ofrecieron ventajas operativas y económicas, y redujeron el estrés en los animales durante las mediciones.

De acuerdo a Torres-Pérez et al. (2016) el programa informático Kinovea® V2023.1.1 (KV), es una aplicación de acceso libre, gratuito y de código abierto, utilizado específicamente para el análisis del gesto y técnica deportiva, empleada en su mayoría por entrenadores deportivos y en el caso de los animales ha sido aplicado para explorar, cuantificar y analizar la morfometría, biomecánica y locomoción. Por lo tanto, la aplicación de técnicas fotogramétricas representa una herramienta que permite obtener medidas morfométricas en cualquier especie animal sin someter al animal demasiado tiempo y evita el estrés de estos. Con lo expuesto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad del KV en la obtención de medidas zoométricas en cerdos.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en dos explotaciones porcícolas en el cantón Bolívar, provincia de Manabí, la primera en la Unidad de Docencia, Investigación y Vinculación, Hato Porcino de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ubicada en El Limón, parroquia Calceta, con coordenadas 00°49'27,9" S y 80°10'47,2" O, a 15 msnm, donde se evaluaron 35 animales y la segunda en la Granja "Nueva York", ubicada en la parroquia Quiroga, con coordenadas 0°46'50"S y 80°8'59"O a 100 msnm donde se evaluaron los 15 animales restantes, todas las cerdas fueron de mestizaje Duroc x Landrace x Yorkshire mayores de ocho meses de edad.

La investigación fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo. Se utilizaron zoómetros de bastón de aluminio de diferentes tamaños contruidos de forma artesanal de 2,00 m (bastón largo), 1,20 m (bastón mediano) y 0,80 m (bastón corto). Los animales seleccionados se sujetaron con un lazo metálico para controlar el movimiento constante y mejorar la postura del animal sobre un piso de cemento para evitar variabilidad en la posición y distorsión en la toma de medida y fotografía, una vez que el animal se tranquilizó se procedió a tomar las medidas morfométricas con los correspondientes zoómetros de bastón y se obtuvieron las respectivas fotografías del plano lateral, las cuales fueron tomadas mediante una cámara Nikon D3300® que permitió obtener una mayor resolución de imagen, colocada con

un trípode sobre un piso de cemento a una altura de 50 cm del suelo y a 2 m de distancia del animal en un espacio iluminado.

Se registró en una hoja individual, las medidas de las siete variables morfométricas, las mismas que fueron definidas por Arredondo et al. (2021) y Esmeraldas et al. (2023) y, clasificadas de acuerdo al uso de los zoometros de bastón.

Con el zoometro corto, se midieron la longitud de la grupa (LGR) distancia entre la punta del anca y punta de la nalga (tuberosidades ilíacas externas); y longitud de cabeza (LCZ) desde la protuberancia occipital externa hasta la punta del hocico; con el zoometro mediano se midió la alzada a la cruz (ALC) distancia vertical entre el suelo hasta el punto más culminante de la cruz del animal; alzada a la grupa (ALG) distancia vertical entre el suelo hasta el punto de unión de la región de los lomos con la grupa (tuberosidad ilíaca externa); alzada al nacimiento a la cola (ANC) distancia que existe entre el suelo y la base de la implantación de la cola; diámetro del dorso-esternal (DDE) distancia entre el punto de mayor declive de la cruz y el punto mayor de la curvatura del esternón, y finalmente con el zoometro largo se midió el diámetro longitudinal (DL) distancia desde la articulación escapulo humeral hasta la punta de la nalga.

Posterior al registro de las medidas manuales y su respectiva fotografía en plano lateral; se procedió a tabular y ordenar los datos obtenidos junto con la información obtenida con los zoometros en una hoja de cálculo en Excel 2016. Paralelo a esto, se importaron las fotografías al KV, obtenidas anteriormente y se calibró el programa considerando la medida ALC de cada animal de forma manual, debido a que se refiere a una característica morfológica altamente estable en comparación con otras medidas corporales, adecuada para distinguir diferencias o similitudes entre cerdos de diferentes orígenes (Revidatti, 2009; Sañudo, 2009), una vez calibrado en función de la ALC, se procedió a ubicar los puntos anatómicos en la fotografía y a medir entre los mismos que correspondieron a cada variable morfométrica de interés y se registraron en la misma hoja de cálculo con las medidas manuales para su análisis.

Se aplicaron los estadísticos descriptivos de promedio, desviación estándar, valores máximos y mínimos y coeficiente de variación de cada variable para cada tipo de medición, se comprobaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Sin embargo, aun cuando algunas variables no cumplieron con al menos uno de los supuestos, se aplicó la prueba de T de Student para muestras independientes considerando lo explicado por Zimmerman (1998) quien señaló que los métodos no paramétricos no siempre constituyen sustitutos aceptables de los métodos paramétricos como la prueba de T de Student cuando no se satisfacen los supuestos paramétricos. Los datos se corrieron en el paquete estadístico InfoStat (2020).

Resultados y discusión

El promedio de edad de las hembras analizadas fue de $13,5 \pm 5,18$, las cuales presentaron variaciones entre 6,39 y 11,29% para las

medidas manuales y entre 6,39 y 12,88% con KV, mostrando un grado moderado de uniformidad entre las variables. Se consideró que si en una población de estudio las variables morfológicas presentaron un coeficiente de variación (CV) inferior al 5%, la variabilidad fue baja, lo que sugirió una alta homogeneidad en la población, si el CV estuvo entre el 5 y el 15%, la población mostró un grado moderado de uniformidad, mientras que un CV superior al 15% indicó una variabilidad alta en la muestra analizada (Salamanca-Carreño et al., 2022).

Tabla 1. Descripción de los valores de las variables y coeficientes de variación.

Variable	Manual					Programa informático Kinovea®					P-valor
	Media (cm)	D E (cm)	C V (%)	Min (cm)	Max (cm)	Media (cm)	D E (cm)	C V (%)	Min (cm)	Max (cm)	
ALC	75,90	4,85	6,39	65,00	85,00	75,90	4,85	6,39	65,00	85,00	-
ALG	81,54	5,87	7,20	68,00	95,00	83,74	6,91	8,26	69,57	97,78	0,0902
ANC	73,30	5,10	6,96	64,00	82,00	75,30	6,32	8,39	61,89	85,05	0,0895
DL	106,90	8,44	7,90	87,00	125,00	108,87	11,46	10,53	86,49	131,89	0,3300
DDE	42,70	4,07	9,54	35,00	52,00	44,08	4,78	10,85	31,48	55,09	0,1236
LCZ	31,38	3,69	11,76	25,00	42,00	31,00	5,10	16,44	20,64	44,72	0,6744
LGR	34,66	4,08	11,77	26,00	43,00	34,89	3,87	11,09	26,22	46,94	0,7715

Abreviaturas: ALC= alzada cruz; ALG= alzada grupa; ANC= alzada al nacimiento de la cola; DL= diámetro longitudinal; DDE= diámetro del dorso-esternal; LCZ= longitud de la cabeza; LGR= longitud de la grupa; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Max= valor máximo; p-valor= valor de probabilidad.

La mayor variación se encontró en la variable LCZ y LGR en ambos tipos de mediciones, similar comportamiento de las variables se encontró en un estudio de cerdos criollos en la provincia de Loja (Armijos-Tituana et al., 2022) y se observó que estas variables presentaron mayor variación en comparación a las demás medidas zoométricas. Se adujo que se presentó esta variación entre los animales estudiados por la proporción racial que constituyó el mestizaje de cada animal, ya que la distancia entre algunos puntos anatómicos fue propia de cada raza y por efecto genético, algunos de los caracteres morfométricos se expresaron de acuerdo a la forma y tamaño variado en el mestizaje.

Se observó al comparar los promedios de cada variable entre ambos tipos de medición que no hubo diferencias significativas ($P>0,05$), ya que no arrojaron evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, en la que se asumió que las mediciones realizadas de forma manual y a través de KV fueron iguales. Estos resultados presentaron analogía con el estudio de Salazar-Vidal et al. (2012) que demostraron que el uso de un programa informático de análisis de fotografía ofreció mediciones precisas y confiables de la morfología animal, con mínimas discrepancias en comparación con las mediciones manuales.

En este estudio, la media de alzada a la cruz fue de $75,90 \pm 4,85$ cm, comparable, aunque superior a la media reportada por Hernández et al. (2020) para el cerdo Pelón Mexicano de Yucatán con 59,57 cm en hembras. Por ser la ALC la variable de referencia para calibrar el KV. Las mediciones manuales



de la alzada a la grupa mostraron una media de $81,14 \pm 5,25$ cm mientras que con KV® la media fue ligeramente superior $82,42 \pm 6,11$ cm comparando con estudios previos, Arredondo et al. (2021) reportaron una media de 61,3 cm para el cerdo colombiano, Escobar (2012) encontró 35,1 cm para el cerdo criollo ecuatoriano y Jáuregui-Jiménez (2017) obtuvo 50,8 cm para el cerdo guatemalteco.

Las mediciones manuales de la alzada al nacimiento de la cola mostraron una media de $73,2 \pm 5,35$ cm y con KV la media fue de $74,56 \pm 6,22$ cm; estos resultados son levemente superiores a los reportados por Anchundia (2023), en los cantones de Bolívar y Junín, una media de $58,33 \pm 5,68$ cm. El diámetro longitudinal en los cerdos estudiados mostró una media de $109,8 \pm 4,47$ cm con un rango de 87 cm a 125 cm. Las mediciones obtenidas con KV® resultaron en una media ligeramente mayor, de $110,84 \pm 4,89$ cm y un rango de 86,49 cm a 131,89 cm. Estos resultados fueron inferiores a los obtenidos por Montenegro (2012) para cerdos Pampa Rocha de Uruguay, con promedio de 99 cm para machos y 102 cm en hembras.

El resultado del diámetro dorso esternal obtenido manualmente tuvo una media de $42,7 \pm 4,07$ cm mientras que con KV la media fue de $43,45 \pm 4,49$ cm valores que son superiores a los reportados para cerdos de Nueva Guinea por Hernández-Baca et al. (2017) que mostraron valores entre 37,84 cm y 30,13 cm y a los indicados por Jáuregui-Jiménez (2017) para los cerdos guatemaltecos que fueron de 23 cm en machos y 24 cm en hembras. Para la longitud de cabeza, las mediciones manuales en hembras fueron de $31,33 \pm 3,69$ cm y con KV $31,50 \pm 3,10$ cm valores que se aproximan a los 32,0 cm, cercanos a lo reportado por Hurtado et al. (2005) para el cerdo criollo venezolano.

La longitud de la grupa medida manualmente presentó una media de $34,66 \pm 4,08$ con un rango de 26 cm a 46 cm, mientras las mediciones con KV indicaron una media ligeramente mayor de $34,89 \pm 3,87$ cm y un rango de 22,6 cm a 46,94 cm; estos resultados fueron consistentes con los datos de Estupiñán-Véliz et al., (2009) que reportaron un promedio de 30,08 $\pm$ 3,12 cm en cerdos criollos de Ecuador. Vargas-Burgos et al. (2016) sugirieron que las diferencias observadas podrían estar relacionadas con la variabilidad genética y ambiental. Salazar-Vidal et al. (2012) concluyeron que las técnicas zoométricas tradicionales estuvieron sujetas a un alto nivel de error debido a la dificultad en el manejo de las herramientas sobre los animales muestreados.

CONCLUSIÓN

Las mediciones realizadas manualmente y con KV son similares, lo que confirma que el uso del método fotogramétrico puede

reemplazar eficazmente las herramientas manuales, evitando estresar al animal, destacando su practicidad y confiabilidad en las mediciones zoométricas en cerdos. Futuras investigaciones deberían centrarse en automatizar la obtención de medidas y comparar resultados con métodos más avanzados. Esto no solo validaría los resultados actuales, sino que también abriría nuevas posibilidades para el uso de tecnologías accesibles en la ganadería.

CONFLICTO DE INTERESES

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

Referencias bibliográficas

- Anchundia, J. (2023). Caracterización zoométrica y faneróptica del cerdo criollo en cantones de Bolívar y Junín, provincia de Manabí. [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2282>
- Armijos-Tituana, J. R. Guevara-Palacios, M. I. y Mizhquero-Rivera, E. G. (2022). Caracterización morfológica y faneróptica del cerdo criollo en la Provincia de Loja. *Polo del Conocimiento*, 7(1), 1505-1517. <https://n9.cl/n6px7x>.
- Arredondo, J. V., Muñoz Flores, J. E., Arenas, L. E., Mosquera, M., Pacheco, E. y Álvarez, L. Á. (2021). Morfometría del cerdo criollo del pacífico colombiano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 29(3-4), 215-223. <https://doi.org/10.53588/alpa.293413>
- Contino-Esquijerosa, Y., Herrera-González, R., Ojeda-García, F., Iglesias-Gómez, J. M. y Martín-Martín, G. J. (2017). Evaluación del comportamiento productivo en cerdos en crecimiento alimentados con una dieta no convencional. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 152-157. <https://n9.cl/d0z60>
- Escobar, J. (2012). Caracterización y Sistemas de Producción de los Cerdos Criollos del Cantón Chambo [Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1752>
- Esmeraldas, R., Armijos, J., Maldonado, D., Delgado, J., Navas, F. y Toalombo, P. (2023). Comparación de las variables morfológicas de cerdos criollos en la provincia de Chimborazo y Loja. *Archivos de Zootecnia*, 72(279), 236-243. <https://n9.cl/3sa7x>
- Estrada-León, R. J. López-Caraveo, E. Bojórquez-Cat, J. C. Moo-Huchin, V. y Sierra-Vásquez, A. C. (2023). Caracterización etnológica de vacas criollas en el Estado de Campeche, México. *Archivos de Zootecnia*. 72(279), 184-192. <https://n9.cl/9eqid>.

- Estupiñán Véliz, K., Vasco Mora, D., Zambrano, K. y Barreto, S. (2009). Estudio morfoestructural de una población de cerdos naturalizados en los cantones valencia y la maná, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 2(2), 15-20. <https://n9.cl/5tbwa>
- Gaudio, V., Sanz-Ablanedo, E., Lomillos, J. M., Alonso, M. E., Javares-Morillo, L. and Rodríguez, P. (2014). "Photozoomer": A new photogrammetric system for obtaining morphometric measurements of elusive animals. *Livestock Science*, 165, 147-156. <https://n9.cl/00lix>
- Hernández, A., García Munguía, C. A., García Munguía, A. M., Ortiz Ortiz, J. R., Sierra Vásquez, Á. C. y Morales Flores, S. (2020). Sistema de producción del cerdo pelón mexicano en la Península de Yucatán. *Nova Scientia*, 12(24), 0-0. <https://n9.cl/7v3cv>
- Hernández-Baca, M., Gámez-Rivas, A. y Zeledón-Ortega, Y. (2017). Caracterización morfológica del cerdo criollo (*Sus scrofa domesticus*) en el municipio de Nueva Guinea, RACCS. *La Calera*, 17(28), 21-27. <https://doi.org/10.5377/calera.v17i28.6365>
- Hurtado, E., González, C. y Vecchionacce, H. (2005). Estudio morfológico del cerdo criollo del estado Apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 23(1), 17-26. <https://n9.cl/qcggkk>
- InfoStat (2008). InfoStat, versión 2008. Manual del usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina. https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario#:~:text=La%20cita%20bibliogr%C3%A1fica%20correcta%20para,Manual%20del%20Usuario..
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2024). Estadísticas Agropecuarias. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- Jáuregui Jiménez, R. (2017). Caracterización morfométrica y faneróptica del cerdo criollo de la región Chortí, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencia Multidisciplinaria CUNORI*, 1(1), 73-74. <https://doi.org/10.36314/cunori.v1i1.14>
- Montenegro, M. D. (2012). Caracterización genética de los cerdos Pampa Rocha de Uruguay [Universidad de la República]. <https://www.upc.edu.uy/ensenanza/tesis/posgrado/182-montenegro>
- Olmedo, W. J. Toalombo, P. A. Flores, L. G. Delgado, J. V. Navas, F. J. y Duchi, N. A. (2021). Caracterización morfológica del cerdo criollo Pillareño del cantón Guamote de Ecuador. *Archivos de Zootecnia*, 70(270), 160-170. <https://doi.org/10.21071/az.v70i270.5468>
- Revidatti, M. A. S. (2009). Caracterización de cerdos criollos del nordeste argentino [Universidad de Córdoba]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133240819>
- Ribas, J., Faria Nagano, Y. y Paranhos da Costa, M. J. R. (2023). Estrategias para mejorar el bienestar de los cerdos. *Veterinaria*, 59(220). <https://doi.org/10.29155/vet.59.220.5>
- Salamanca-Carreño, A., Parés-Casanova, P. M., Vélez Terranova, O. M., Castro Rosa, G. y Jáuregui, R. (2022). Valoración morfométrica de una población de cerdos criollos araucanos (Colombia). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 33(5), e23794. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i5.23794>
- Salazar-Vidal, D. F. S., Vélez-Ruiz, J. P. V., Zapata-Herrera, H. G. Z. y Rendón-Vásquez, A. R. (2012). Aplicación de técnicas fotogramétricas para el estudio morfométrico en caballos criollos colombianos. *Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 66-78. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4448>
- Sañudo, C. (2009). Valoración morfológica de los animales domésticos. M° Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <https://n9.cl/gw1uoz>
- Torres-Pérez, Y., Gómez-Pachón, E. Y. y Cuenca-Jiménez, F. (2016). Sistema de análisis de movimiento para caballos basado en videometría. *Ciencia y Agricultura*, 13(2), 83-94. <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5556>
- Vargas-Burgos, J., Velázquez Rodríguez, F. y Chacón Marcheco, E. (2016). Estructura genética y caracterización molecular del cerdo criollo (*Sus scrofa domestica*) de Ecuador, utilizando marcadores microsatélites. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(07), 1-12. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v6n3.45661>
- Zimmerman, D. W. (1998). Invalidation of parametric and nonparametric statistical tests by concurrent violation of two assumptions. *Journal of Experimental Education*, 67(1), 55-68. <https://doi.org/10.1080/00220979809598344>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Andreina Monserrate Cedeño-Muñoz metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Arianna Abigail Rivera-González:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Carlos Octavio Larrea-Izurieta:** conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.





Manejo poscosecha y evaluación de la calidad de la guanábana (*Annona muricata*) en la provincia de Pastaza

Post-harvest management and quality evaluation for soursop (*Annona muricata*) in the province of Pastaza

Autores

^{1*}Santiago Aguiar Novillo

✉ saguiar@uea.edu.ec

¹Susi Gómez

✉ sgomez@uea.edu.ec

²Luis Fernando Arboleda

✉ larboleda@esPOCH.edu.ec

¹Edgar Chicaiza

✉ echicaiza@uea.edu.ec

¹Universidad Estatal Amazónica, Puyo,
Pastaza, Ecuador.

²Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo, Riobamba, Chimborazo,
Ecuador.

Citación sugerida: Aguiar Novillo, S., Gómez, S., Arboleda, L. F. y Chicaiza, E. 2024. Manejo poscosecha y evaluación de la calidad de la guanábana (*Annona muricata*) en la provincia de Pastaza. *La Técnica*, 14(2), 132-138. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6752>

Recibido: Agosto 12, 2024

Aceptado: Septiembre 18, 2024

Publicado: Noviembre 22, 2024

Resumen

El manejo poscosecha de *Annona muricata* L., tiene varios puntos críticos en su proceso productivo, este fruto al poseer un carácter tropical tiende a madurarse con rapidez y recibir daños en su estructura físico-química y fisiológica, provocando la disminución de su calidad; por lo que, esta revisión tuvo como objetivo identificar parámetros de calidad, como procesos tecnológicos en poscosecha con la finalidad de aumentar su tiempo de vida útil. Se empleó metodología descriptiva basada en el método PRISMA, teniendo como resultados, que la información tuvo mayor auge en el 2019 y en el 2022, siendo América el punto donde más datos se han recopilado sobre la poscosecha de *A. muricata*, el grado de madurez óptimo para su cosecha se encuentra en ET3, mientras que la evaluación de la calidad organoléptica se basa en factores como el tamaño, color, biomasa y dureza, la evaluación físico-química con la humedad (81,16%), acidez, pH (4), cenizas y °brix (17,65), las características fisiológicas se encuentran ligadas a la producción de etileno y para su conservación se pueden implementar varios métodos como la aplicación de atmósferas controladas, regulaciones térmicas, entre otras. En la provincia de Pastaza no se tiene un registro sobre la producción, pero según los datos obtenidos este fruto posee un alto potencial productivo. Se concluye que los métodos de conservación más recomendables son los inhibidores de etileno, combinados con emulsión de ceras, aplicadas a una concentración de 1-MCP de 1500 NLL-1 durante 12 h, combinado con cera de candelilla o de abeja diluida en una relación 15:85 en H₂O, en almacenamiento de 16 °C y la modificación de atmósferas en bandejas de poliestireno flexible a una temperatura de 12 °C, alternando con 14 °C en un cuarto de almacenamiento, llevando a un aumento de vida útil de 15 a 22 días.

Palabras clave: *Annona muricata*; guanábana; manejo; poscosecha; calidad.

Abstract

The postharvest handling of *Annona muricata* L. has several critical points in its productive process. This fruit, having a tropical character, tends to ripen quickly and receive damages in its physicochemical and physiological structure, causing a decrease in its quality, so this review aimed to identify quality parameters, such as technological processes in postharvest in order to increase the shelf life, descriptive methodology based on the PRISMA method was used, having as results, that the information has more boom in 2019 and 2022, being America the point where more data have been collected on the postharvest of *A. muricata*, the optimum degree of maturity for harvesting is in ET3, while the evaluation of the organoleptic quality is based on factors such as size, colour, weight and hardness, the physicochemical evaluation with a moisture (81.16%), acidity, pH (4), ash and °brix (17.65). The physiological characteristics are linked to the production of ethylene, and for its preservation several methods can be implemented, such as the application of controlled atmosphere, thermal regulations, etc. In the province of Pastaza there is no record of production, but according to the data obtained, this fruit has a high productive potential. It is concluded that the most recommendable preservation methods are ethylene inhibitors combined with wax emulsion, applied at a concentration of 1-MCP of 1500 NLL-1 for 12 h, combined with candelilla or beeswax diluted in a ratio of 15:85 in H₂O in a storage of 16 °C and modification of atmospheres in flexible polystyrene trays at a temperature of 12 °C alternating with 14 °C in a storage room, leading to an increase of shelf life from 15 to 22 days.

Keywords: *Annona muricata*; soursop; management; postharvest; quality.



Introducción

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un fruto tropical perteneciente a la familia Anonaceae. Caracterizada por ser climatérica, presenta una alta tasa de respiración y producción de etileno, lo que conlleva a una rápida actividad enzimática, debilitando el fruto y dificultando su manipulación manual o mecánica durante el proceso poscosecha. Además de sus características sensoriales distintivas, como su color, olor y sabor, la guanábana se ha convertido en una promisoriosa materia prima para la elaboración de diversos productos, tales como bebidas refrescantes, mermeladas, helados y aderezos (Mendoza-Méndez et al., 2022).

El cultivo de *A. muricata* no solo genera empleo a nivel local, sino que también es económicamente rentable, especialmente en sistemas tecnológicamente avanzados, con rendimientos que pueden alcanzar hasta 3,5 toneladas por hectárea al año (Álvarez et al., 2004). Sin embargo, este cultivo enfrenta desafíos significativos, principalmente relacionados con plagas y enfermedades, como el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, que puede causar pérdidas de producción de hasta el 90% (Cambero et al., 2019).

La producción de guanábana se concentra en zonas tropicales y subtropicales, siendo Ecuador uno de los principales productores. En particular, en la región amazónica, las provincias de Pastaza y Napo son áreas de cultivo, aunque la producción exacta no está bien documentada debido a la falta de registros precisos y técnicas de manejo adecuadas (Rochina, 2022).

A nivel nacional, se ha observado un crecimiento significativo en la producción de guanábana para el mercado nacional e internacional, alcanzando alrededor de 2000 toneladas métricas. Sin embargo, las pérdidas debido a un manejo inadecuado durante el transporte y almacenamiento pueden llegar hasta el 50%, lo que afecta su calidad (Jiménez-Zurita et al., 2017).

Este estudio se enfoca en identificar los parámetros de calidad y los procesos tecnológicos en poscosecha para aumentar el tiempo de vida útil de la guanábana en la provincia de Pastaza, donde la información disponible es limitada.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló aplicando un enfoque mixto de nivel exploratorio no experimental mediante la revisión bibliográfica sobre el manejo de poscosecha de guanábana seleccionando artículos científicos, bases de datos, tales como Google Scholar, Scopus, Scielo. El método empleado fue de tipo exploratorio de orden secundario, se realizó una búsqueda minuciosa de información bibliográfica de documentos en bases científicas.

La selección de la información se llevó a cabo considerando artículos científicos publicados entre los años 2004 y 2023 en español e inglés. Se aplicaron varios criterios de selección, como la inclusión de palabras clave relevantes, la congruencia de los datos con la revisión, la fuente de la información, entre otros. También se incluyeron artículos de años anteriores para analizar las variaciones en la información a lo largo del tiempo, descartando duplicados y aquellos que no cumplían con los requisitos de elegibilidad, como la falta de definiciones o datos sobre manejo poscosecha y evaluación de calidad de la guanábana. utilizando palabras clave como “guanábana”, “*Annona muricata*”, “manejo poscosecha” y “calidad”, así como sus combinaciones.

Resultados y discusión

Según la base de datos de la investigación se tomó en cuenta 23 documentos entre artículos científicos y otras obras de relevancia sobre el manejo poscosecha y evaluación de calidad de *A. muricata*, esta recopilación del material bibliográfico de acuerdo al año de publicación se visualiza en la figura 1.

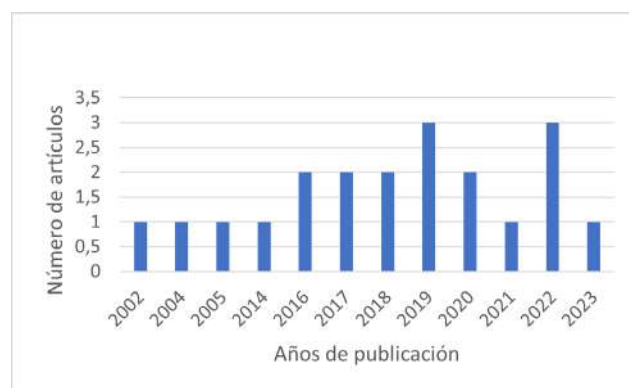


Figura 1. Recopilación de artículos científicos por año sobre el manejo poscosecha y evaluación de calidad de *Annona muricata*.

La información descrita en la figura 1 demostró la cantidad de artículos científicos localizados en la red referente al manejo poscosecha y evaluación de calidad para la guanábana (*A. muricata*), donde se puede apreciar que entre los años 2002 a 2014 la información no presentó variación, lo que determinó una escasez de datos, mientras que en el periodo de 2016 a 2018 se notó un ascenso de la cantidad de artículos, en el 2019 se apreció un crecimiento de la información, para el 2020-2021 se evidenció un decrecimiento en el número de artículos, en el 2022 se visualizó un crecimiento de la información y para lo que quedó del 2023 se estimó un incremento en las investigaciones poscosecha y calidad de *A. muricata*. La fluctuación de los datos

por regiones permitió determinar qué tan importante fue el tema en otras regiones del mundo y poder apreciar que tan importante podría llegar a ser en un futuro. Tomando en cuenta la base de datos de la revisión, se eligieron 23 documentos pertenecientes a tres áreas geográficas como se muestra en la figura 2.

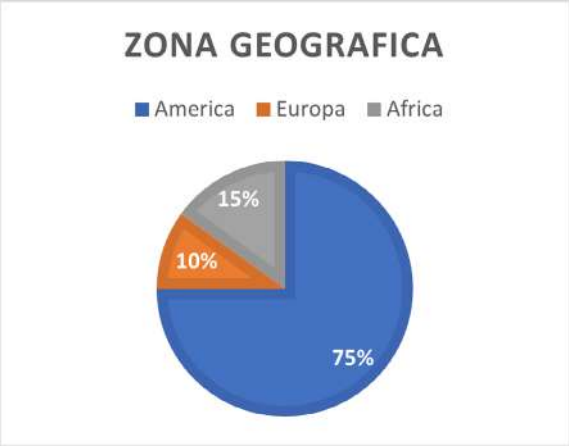


Figura 2. Localización de la información por continente, sobre el manejo poscosecha y evaluación de la calidad de *Annona muricata*.

Un 75% de los artículos utilizados se localizaron en América siendo México y Colombia los principales investigadores de este tema, África específicamente Tanzania, tuvo el 15% de las investigaciones y con un 10% Europa, específicamente en Italia.

La poscosecha es una etapa muy importante en el manejo del fruto, porque su delicado manejo; es por ello, que su proceso poscosecha empieza en la selección del fruto en madurez de recolección, seguida de la limpieza y desinfección, para luego ser seleccionado y clasificado, seguido del empaque y almacenaje. En la tabla 1 se puede visualizar el proceso detallado de la selección del fruto en madurez de recolección y en la tabla 2 se presentan las etapas de maduración fisiológica de *A. muricata*. La coloración del fruto es un factor organoléptico importante que puede ser verificado visualmente en sus diferentes etapas de maduración. Como se detalla en la tabla 2.

Tabla 1. Selección de los frutos de *Annona muricata* en madurez de recolección.

Autores	Factores	Indicadores	Descripción	Instrumentos
Moreno (2020)	Físicos y fisiológicos	Tiempo de recolección	Cosecha de 4 a 5 meses después del embolsado de la guanábana	Registro
		Desprendimiento	Verificación de desprendimiento	Recolector
		Grado de madurez	Madurez fisiológica (verde claro)	Tabla de coloración
Leiva (2018)	Composición	Contenido de azúcares	Contenido de azúcares en un rango de 13 °Brix	Refractómetro

Tabla 2. Etapas de maduración fisiológica de *Annona muricata*.

Etapas de maduración (EM)	Descripción
EM1	El fruto presentó una pigmentación de color verde oscuro opaco.
EM2	Vario las tonalidades de verde oscuro a claro brillante.
EM3	Fruto de color verde claro con separación de terminales estilares.
EM4	Fruto de color verde claro brillante.

Según Moreno (2017) cuando el fruto presentó una coloración verde clara se encontraba en el periodo óptimo de maduración fisiológica, también adquiriendo tonalidades más brillantes, su pulpa fue de coloración blanca sobrepasando las 100 semillas y siendo un poco ácida, mientras que Villarreal-Fuentes et al. (2020) indicaron que en el rango óptimo de maduración fisiológica presentó una coloración verde clara, con más de 90 semillas, con pulpa blanca. Por otra parte, Leiva (2018) declaró que la coloración del fruto debe ser verde claro con tonalidad muy sutil y brillante con 130 semilla, pulpa blanca y agridulce. Los autores concordaron en la coloración, considerando además, que puede variar de acuerdo a la variedad, a la región, a la técnica de cultivo, entre otros factores, que alteran algunas aspectos fisiológicos.

Evaluación de la calidad organoléptica

Los análisis organolépticos son un método para evaluar la calidad de un fruto o producto basándose en las sensaciones que pueden percibirse con los sentidos, como la vista, el olfato y el gusto. Algunos de estos parámetros también pueden medirse con instrumentos que proporcionan valores referenciales. En la tabla 3 se presentan los valores de evaluación de calidad basados en parámetros organolépticos de *A. muricata*.

Tabla 3. Evaluación de calidad basada en parámetros organolépticos de *Annona muricata*.

Autores	Biomasa (kg)	Color	Sabor	Dureza (N)	Tamaño (cm)
Castillo et al., 2005	2,7<2,12	Verde	Agridulce	-----	29-41 diámetro ecuatorial 18-24 diámetro polar
Jiménez et al., 2016	2,513	Verde	Semi dulce	8,3	25,3 diámetro ecuatorial 18,8 diámetro polar
Codex alimentarium (Cajamarca, 2019)	>1	Verde Intenso oscurecido	Intenso dulce	-----	40 de alto

Según el *Codex alimentarium* (Cajamarca, 2019), las guanábanas con una biomasa superior a 1 kg presentaron aroma intenso y característico, una coloración verde oscurecida, sabor intensamente dulce y longitud de 40 cm. Por otro lado, Castillo et al. (2005) sugirieron que la biomasa ideal estuvo entre 2,70 y

2,12 kg, con color verde, sabor agridulce, y diámetros ecuatorial y polar dentro del rango mencionado. Mientras tanto, Jiménez et al. (2016) establecieron que la biomasa óptima fue de 2,51 kg, con color verde y sabor semi dulce, junto con los diámetros mencionados.

Los hallazgos de estas investigaciones sugieren una consistencia en los parámetros evaluados, lo que indicó que puede producirse y conservarse con buenas características siempre que se cumplan los criterios organolépticos indicados. Además, se destacó la importancia de que el fruto esté íntegro, sin rajaduras ni signos de plagas o enfermedades.

Evaluación de la calidad físico-química

Los parámetros físico-químicos son valores que se pueden medir con ciertos instrumentos y permitieron captar valores internos que se encontraron en diversos materiales de análisis, esto debido a su naturaleza se pueden emplear como indicadores de la calidad presente en una muestra, ya que estos valores pueden ser comparados con otros, para determinar si cumplen o no una condición, o si se encuentran entre rangos ideales para su utilización. En la tabla 4 se muestran los parámetros físico-químicos de *A. muricata* para evaluar su calidad.

Tabla 4. Evaluación de calidad en base a parámetros físico-químicos de *Anona muricata*.

Autores	Humedad (%)	Acidez		pH	Cenizas
		valorable (%)	°Brix		
Onimawo, 2002	81	3,43	15	4,56	----
Othman, 2014	73,1±3,1	0,19 ± 0,02	----	----	0,87±0,04
Méndez et al., 2016	81,49± 0,10	0,87± 0,05	14,10± 0,01	3,97± 0,02	0,70± 0,11
Abdul et al., 2018	----	----	13,0-17,0	3,00-4,00	----
Berumen-Varela et al., 2019	----	0,61-1,04	8,2-24	3,6-5,8	----
Codex alimentarium (Cajamarca, 2019).	81,16	0,858	17,65	4	0,7

Según Onimawo (2002) los parámetros físico-químicos que demostraron la calidad de *A. muricata* fueron la humedad, acidez

valorable, °Brix, pH y cenizas con unos valores de 81% de humedad; 3,43% de acidez valorable, 15 °Brix, pH de 4,56. Por otra parte, el *Codex alimentarium* y Cajamarca (2019) mostraron que los valores óptimos de calidad de *A. muricata* fueron de 81,16% de humedad; 0,86% de acidez valorable; 17,65 °Brix, pH de 4 y 0,7% de cenizas.

Othman (2014) determinó que *A. muricata* para ser considerada de calidad debe tener 73,1±3,1% de humedad, 0,19 ± 0,02% de acidez titulable y 0,87±0,04% de ceniza; por otra parte, Méndez et al. (2016) consideraron que *A. muricata* es un fruto bastante delicado, que bajo condiciones ideales de almacenamiento poscosecha y posterior utilización debe poseer los siguientes valores 81,49± 0,10% de humedad; 0,87±0,05% acidez valorable; 14,10±0,01 °Brix, con un pH de 3,97±0,02 y 0,70±0,11% de cenizas; sin embargo, Abdul et al. (2018) indicaron que los valores ideales para un fruto de *A. muricata* de calidad se deben encontrar en un rango de 13,0-17,0 °Brix, con un pH de 3,00-4,00 y Berumen-Varela et al. (2019) determinaron que para que *A. muricata* presente características ideales debe poseer una acidez valorable de 0,61-1,04%, con °Brix de 8,2-24 y un pH de 3,6-5,8 en dependencia de la industria a la que se receptara el fruto.

Los diversos autores al realizar diferentes pruebas y evaluaciones para determinar la calidad con base a los parámetros físico-químicos indicaron como los datos variaron de acuerdo al tiempo, la tecnología, la investigación, entre otros; todos los autores presentaron valores que se encontraron en rangos similares, mismos que indicaron según su investigación que *A. muricata* puede ser empleada en procesos de poscosecha, teniendo en cuenta sus factores físico-químicos y los fines de la misma, ya que esta varía de acuerdo al producto o subproducto al que se destine, esto se determina debido a que en ciertas industrias es necesario un fruto con °Brix más altos o más bajos, o también con un pH más bajo o para regulación de acidez; es por ello, que la variación de datos puede aportar a una correcta industrialización de *A. muricata*.

Cambios fisiológicos

Según Márquez et al. (2012) la tasa de respiración de *A. muricata* fue de 7 hasta 24 nmol·h⁻¹ en dependencia de las condiciones, con una tasa de producción de etileno de 133,2 mg·kg⁻¹·h⁻¹ y una pérdida fisiológica de biomasa de 21,72%; por otra parte, Jiménez-Zurita et al. (2017) indicaron que la producción de etileno fue de 150 mg·kg⁻¹·h⁻¹ con una pérdida fisiológica de biomasa de 18%, también Márquez (2019) documentó que la producción de etileno fue de 162 mg·kg⁻¹·h⁻¹ bajo condiciones normales, pero en condiciones controladas puede llegar hasta 298,8 mg·kg⁻¹·h⁻¹ con una pérdida de biomasa del 21%, en dependencia de estos factores fisiológicos la calidad del fruto se vio alterada, debido

a que estos aceleraron o disminuyeron la madurez fisiológica, siendo más notorio la variación en la coloración del epicarpio (cáscara) y la disminución de la protuberancias del fruto, de acuerdo a la cantidad de etileno, meso-endocarpio (pulpa) y la cantidad de semillas recibieron afectaciones, en caso de la pulpa esta se emblandece y libera agua, lo que a su vez ocasiona la pérdida fisiológica de la biomasa, disminuyendo los rendimientos poscosecha y almacenamiento del fruto (tabla 5).

Tabla 5. Características fisiológicas de *Annona muricata*.

Autores	Tasa de respiración (nmol·h ⁻¹)	Producción de etileno (mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	Pérdida fisiológica de la biomasa (%)
Márquez et al., 2012	7 - 24	133,2	21,72
Jiménez-Zurita et al., 2017	-----	150	18
Márquez, 2019	-----	162-298,8	21

Tecnologías de poscosecha

Las tecnologías del manejo poscosecha de *A. muricata* se basan en la disminución de la producción de etileno, debido a que esta enzima al encontrarse en altas concentraciones acelera el proceso de maduración del fruto, modificando sus características, algunas de las tecnologías más utilizadas han sido las atmósferas modificadas, bajas temperaturas, revestimientos, entre otras. Las diferentes tecnologías que se pueden emplear para mitigar la producción de etileno se pueden apreciar en la tabla 6.

Según Gavin et al. (2021) el etileno exógeno es una tecnología que permite estimular la biosíntesis del etileno, su bioactividad y su calidad, en frutos inmaduros o verdes, para ser aplicado se recomienda emplear 500 µL·L⁻¹ en una cámara de gas bajo condiciones controladas con frutos que se encontraban en el tamaño óptimo de comercialización, este fruto en verde tuvo un tiempo de vida útil más elevado, pero después del tratamiento este tendrá un tiempo de vida útil de alrededor de 5 días bajo condiciones ambientales.

Por otra parte López-Velasco et al. (2018) indicó que la tecnología hidrotérmica y utilización de ceras permitió la estimulación conservando las propiedades de los terpenos, permitiendo mantener la calidad y el color para su aplicación recomendó emplear una temperatura de 50 °C durante 20 min y aplicar cera de abeja diluida en agua, esto aumentó de 6 a 8 días el tiempo de vida útil.

Martínez (2019) indicó que la refrigeración retardó la síntesis del etileno durante el almacenamiento para ello se utilizó una temperatura de 5 °C alargando la vida útil hasta 9 días, con el riesgo de un daño en el epicarpio del fruto, Gavin et al. (2021) señaló el uso de ácido abscísico y ácido nordihidroguairético, en

la conservación de *A. muricata*, el primero estimuló la actividad enzimática de la biosíntesis (ACO y ACS), para la aplicación de este ácido se recomendó utilizar 8 mg·L⁻¹ y el segundo se encargó de retrasar indirectamente la biosíntesis del etileno y puede usarse en conjunto con el ácido abscísico.

Tabla 6. Tecnologías de poscosecha de *Annona muricata*.

Autores	Tecnologías	Efectos sobre el etileno	Tiempo de vida útil
Gavin et al., 2021	Etileno exógeno	Estimula la biosíntesis del etileno, bioactividad y calidad se emplea en cámaras de gas, para aplicarlo se utilizan 500 µL·litro ⁻¹	5 días
		Estimula la conservación de terpenos manteniendo su calidad y color, a una temperatura de 50 °C durante 20 min, empleando cera de abeja diluida en agua	6-8 días
López-Velasco et al., 2018	Hidrotérmicos y ceras		
Martínez González, 2019	Refrigeración	Retrasa la síntesis del etileno al ser almacenado en gavetas plásticas a 5 °C con una humedad del 85%	9 días
Silva, 2019	Atmósfera modificada en almacenamiento en cuarto frío	Extrae el aire y lo reemplaza por otros gases en una película de polietileno de baja densidad con una concentración de oxígeno de 97%; dióxido de carbono de 3% a una temperatura de 13°C	17 días
Jiménez-Zurita et al., 2017	Inhibidores de etileno combinados con emulsiones de aceite	Se aplica 1-metilciclopropano a una concentración de 1000 nL·L ⁻¹ por 12 h combinado con una emulsión a base de cera carnauba con aceites siliconados a una temperatura de 13 ±2 °C	15 días
Jiménez-Zurita et al., 2017	Inhibidores de etileno combinados con emulsión de ceras	Se debe aplicar una concentración de 1-metilciclopropano (1-MCP) de 1500 NL·L ⁻¹ durante 12 h, para luego combinarlo con cera de candelilla o de abeja diluida (15:85) en H ₂ O en un almacenamiento de 16 °C	14-15 días
Jiménez-Zurita et al., 2017	Atmósferas modificadas	El fruto se empaca en bandejas de poliestireno flexible a una temperatura de 12 °C alternando con 14 °C	22 días

Silva (2019) indicó que aplicando una atmósfera modificada, reemplazando el aire por O₂: 97% y CO₂: 3% en una película de polietileno de baja densidad a una temperatura de 13 °C se puede prolongar hasta 17 días el tiempo de vida útil del fruto completa; por otra parte, Zanin (2020) indicó que extrayendo la



pulpa y sometiéndola a temperaturas de congelación (0 °C) se puede conservar de 8 a 12 meses.

Jiménez-Zurita et al. (2017) indicó que los inhibidores de etileno se basaron en concentraciones de 1-metilciclopropano durante 12 h, también puede ser combinado con emulsiones de ceras diluidas en agua a una relación de 15:85, prolongando su tiempo de vida útil hasta 15 días. Las tecnologías varían de acuerdo al conocimiento de los productores y se mantuvieron en constante cambio, la utilización de los ácidos, el etileno exógeno y los tratamientos térmicos permitieron alargar la vida útil del fruto, siendo los más recomendables el ácido abscísico y ácido nordihidrogaurético, por que al ser usados en conjunto en una atmosfera modificada regularon la producción de etileno de *A. muricata* alargando su tiempo de vida útil.

Conclusión

En este estudio, se realizó una exhaustiva revisión de la literatura científica disponible sobre el manejo poscosecha y la evaluación de calidad para la guanábana (*A. muricata*). Los resultados obtenidos revelaron una escasez de información en los años anteriores a 2016, seguida de un aumento en la cantidad de artículos publicados en los últimos años. Este patrón indica un creciente interés en el tema y sugiere un potencial futuro para investigaciones adicionales en esta área.

Se identificó que la etapa de poscosecha es crítica para el manejo adecuado de la guanábana, siendo la selección del fruto en su madurez de recolección un paso fundamental. Los criterios de maduración fisiológica, como la coloración verde claro y la separación de terminales estilares, fueron consistentes entre los estudios revisados.

La evaluación de la calidad organoléptica y físico-química revela una serie de parámetros importantes, incluyendo el color, sabor, humedad, acidez, contenido de azúcares, pH y contenido de cenizas. Aunque hubo algunas variaciones en los valores reportados en diferentes estudios, se observa una tendencia general hacia rangos específicos que indican la calidad óptima del fruto.

Los cambios fisiológicos, como la tasa de respiración y la producción de etileno, fueron identificados como factores clave que afectan la calidad y vida útil de la guanábana. Se demostró que varias tecnologías poscosecha, como las atmosferas modificadas, la refrigeración y los inhibidores de etileno, pueden ser efectivas para mitigar estos cambios y prolongar la vida útil del fruto.

Conflicto de interés

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

Referencias bibliográficas

- Abdul Wahab, S. M., Jantan, I., Haque, Md. A. and Arshad, L. (2018). Exploring the leaves of *Annona muricata* L. as a source of potential anti-inflammatory and anticancer agents. *Frontiers in Pharmacology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00661>
- Álvarez, E., Ospina, C. y Mejía de los Ríos, J. (2004). Caracterización morfológica, patogénica y genética del agente causal de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en guanábana (*Annona muricata*) en el Valle del Cauca. *Fitopatología Colombiana*, 28(1). https://cgspage.cgiar.org/bitstream/handle/10568/44257/Caract_colletotrichum%20EAlvarez1%20_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Berumen-Varela, G., Hernández-Oñate, M. A. and Tiznado-Hernández, M. E. (2019). Utilization of biotechnological tools in soursop (*Annona muricata* L.). *Scientia Horticulturae*, 245, 269-273. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.028>
- Cajamarca, X. (2019). Análisis de las características organolépticas de la guanábana y la chirimoya para la aplicación de técnicas y modos de cocción en recetas de sal y dulce [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31862/1/Trabajo%20de%20Titulaci%3b3n.pdf>
- Castillo, Á., Pérez, S. y Pelayo, Z. (2005). Daños por frío en guanábana. índice de corte y tratamientos poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 51-57. <https://www.redalyc.org/pdf/609/60912502008.pdf>
- Cambero-Ayón, C. B., Luna-Esquivel, G., Rios-Velasco, C., Díaz-Heredia, M., Rodríguez-Palomera, M., Betancourt-Aranguré, A. and Cambero-Campos, O. J. (2019). Causal agents of rot in Soursop fruit (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 6, e538. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e538>
- Gavin, C., Barzallo, D., Vera, H., y Lazo, R. (2021). Revisión bibliográfica: Etileno en poscosecha, tecnologías para su manejo y control. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 163-178. <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.179>
- Jiménez, J., Balois, R., Alia, I., Juárez, P., Sumaya, S. y Bello, J. (2016). Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1261-1270. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263148193003.pdf>

- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Jiménez-Ruiz, E. I., Sumaya-Martínez, M. T., & Bello-Lara, J. E. (2017). Tópicos del manejo poscosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1155-1167. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.115>
- Leiva González, S. (2018). *Annona muricata* L. “guanábana” (*Annonaceae*), una fruta utilizada como alimento en el Perú prehispánico. *Arnaldoa*, 25(1), 127-140. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25108>
- López-Velasco, A., De La Cruz-Medina, J., León-García, E., García-Galindo, H. S., & Vázquez-Hernández, M. V. (2018). Aplicación de tratamientos hidrotérmico, fungicida y cera sobre el oscurecimiento superficial en guanábana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1075-1081. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1511>
- Márquez, C. (2019). *Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la guanábana (Annona muricata L. cv. elita)* [Universidad Nacional de Colombia sede Medellín]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3346/8740420.2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Márquez, C., Villacorta, V., Yepes, D. y Ciro, H. (2012). Caracterización fisiológica y físico-química del fruto de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. *elita*). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 65(1), 6477-6486. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a18.pdf>
- Martínez González, M. (2019). Análisis de expresión diferencial de genes durante la maduración del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) en manejo poscosecha [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT]. http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/2287/1/AN%20EXPRESI%20DIFERENCIAL%20GENES%20DURANTE%20LA%20MADURACI%20DEL%20FRUTO%20GUAN%20BANA%20Annona%20muricata%20L.%20EN%20MANEJO%20POSTCOSECHA_compressed.pdf
- Méndez, L., Conde, C. y Osorio, M. (2016). Caracterización de la pulpa de *Annona muricata* L. cultivada en el Norte del Departamento de Bolívar. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(4), 1-9. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962016000400012
- Mendoza-Méndez, O., Palacios-de-la-Cruz, A., Salinas-Mata, H., Sarmiento-Vilela, K. and Paucar-Menacho, L. M. (2022). Soursop (*Annona muricata* L.): Origin, characteristics, harvest, postharvest, antioxidant activity, anti-inflammatory activity and health benefits. *Agroindustrial Science*, 12(1), 123-129. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.14>
- Moreno, J. (2017). *Protocolo de buenas prácticas para poscosecha de guanábana (Annona muricata)*. Gobernación del Tolima, Universidad de Ibagué, Universidad del Tolima y SENA Regional Tolima. DOI:10.13140/RG.2.2.12182.29768
- Onimawo, I. A. (2002). Proximate composition and selected physicochemical properties of the seed, pulp and oil of sour sop (*Annona muricata*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 57(2), 165-171. <https://doi.org/10.1023/A:1015228231512>
- Othman, O. C. (2014). Post harvest physicochemical properties of soursop (*Annona muricata* L.) fruits of coast Region, Tanzania. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(5), 220. <https://doi.org/10.11648/j.jfns.20140205.13>
- Rochina, S. (2022). *Manejo agronómico del cultivo de guanábana (Annona muricata L.) en el Ecuador*. [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13168/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000440.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, M. (2019). *Efecto de dos atmósferas modificadas en la conservación de guanábana (Annona muricata L.) almacenadas a dos temperaturas*. [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17976/1/T-UCE-0004-CAG-077.pdf>
- Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Hernández-Salvador, M. A., Hernández-Ortiz, E., Marroquín-Agreda, F. J., Núñez-Colín, C. A. and Campos-Rojas, E. (2020). *In situ* characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3). <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.05.008>
- Zanin, T. (2020). *Cómo congelar la pulpa de la fruta*. Tuasaude. <https://www.tuasaude.com/es/congelar-fruta/#:~:text=Cuando%20se%20congelan%20adecuadamente%20la,meses%20a%20proximadamente%20congeladas%20a%200%C2%BAC>

Contribución de los autores

Santiago Aguilar Novillo: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Susy Gómez:** análisis formal, redacción. **Luis Arboleda:** conceptualización, análisis formal, metodología. **Edgar Chicaiza:** investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.





La chaya (*Cnidocolus aconitifolius*) como alternativa para la alimentación porcina

Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) as an alternative for pig feeding

Autores

^{1*}Jessica Zambrano-Mendoza

✉ jzambrano1375@utm.edu.ec

²Euster Alcívar-Acosta

✉ euster.alcivar@utm.edu.ec

²Cristhian Verduga-López

✉ cverduga0999@utm.edu.ec

¹Maestría en Zootecnia, Universidad
Técnica de Manabí. Chone, Ecuador.

²Facultad de Agrociencias, Universidad
Técnica de Manabí. Chone, Ecuador.

Citación sugerida: Zambrano-Mendoza, J., Alcívar-Acosta, E., Verduga-López, C. 2024. La chaya (*Cnidocolus aconitifolius*) como alternativa para la alimentación porcina. *La Técnica*, 14(2), 139-146. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6877>

Recibido: Agosto 01, 2024

Aceptado: Noviembre 27, 2024

Publicado: Diciembre 18, 2024

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) como alternativa alimentaria para cerdos en la etapa de crecimiento. Antes de llevar a cabo el experimento, se realizó una caracterización del material vegetal deshidratado. Se emplearon cuatro tratamientos, que incluyeron tres niveles de harina de chaya (10 (T1), 20 (T2) y 30 (T3)%), además de un tratamiento testigo (T0). Se utilizaron cerdos de 43 días de edad con un peso promedio de 12 kg. En cada tratamiento se evaluaron el peso final, el incremento de peso, el consumo y la conversión de alimento durante la etapa de crecimiento. Los resultados fueron analizados utilizando el programa estadístico InfoStat. Los mejores resultados en el peso final se obtuvieron en los tratamientos T0 y T3, con valores de 57,51 y 57,62 kg·cerdo⁻¹, respectivamente. De manera similar, se observaron mejores resultados en el incremento de peso, con valores de 44,62 y 44,80 kg·cerdo⁻¹. El consumo de alimento fue similar en todos los tratamientos, con un registro de 83,69 kg. Por otro lado, la conversión alimenticia fue significativamente mejor en los tratamientos T0 y T3, con un valor de 1,83 kg, respectivamente. Se concluye que la harina de chaya en concentraciones del 30% puede considerarse una alternativa viable para la alimentación de los cerdos en crecimiento.

Palabras clave: alimentos no convencionales; *Cnidoscolus aconitifolius*; nutrición; producción porcina; harinas.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the influence of chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) as an alternative for pig feeding during the growth stage. Prior to the development of the experiment, a characterization of the dehydrated plant material was carried out. A total of four treatments were used with three levels of inclusion of chaya flour (10 (T1), 20 (T2) and 30 (T3)%) plus a control treatment (T0). Pigs of 43 days of age with an average weight of 12 kg were used. In each treatment, the final weight, weight gain, feed consumption and feed conversion during the growth stage were evaluated. The results were analyzed using the InfoStat statistical program. The behavior of the pigs showed better results in the final weight in the treatments T0 and T3 with a weight of 57.51 and 57.62 kg·pig⁻¹, respectively. In the same way, better results were obtained in weight gain with values of 44.62 and 44.80 kg·pig⁻¹. Food consumption was similar in each treatment, registering a consumption of 83.69 kg. On the other hand, feed conversion was statistically better in treatments T0 and T3, with a total of 1.83 kg, respectively. It is concluded that chaya meal in concentrations of 30% can be considered a viable alternative for feeding growing pigs.

Keywords: unconventional foods; *Cnidoscolus aconitifolius*; nutrition; swine production; flours.



Introducción

La producción porcina está asociada con el uso constante de granos y fuentes de proteína en formulaciones dietéticas (Pan y An, 2020; Valverde et al., 2023). El uso del alimento balanceado representa alrededor del 70%, otros alimentos el 12,7%, granos enteros o molidos 8,6% y el forraje verde 5,3% (Gutiérrez et al., 2017); sin embargo, en Ecuador, estas fuentes de proteína son poco producidas en su mayoría. Dependiendo entonces, de materias primas importadas para preparar una dieta balanceada, lo que genera un aumento de los costos de producción, aumentando los problemas tanto para las empresas manufactureras como para los criadores de cerdos en pequeña escala (Pazmiño y Ramírez, 2021).

Su producción se ha consolidado como una actividad destinada a cubrir tanto emergencias económicas como la demanda familiar de consumo de carne y productos procesados (Barcaccia et al., 2020; Gomes, 2021), las cuales se caracterizan por un alto contenido de proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales, energía y micronutrientes de elevado valor biológico en la dieta humana (Huang et al., 2021; Jerez et al., 2021).

Hasta el año 2000, la provincia de Manabí alcanzó la mayor representación nacional, con un 31% del total; sin embargo, en los últimos años se ha observado una disminución en el desarrollo de esta actividad (Valverde et al., 2021). Según el último informe de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2023), la población porcina en Ecuador asciende a 943.249 cerdos en pie, de los cuales 95.521 se encuentran en la provincia de Manabí, representando el 10,12% del total. La mayor concentración se encuentra en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas (22,70%) y Guayas (15,00%).

A lo largo del tiempo, la industria porcina ha logrado mejorar los parámetros productivos aumentando la producción de carne magra con el fin de aumentar la rentabilidad de los productores mediante el pago de tasas de calidad, reducir el costo de producción del alimento y mejorar la competitividad (Barba et al., 2019; Peña et al., 2020). Generalmente la producción porcina en el sector rural se ha desarrollado como una actividad generadora de recursos económicos (Ron-Garrido et al., 2015); sin embargo, el desarrollo de este sistema productivo se ha visto afectado por el costo de las materias primas (maíz, sorgo, soya, entre otros) utilizadas en la alimentación (Alvarado et al., 2018); no obstante, se ha destacado la inclusión de subproductos derivados de las actividades agroindustriales o de actividades cotidianas de la cocina entre las que destacan, el salvado de trigo, papa cocida, yuca y plátano maduro (El-Hage, 2022; Yafetto et al., 2023).

Estudios preliminares han demostrado el potencial nutricional de la chaya como alternativa en la alimentación de diferentes

especies animales como aves, cerdos y bovinos (Wongnhor y Khonyoung; 2022; Wongnhor et al., 2023). Destacándose principalmente por su aporte proteico en la dieta, pudiendo ser sustituida por una parte de porciones de soya o de maíz (principios activos que limitan la sustitución total de este tipo de harinas) (Totakul et al., 2021). Además de ser considerada como una alternativa que aporta a la disminución del costo de producción y mejora la rentabilidad (Herrera et al., 2019).

La chaya ha sido considerada en la nutrición animal por su alto contenido proteico (31,73%) y nivel de producción de biomasa ($37,64 \pm 10,78 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en biomasa fresca y $6,46 \pm 1,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en biomasa seca), reflejándose, así como un potencial recurso forrajero (Theissen, 2016). Además, se destaca los altos niveles de todos los aminoácidos, excepto arginina y glutamina (Ebel et al., 2019). Se ha estimado que una porción de 50 g de chaya puede aportar alrededor de tres cuartas partes de la necesidad diaria de valina, la mitad de histidina, leucina y treonina; un tercio de isoleucina, lisina y metionina más cistina, además de micronutrientes como niacina, riboflavina, potasio, calcio y magnesio (Panghal et al., 2021). Por lo expuesto anteriormente la investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) como alternativa para la alimentación porcina.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la unidad de producción animal de la Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, ubicada en el sitio Ánima, parroquia San Antonio, provincia de Manabí, Ecuador. Las coordenadas geográficas son $00^{\circ}41.248' \text{ S}$ y $80^{\circ}07.457' \text{ O}$, con una altitud de 10 msnm, y temperaturas promedio de 34° C (máxima) y $19,3^{\circ} \text{ C}$ (mínima) (Google Earth, 2021).

Caracterización bromatológica de la chaya

Se seleccionó la Chaya (*C. aconitifolius*) procedentes de diversas áreas rurales del cantón Chone. Se procedió a la recolección aleatoria de las hojas para la obtención de la harina de chaya tomando los tallos y hojas, la cual se efectuó una vez cumplido los 90 días de la aplicación del corte de igualación. Se inició con el deshoje para luego dejar en reposo durante 15 días para eliminar la mayor cantidad de agua de forma natural. Se realizó un secado mediante la utilización de un deshidratador eléctrico durante 3 horas a una temperatura de 65° C y posterior molienda en un molino industrial de martillo de fabricación artesanal. La muestra fue colocada en fundas ziploc sellada herméticamente para su posterior análisis. Se evaluaron los parámetros proteína (Método de ensayo NTE INEN-ISO 20483), humedad (Método de ensayo NTE INEN-ISO 712), cenizas (Método de ensayo

NTE INEN-ISO 2171), biomasa seca (Método de ensayo NTE INEN-ISO 712), grasa (Método de ensayo AOAC 2003.06), fibra bruta (Método de ensayo AOAC 962.09), extracto libre de nitrógeno (Cálculo proximal), energía bruta (Cálculo), FDN (Método de ensayo AOAC 973.18) y FDA (Método de ensayo AOAC 2002.04).

Diseño experimental

La investigación se desarrolló mediante el establecimiento de un diseño completamente al azar (DCA), compuesto por tres tratamientos más el testigo (T0= 0% de harina chaya, T1= 10% de harina de chaya, T2= 20% de harina de chaya, T4= 30% de harina de chaya). Cada tratamiento consistió en cinco réplicas, con una unidad experimental por réplica. Los cerdos utilizados fueron de raza mestiza (Landrace x Petrain) de 43 días de edad, los cuales se encontraban en buen estado de salud, desparasitados y con el protocolo de vacunación de los lechones. Se escogieron cerdos de la misma edad, sexo y el mismo cruzamiento genético, con un peso promedio de 12 kg·cerdo⁻¹. Los mismos fueron ubicados sobre un galpón con 20 compartimentos (0,50 x 0,80 m). Cada jaula fue adecuada con su respectivo comedero y bebedero con la finalidad de suministrar agua *ad libitum*.

Formulación de las dietas

Las dietas fueron formuladas de acuerdo con el cumplimiento de los requisitos energéticos y proteicos, acorde al estado fisiológico de los cerdos en la etapa de crecimiento (Campabadal, 2009) y considerando los requerimientos nutricionales descritos en la NRC (National Research Council).

Las dietas utilizadas en el presente estudio fueron desarrolladas a partir de la combinación de las materias primas e insumos descritos en la tabla 1. La inclusión de los tres niveles de harina se efectuó a partir del análisis bromatológico de las muestras de la harina de Chaya (tabla 2) y considerando la aceptabilidad en la prueba de cafetería expuesta por Alcívar (2022).

Tabla 1. Formulación de las dietas de los cerdos con la inclusión de los tres niveles de harina de Chaya.

Ingredientes	Cantidad de ingredientes para 100 kg de alimento (100%)			
	0	10	20	30
Maíz	67,40	56,20	50,00	40,70
Soya	25,00	25,00	22,50	18,40
Chaya	-	10,00	20,00	30,00
Polvillo de arroz	4,00	4,00	1,20	4,00
Aceite de palma	0,70	1,50	3,00	3,10
Núcleo de cerdos en crecimiento	1,20	1,20	1,20	1,20
Carbonato	0,60	1,00	1,10	1,10
Fosfato dicálcico	0,70	0,70	0,80	1,10
Cloruro de sodio	0,40	0,40	0,20	0,4
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

El alimento balanceado fue suministrado durante las jornadas matutina y vespertina estableciendo un mismo horario (8:00 am

y 4:00 pm). En cada tratamiento se controló el peso inicial y final (kg·cerdo⁻¹), consumo de alimento (kg·cerdo⁻¹), incremento de peso (kg·cerdo⁻¹) y conversión de alimento (kg·kg⁻¹).

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos de las variables productivas se analizaron con el programa estadístico InfoStat (versión 24-03-2011, Grupo InfoStat, FCA, Argentina). Se utilizó un análisis de varianza ANAVA, aplicando las pruebas de homogeneidad de Tukey con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados de la composición bromatológica se analizaron mediante la aplicación de estadística descriptiva (media y desviación estándar).

Resultados y discusión

En la tabla 2 son mostrados los resultados de la composición bromatológica de las hojas de chaya.

Tabla 2. Caracterización bromatológica de la hoja de chaya.

Parámetros	Unidad	Media	Desviación estándar
Proteína (6,25)	%	23,57	5,48
Humedad	%	9,71	0,78
Materia seca	%	90,29	0,78
Grasa	%	3,00	0,98
Cenizas	%	12,71	0,71
Fibra bruta	%	14,37	5,43
Extracto libre de nitrógeno	%	36,63	3,57
Energía bruta	Mcal·kg ⁻¹ MS	3,73	0,16
FDN*	%	24,48	8,07
FDA*	%	18,71	10,48

*FDN (fibra detergente neutra) y FDA (fibra detergente ácida).

Como se muestra en la tabla 2, se observa un importante contenido proteico del 23,57%, lo que sugiere que la chaya podría sustituir parcialmente al maíz en la dieta porcina (Herrera et al., 2019). Los resultados del aporte de proteína en la harina respondieron a la disminución del contenido de humedad de la chaya en la deshidratación, donde se logró obtener una mayor concentración de los metabolitos primarios (tabla 2), lo que se corroboró con Ramírez et al. (2021), donde al disminuir el contenido de humedad logró una mayor concentración de proteínas en la harina de hojas de chaya.

El contenido graso registrado en la harina de chaya fue del 3%, lo que difirió de lo reportado por Gregorio et al. (2022), quienes caracterizaron la harina de chaya mansa deshidratada con un perfil lipídico del 7,85%. El perfil lipídico de la chaya integra ácidos grasos como ácido linoleico, ácido linolénico, ácido oleico, ácido esteárico, ácido palmítico o ácido mirístico (Moura et al., 2019), los cuales juegan un rol importante en la dieta de los cerdos debido a que actúan como sustrato de diferentes enzimas y como componentes esenciales en las membranas biológicas



(Guillermo et al., 2021), además de ser una fuente de energía, ejercen potentes efectos sobre el desarrollo intestinal, la función inmune, la respuesta inflamatoria y la palatabilidad del alimento (Garay et al., 2017).

Los resultados del contenido de ceniza, donde incluyeron minerales y fibra bruta, revelaron valores de 12,71 y 14,37%, mostrando una alta similitud. Investigaciones desarrolladas por Scull et al. (2022) y Vázquez et al. (2023), en diferentes especies arbustivas documentan valores de cenizas de 9,02 y 16,80% indicando que estos niveles no mostraron efectos sobre los indicadores productivos de especies animales entre los que se incluye el cerdo.

Los resultados de FDN y FDA de la harina de chaya mostraron una baja presencia de este tipo de compuestos en el material vegetal. Alcívar (2022) al estudiar la composición bromatológica de la harina de chaya deshidratada señaló un bajo contenido de FDN y FDA (cosechada 90 días después del corte de igualación), frente a diferentes especies arbustivas, indicando que estos resultados respondieron a una baja presencia de los compuestos que integran el complejo lignocelulósico.

Comportamiento productivo de los cerdos alimentados con la harina de hojas de chaya

Como se muestra en la figura 1, los resultados del peso inicial de los cerdos no presentaron diferencias estadísticas ($p = 0,9425$) entre los tratamientos, siendo similares a los reportados por Montiel et al. (2023) quienes describieron pesos iniciales de 12,50 y 12,20 kg·cerdo⁻¹, respectivamente.

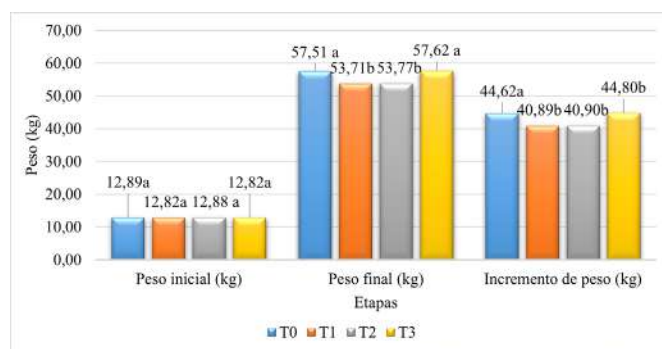


Figura 1. Comportamiento del peso inicial, peso final e incremento de peso de los cerdos durante la etapa crecimiento.

Nota: Valores con diferentes letras en la misma fila difieren a p ($\alpha < 0,05$); T0= 0% de harina chaya, T1=10% de harina de chaya, T2=20% de harina de chaya, T4=30% de harina de chaya.

La inclusión de harina de chaya al 30% en la alimentación de los cerdos durante la etapa de crecimiento produjo resultados

de peso final similares a los del tratamiento testigo, siendo estadísticamente diferentes ($p = 0,0001$) de los tratamientos T1 y T2. En este contexto, Rivero et al. (2020) reportaron resultados similares al utilizar alternativas alimenticias en la dieta de cerdos, documentando una sustitución del 30% del alimento balanceado, lo que demuestra el potencial nutricional de estas alternativas en la dieta porcina durante la etapa de crecimiento.

Con respecto a los resultados del incremento de peso mostraron resultados similares en el tratamiento testigo (T0) y el tratamiento que incluyó la máxima concentración de la harina de Chaya (30%); no obstante, estos tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($p = ,0001$) a los reportados en los tratamientos T1 y T2, quienes evidenciaron un menor incremento de peso. De acuerdo con Vernaza et al. (2022), estas variaciones en el incremento de peso registrado en estos tratamientos estuvieron asociados al aporte de proteínas disponibles en este tipo de alimentos, convirtiéndose en un factor determinante sobre el consumo de aminoácidos esenciales que los animales necesitan para su correcto desarrollo productivo.

En este sentido, estos resultados demostraron el importante aporte de proteínas de la chaya en la dieta de los cerdos, las cuales se encuentran conformadas por aminoácidos importantes como alanina, arginina, glutamato, glutamina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y valina (Tenesgen et al., 2022), los cuales al encontrarse presentes en el alimento promovieron la mejora de los indicadores productivos (Niemi et al., 2020), considerando que la presencia de estos aminoácidos en el tratamiento control.

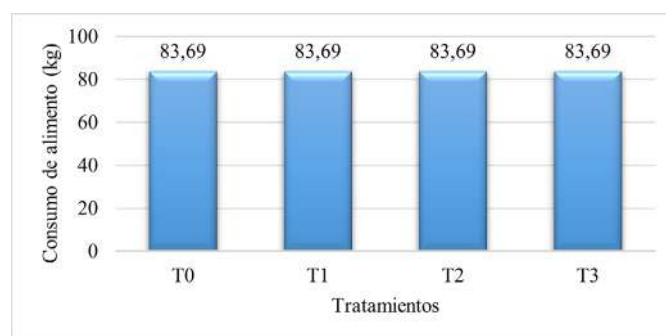


Figura 2. Comportamiento del consumo de alimento por cerdo en la etapa de crecimiento.

Nota: Valores con diferentes letras en la misma fila difieren a p ($\alpha < 0,05$); T0= 0% de harina chaya, T1= 10% de harina de chaya, T2= 20% de harina de chaya, T4= 30% de harina de chaya.

Por otra parte, se puede apreciar que los valores del consumo de alimento registrado para los tratamientos en estudio obtuvieron

como resultados un aumento proporcional al aumentar las semanas, alcanzando hasta la novena un consumo total de 83,69 kg-cerdo⁻¹, respectivamente, en cada uno de los tratamientos en estudio. Esta similitud en el consumo de alimento estuvo dada por el consumo total de las raciones suministradas, de acuerdo con Bergamaschi et al. (2020), estos resultados respondieron a un buen estado de salud y desempeño productivo de los cerdos durante la etapa de crecimiento.

Estudios preliminares con diferentes tipos de harinas no convencionales durante la etapa de crecimiento de los cerdos no han mostrado efectos significativos sobre el consumo de alimento (Contino et al., 2017), similar comportamiento obtuvieron González et al. (2021), al incluir dietas con harinas no convencionales frente a dietas comerciales en la alimentación de cerdos no mostraron efectos significativos al utilizar dietas con 30% de alimentos no convencionales los cuales se acercan a los resultados encontrados en este estudio.

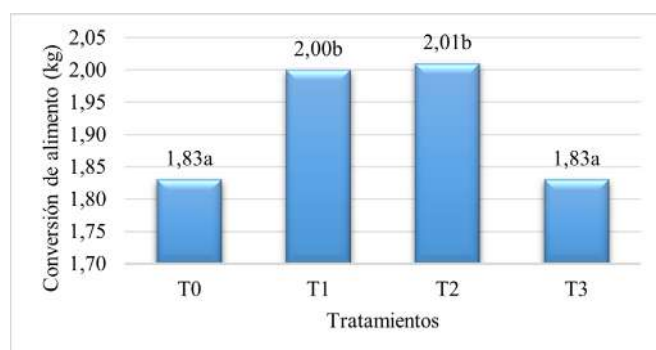


Figura 3. Comportamiento de la conversión de alimento promedio de los cerdos en la etapa de crecimiento.

Nota: Valores con diferentes letras en la misma fila difieren a p ($\alpha < 0,05$); T0= 0% de harina chaya, T1=10% de harina de chaya, T2=20% de harina de chaya, T4=30% de harina de chaya.

Con respecto a los valores de conversión de alimento, se observó que la inclusión de harina de chaya al 30% influyó significativamente ($p < 0,0001$) en comparación con las concentraciones del 10 y 20%. Sin embargo, se encontró una similitud estadística con la conversión de alimento del tratamiento testigo.

Theissen (2016), indicó que la mejora en este indicador al utilizar mayores concentraciones de la harina de chaya mostró un efecto beneficioso que estuvo asociado a la calidad y digestibilidad de la proteína, la cual presentó similitud a la reportada por la harina de soya. En este sentido, Alcívar (2022) al caracterizar la composición química y digestibilidad de la harina de chaya, destacó importantes resultados sobre la digestibilidad *in vitro* de la biomasa seca y la proteína de 59,81 y 76,89%, respectivamente, concluyendo que este tipo de harina puede ser considerada como una alternativa viable en la dieta de los cerdos, aun ante la presencia de sustancias antinutricionales descritas por Gregorio et al. (2022), estas no influyeron negativamente en la dieta de los cerdos.

Conclusión

La inclusión de harina de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) al 30% en la dieta de cerdos en crecimiento demuestra ser una alternativa viable y eficiente, comparable al tratamiento testigo en peso final, incremento de peso y conversión alimenticia, optimizando así los costos de producción al sustituir parcialmente insumos convencionales. Su alto valor nutricional, especialmente su contenido proteico y perfil de aminoácidos esenciales, confirma su potencial como un recurso local sostenible en la alimentación porcina, sin efectos adversos significativos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de investigación de Producción Animal Sostenible (PAS), de la Facultad de Ciencias Zootécnicas de la Universidad Técnica de Manabí por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

- Alcívar, E. (2022). Evaluación del potencial nutritivo de especies arbustivas tropicales para la alimentación de cerdos de traspatio. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81426>
- Alvarado, H. J., Gómez, J. C., Rodríguez, J., López, N., Filian, W. y Vera, M. (2018). Evaluación de tres niveles de tallo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en dietas para cerdos. *Revista de Producción Animal*, 30(1), 8-12.
- Barba, E., Martín, M. and Castillejos, L. (2019). Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*, 223, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>
- Barcaccia, G., D'Agostino, V., Zotti, A., and Cozzi, B. (2020). Impact of the SARS-CoV-2 on the Italian agri-food sector: An analysis of the quarter of pandemic lockdown and clues for a socio-economic and territorial restart. *Sustainability*, 12(14), 5651. <https://doi.org/10.3390/su12145651>
- Bergamaschi, M., Tiezzi, F., Howard, J., Huang, Y. J., Gray, K. A., Schillebeeckx, C., McNulty, N. P. and Maltecca, C. (2020). Gut microbiome composition differences among breeds impact feed efficiency in swine. *Microbiome*, 8(1), 1-15. <https://microbiomejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40168-020-00888-9>
- Campabadal, C. (2009). Guía técnica para la alimentación de cerdos. Asociación Americana de Soya-IM. Imprenta Nacional. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-7847.PDF>



- Contino, Y., Herrera, R., Ojeda, F., Iglesias, J. M., y Martín, J. (2017). Evaluation of the productive performance in growing pigs fed a non-conventional diet. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 152-157. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000200009&script=sci_arttext&tlng=pt
- Ebel, R., de Jesús, M., Castillo, J. A. and Kissmann, S. (2019). Genetic diversity in nutritious leafy green vegetable chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*). *Genetic diversity in horticultural plants*, 22, 161-189. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96454-6_6
- El-Hage, N. (2022). Experiences of low-external-input livestock systems. In: *Managing Healthy Livestock Production and Consumption*, 165-219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823019-0.00025-8>
- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2023). Resumen estadístico. Producción porcina. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf
- Garay, L., Escarria, L., y Garibello, N. (2017). Avances sobre la inclusión de ácidos grasos en la dieta de los cerdos. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda, Colombia. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/d6bb1151-b155-46c3-9db0-73cbf3a51dd1/content>
- Gomes, S. (2021). Factors that encourage the producers to maintain local pig production in the subsistence raising in east timor. *IJRDO-Journal of Agriculture and Research*, 7(2), 1-4.
- González, M., Hernández, M., Vázquez, C., Hernández, E., Martínez, R., y Pérez, J. (2021). Evaluación de parámetros productivos en porcinos alimentados con una dieta no convencional. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8, 133-138.
- Google Earth. (2021). Ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, Chone, provincia de Manabí, Ecuador. <http://bit.ly/2ulfemt>
- Gregorio, M., Figueiredo, G., Jalloul, L., Potinatti, A., Ferreira, I., Queiroz, M., Rodrigo, M., Grigoli, A., Zundt, M. e Alves, S. (2022). Composição nutricional e potencial antioxidante das folhas de Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) em diferentes métodos de cocção. *Research, Society and Development*, 11(8), e0411830212-e0411830212. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30212>
- Guillermo, S., Figueroa, L., Sánchez, T., Cordero, L., Hernández, S., Martínez, J. A., y Crosby-Galván, M. M. (2021). Effectiveness of canola oil in pig diets to improve the lipid profile of meat. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(4), 1083-1097. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5594>
- Gutiérrez, F., Guachamin, D., y Portilla, A. (2017). Valoración nutricional de tres alternativas alimenticias en el crecimiento y engorde de cerdos (*Sus scrofa domestica*) Nanegal-Pichincha. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 142-154. doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.12>
- Herrera, S., Solís, T., Méndez, Y., y Reyes, J. (2019). Gallinas alimentadas con harina de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*). *Revista Universidad y Sociedad*, 11(2), 237-243. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202019000200237&script=sci_arttext&tlng=en
- Huang, C., Chiba, I. and Bergen, G. (2021). Bioavailability and metabolism of omega-3 polyunsaturated fatty acids in pigs and omega-3 polyunsaturated fatty acid-enriched pork: A review. *Livestock Science*, 243, 104370. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104370>
- Jerez, N., Sánchez, M., Pulido, R. and Mendoza, J. (2021). Effect of dietary brown seaweed (*Macrocystis pyrifera*) additive on meat quality and nutrient composition of fattening pigs. *Journals Foods*, 10 (8), 1720. <https://doi.org/10.3390/foods1008172>
- Montiel, M., Rodríguez, J., Gómez, P., Deniz, P., Ruiz, A., y Grageola, F. (2023). Productive performance of Pelón Mexicano pigs in initiation fed with three levels of lysine in the diet. *Latin American Archives of Animal Production*, 31(Suplemento), 115-120. <http://www.doi.org/10.53588/alpa.310521>
- Moura, L. F. W. G., da Silva Neto, J. X., Lopes, T. D. P., Benjamin, S. R., Brito, F. C. R., Magalhães, F. E. A., Florean, E. O. P. T., de Sousa, D. O. B. and Guedes, M. I. F. (2019). Ethnobotanic, phytochemical uses and ethnopharmacological profile of genus *Cnidoscolus* spp. (Euphorbiaceae): A comprehensive overview. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 1670-1679.
- Niemi, J., Bennett, R., Clark, B., Frewer, L., Jones, P., Rimmler, T. and Tranter, R. (2020). A value chain analysis of interventions to control production diseases in the intensive pig production sector. *PLoS One*, 15(4), e0231338.

- Pan, L., and An, D. (2020). Comparative energy and nitrogen excretion from growing pigs fed on corn, sorghum and wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114477. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114477>
- Panghal, A., Shaji, A. O., Nain, K., Garg, K. and Chhikara, N. (2021). *Cnidioscolus aconitifolius*: Nutritional, phytochemical composition and health benefits—A review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 4(11), 260-286. <https://www.doi.org/10.31989/bchd.v4i11.865>
- Pazmiño, M. and Ramírez, D. (2021). Life cycle assessment as a methodological framework for the evaluation of the environmental sustainability of pig and pork production in Ecuador. *Sustainability*, 13(21), 11693. <https://doi.org/10.3390/su132111693>
- Peña, P., Querevalú, J., Ochoa, G. and Sánchez, H. (2020). Biological silage of shrimp waste fermented with lactic acid bacteria: use as a biofertilizer in pasture crops and as feed for backyard pigs. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 459-471. 10.17268/sci.agroecu.2020.04.01
- Ramírez, M., Metri, J., González, M. and Baigts, D. K. (2021). Use of Chaya (*Cnidioscolous chayamansa*) leaves for nutritional compounds production for human consumption. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 65(1), 118-128. DOI: <https://doi.org/10.29356/jmcs.v65i1.1433>
- Rivero, L. E., Caro, Y., Fernández, L. A., Ayala, L., Rivero, A., y Tamayo, Y. (2020). Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento-ceba alimentados con follaje fresco de *Moringa oleifera* Lam., en remplazo parcial de la torta de soya y del maíz. *Livestock Research for Rural Development*, 32(1). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd32/1/lerne32006.html>
- Ron-Garrido, L., Coral-Almeida, M., Gabriël, S., Benitez-Ortiz, W., Saegerman, C., Dorny, P., Berkvens, D. and Nji Abatih, E. (2015). Distribution and potential indicators of hospitalized cases of neurocysticercosis and epilepsy in Ecuador from 1996 to 2008. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9(11), e0004236. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004236>
- Scull, I., Savón, L., Ruíz, T. E. y Rodríguez, Y. (2022). Componentes químicos y efecto de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) en la calidad de la carne de cerdos en crecimiento-ceba. *Livestock Research for Rural Development*, 34(4). 1-12. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd34/4/3433idan.html>
- Tenesgen, M., Yegerem, L. y Yilma, M. (2022). Phenolic acid and amino acid composition of Ethiopian Chaya (*Cnidioscolus chayamans* a). *International Journal of Food Properties*, 25(1), 227-236. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2026953>
- Theissen, M. (2016). Utilización de harina de chaya (*Cnidioscolus aconitifolius*) como fuente de proteína en dietas para lechones destetados. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5762/1/Tesis%20Lic.Zoot.Delsy.pdf>
- Totakul, P., Viennasay, B., Sommai, S., Matra, M., Infascelli, F. and Wanapat, M. (2021). Supplemental effect of Chaya (*Cnidioscolus aconitifolius*) leaf pellet on rumen fermentation, nutrients digestibility and microbial protein synthesis in growing crossbred bulls. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 279-287. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1880978>
- Valverde, A., Gonzalez, A., Alcivar, J. and Rodero, E. (2021). Characterization and typology of backyard small pig farms in Jipijapa, Ecuador. *Animals*, 11(6), 1728. <https://doi.org/10.3390/ani11061728>
- Valverde, A., González, A., and Rodero, E. (2023). Utilization of cooked cassava and taro as alternative feed in enhancing pig production in ecuadorian backyard system. *Animals*, 13(3), 356. <https://doi.org/10.3390/ani13030356>
- Vázquez, Y., Rodríguez, B., Savón, L., y Ruíz, T. (2023). Productive behavior and blood chemistry in replacement pullets of White Leghorn layers fed *Tithonia diversifolia* forage meal. *Tropical Grasslands*, 11(2), 160-168. [http://doi.org/10.17138/TGFT\(11\)160-168](http://doi.org/10.17138/TGFT(11)160-168)
- Vernaza, J., Alcívar, H. y Barcia, X. (2022). Utilización de harina de morera (*Morus alba*) en alimentación de cerdos en etapa de crecimiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 14(2), e918-e918. <https://doi.org/10.24188/recia.v14.n2.2022.918>
- Wongnhor, M. and Khonyoung, D. (2022). Effect of feeding chaya (*Cnidioscolus chayamansa*) leaf on nutrient digestibility and blood profiles in growing dairy cattle. *Journal of Mahanakorn Veterinary Medicine*, 17(1), 91-99. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/jmvm/article/view/254101/174477>
- Wongnhor, M., Malaithong, W. and Khonyoung, D. (2023). Effects of dried chaya leaf meal inclusion in the diet on growth performance and blood profiles in Thai native chicken (*Pradu Hangdum*). *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 10(1), 51. <https://doi.org/10.5455%2Fjavar.2023.j651>
- Yafetto, L., Odamtten, G. T. and Wiafe, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*. (9). 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>



Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Jessica Zambrano-Mendoza: metodología, investigación en campo, desarrollo del borrador original. **Euster Alcívar-Acosta:** metodología, investigación en campo, desarrollo del borrador original. **Cristhian Verduga-López:** Análisis estadístico, redacción- revisión, edición.