

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

LA GRANJA 40

REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Vol. (2)

NÚMERO ESPECIAL

EFFECTOS DEL FENÓMENO DEL NIÑO EN LOS SECTORES PRIORITARIOS DE LA REGIÓN

ISSN impreso: 1390-3799 / ISSN electrónico: 1390-8596

MISCELÁNEOS

El Fenómeno del Niño y la prevalencia de enfermedades infecciosas: Revisión

Riesgo Climático en los Servicios de Salud Local en Ecuador

Impacto de metales en las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas en películas a base de almidón de arrurruz

Cambios por la edad en la hematología y metabolitos sanguíneos de cuyes en sistemas de crianza intensivos en condiciones de trópico húmedo

40
Vol. 2

LA GRANJA
REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

La Granja Revista de Ciencias de la Vida. • Volumen 40 • Número 2 • septiembre 2024 - febrero 2025. Revista semestral de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador. Publicación internacional bilingüe dedicada a estudios relacionados con ciencias ambientales, de la tierra, agropecuarias, biológicas, y sus líneas transversales de conocimiento. Las ideas y opiniones expresadas en las colaboraciones son de exclusiva responsabilidad de los autores y autoras.

EQUIPO EDITORIAL

Consejo Editorial (Editorial Board)

Editores en Jefe (Editors-in-Chief)

Dr. Ignacio de los Ríos, Universidad Politécnica de Madrid, España
Dra. Sheila Serrano Vincenti, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Editores invitados del número especial Efectos del Fenómeno del Niño en los Sectores Prioritarios de la Región (Guest editors of the special issue of Effects of El Niño Southern Oscillation on the Priority Sectors of the Region)

Dr. Rubén Basantes, Red de Cambio Climático (RECC), Universidad YachayTech – Ecuador. (EDITOR INVITADO PRINCIPAL)
Dr. Thomas Condom IRD, Instituto de Geociencias del Medioambiente (IGE) de Grenoble – Francia.
Dr. Edwin Castellanos, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

Editores de sección (Section Editors)

Ciencias de la Tierra (Earth sciences)

Dr. Thomas Condom, Institut de Recherche Pour Le Développement, Francia
Dr. Christian Domínguez, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dr. Charles Cachipuendo, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Ciencias agropecuarias y veterinarias (Agricultural and veterinary sciences)

Dra. Nora Mestorino, Universidad Nacional de La Plata, Argentina
Dra. Nancy Bonifáz, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dra. Laura Huachi, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Ciencias Biológicas, Biotecnológicas, Químicas y afines (Biological, Biotechnological, Chemical and related Sciences)

Dr. Paco Noriega, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dr. Sabino Armenise, Cepsa- Centro de Investigación, España
Dr. Fabián Bersosa, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dr. Rómulo Salazar, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador

Ciencias Ambientales (Environmental Sciences)

Dr. Guillermo Marcillo, University of Illinois Urbana Champaign, EEUU
Dr. César Iván Álvarez, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dra. Ximena Borja, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Ciencias de Alimentos (Food Sciences)

Dr. Rómulo Salazar, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador
Dr. Fabiola Cornejo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador.
Dr. María Corradini, University of Guelph, Canadá

Desarrollo sostenible (Sustainable development)

Dr. Narcisca Requelme, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dr. Lisandro Alvarado, Sistema Nacional de Investigadores (SNI) -Nivel I- CONACYT, México

Coeditor Internacional en inglés (International coeditor in English)

Dr. Lorenzo Guerrini, Università di Firenze, Italia

Coeditor Internacional en portugués (International Coeditor in Portuguese)

Dra. Rocio Elizabeth Contero Callay, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Consejo de Publicaciones (Publication Board)

Dr. Juan Cárdenas Tapia PRESIDENTE
Dr. José Juncosa Blasco ABYA-YALA
Dr. Juan Pablo Salgado VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN
Dr. Angel Torres-Toukoumidis EDITOR DE UNIVERSITAS
Dr. Jaime Padilla Verdugo EDITOR DE ALTERIDAD
Dra. Sheila Serrano Vincenti EDITORA DE LA GRANJA
MSc. Jorge Cueva Estrada EDITOR DE RETOS
Dr. John Calle Sigüencia EDITOR DE INGENIUS
Dra. Floralba Aguilar Gordón EDITORA DE SOPHIA
Dra. Betty Rodas Soto EDITORA DE UTOPIA
Dra. Mónica Ruiz Vásquez EDITORA DEL NOTI-UPS
Dr. Jorge Altamirano Sánchez EDITORA REVISTA CÁTEDRA UNESCO
MSc. David Armendáriz González EDITOR WEB
Dr. Angel Torres-Toukoumidis EDITOR GENERAL

Consejo Técnico (Technical Board)

Lcda. María José Cabrera (Técnica Marcalyc)
Lcdo. Christian Arpi (Coordinador Community Managers)
MSc. Luis Gualco (Maquetador)
Ing. Mariana Luna (Asistente editorial)
Dr. Danny Vargas (Editor Asistente)

Servicio de Publicaciones (Publications Service)

Hernán Hermosa (Coordinación General)
Marco Gutiérrez (Soporte OJS)
Paulina Torres (Edición)
Raysa Andrade (Maquetación)
Martha Vinuesa (Maquetación)
Adriana Curiel (Traductora)

Editorial

Editorial Abya Yala (Quito-Ecuador)
Avenida 12 de octubre N-422 y Wilson
Bloque A, UPS Quito, Ecuador
Casilla 17-12-719
Teléfonos: (593-2) 3962800 ext. 2638
Correo electrónico: editorial@abyayala.org

Fotografía Portada (Cover Photo)

“Poderosa naturaleza”
Cascada San Real, julio 2024
Autor: Karina Guillen
Primer Lugar del Concurso de fotografía del Club Ambiental UPS

LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Volumen 40, Número 2, septiembre 2024 – febrero 2025

ISSN impreso 1390-3799 • ISSN electrónico 1390-8596

La administración de LA GRANJA se realiza a través de los siguientes parámetros:

• La revista utiliza el sistema antiplagio académico  **iThenticate**
Professional Plagiarism Prevention

• Los artículos cuentan con código de identificación (*Digital Object Identifier*)



• El proceso editorial se gestiona a través del *Open Journal System*



Es una publicación de acceso abierto (*Open Access*) con licencia *Creative Commons*



Las políticas *copyright* y de uso *postprint*, se encuentran publicadas en el Repositorio de Políticas de Autoarchivo *Sherpa/Romeo*.

Los artículos de la presente edición pueden consultarse en <https://lagranja.ups.edu.ec/>



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR

LA GRANJA, está indexada en las siguientes Bases de Datos y sistemas de información científica:

BASES DE DATOS INTERNACIONALES SELECTIVAS



PLATAFORMAS DE EVALUACIÓN DE REVISTAS



DIRECTORIOS SELECTIVOS



HEMEROTECAS SELECTIVAS



BUSCADORES DE LITERATURA CIENTÍFICA OPEN ACCESS



POLÍTICAS DE COPYRIGHT DE LAS EDITORIALES Y AUTOARCHIVO



OTRAS BASES DE DATOS BIBLIOGRÁFICAS



CATÁLOGO DE BIBLIOTECAS INTERNACIONALES UNIVERSITARIAS





Universidad
de Navarra

MUHLENBERG
COLLEGE

FRANKLIN & MARSHALL
COLLEGE



TYNDALE
- UNIVERSITY COLLEGE & SEMINARY -



THE UNIVERSITY of NORTH CAROLINA
GREENSBORO



UNC CHARLOTTE

LA GRANJA:
REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Consejo Científico (Advisory Board)

- Dr. Guillermo Marcillo, University of Illinois Urbana Champaign, EEUU
Dr. Alessandro Medici, Università di Ferrara, Italia
Dr. John Mejía, Universidad de Nevada, Estados Unidos
Dra. Enrica Caporali, Università di Firenze, Italia
Dr. Ankit Singla, Ministry Office of Agriculture, Co-operation and
Farmers Welfare, India Government.
Dra. Paola Vita Finzi, Università di Pavia, Italia
Dr. Geovanni Vidari, Università di Pavia, Italia
Dr. Flavio Contreras-Torres, Universidad Autónoma de México, México
Dr. Miguel A. Altieri, University of California, EEUU
Dra. Clara Inés Nicholls, University of California, EEUU
Dr. Jaime Vadell Adrover, Universidad de las Islas Baleares, España
Dra. Janeth Patricia Muñoz Eraso, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
Dr. Marcos Villacís, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Dra. Silvia Perez Damonte, Universidad de Buenos Aires, Argentina
Dr. Fernando Funes Monzote, Universidad de Matanzas, Cuba
Dra. Alessandra Guerrini, Università di Ferrara, Italia
Dr. Giovanni Bernacchia, Università di Ferrara, Italia
Proff. León Escobar Moreira, SYNAPTRONIC, EEUU
Dr. Lorenzo Guerrini, Università di Firenze, Italia
Dr. José Luis Santos. International CLIVAR Project Office, China
Dr. Solveig Tosi, Università di Pavia, Italia
Dra. Priscila dos Santos Silva, Universidad de Sao Paulo, Brasil
Dra. Connie Gallardo Vela, Universidad de Sao Paulo, Brasil
Dr. Thomas Condom, Institut de Recherche Pour Le Développement, Francia
Dr. Leonardo Basile, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Dra. Claudinéia Brazil, Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, Brasil
Dr. Alejandro Fontana, Universidad de Piura, Perú
Dra. Adriana Sánchez Urdaneta, Universidad de Zulia, Venezuela
Dr. Emmanuel Donkor, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, West Africa
Dr. Jorge Palomeque Santiago, Instituto Mexicano del Petróleo, México
Dr. Carlos Hernandez Medina, Centro Universitario Municipal Camajuaní, Cuba
Dr. Daniel A. Lowy, Northern Virginia Community College, EEUU
Dr. László Palcsu, Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Hungría
Dr. Marjan Temovski, Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Hungría
Dr. Elemer Laszlo, Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Hungría
Dr. Pablo Marini, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Dr. Antonio Panico Università degli Studi Pegaso, Italia
Dr. Fernando Bimbela, Universidad Pública de Navarra, España
Dr. Panagiotis Kechagiopoulos, University of Aberdeen, Reino Unido.

Dr. Carlo Visconti, Politecnico di Milano, Italia
Dra. Marta Elena Alonso, Universidad de León, España
Dra. Alison Hanlon, University College Dublin, Irlanda
Dr. Mehmood Ali, NED University of Engineering and Technology, Pakistán
Dra. Ana Teodoro, Universidade do Porto, Portugal

Consejo Internacional de Revisores (International Reviewers Board)

Dr. Guillermo Marcillo, University of Illinois Urbana Champaign, EE.UU.
Dr. Antonio Panico Università degli Studi Pegaso, Italia
Dr. John Mejía, Universidad de Nevada, EE.UU.
Dra. Enrica Caporali, Università di Firenze, Italia
Dra. Nancy Bonifáz, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Dra. Paola VitaFinzi, Università di Pavia, Italia
Dr. Flavio Contreras-Torres, Universidad Autónoma de México, México
Dr. Alejandro Heredia Barbero, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México
Prof. León Escobar Moreira, SYNAPTRONIC, EE.UU.
Dr. Giovanni Vidari, Università di Pavia, Italia
Dra. Lorena Meneses, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
Dr. Fernando Funes Monzote, Universidad de Matanzas, Cuba
Dr. Nicolás Vásquez, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Dr. Giovanni Bernacchia, Università di Ferrara, Italia
Dr. Juan H. Avellaneda Cevallos, Universidad Técnica Estatal de Quevedo Ecuador
Dr. Lorenzo Guerrini, Università di Firenze, Italia
Dr. José Luis Santos, International CLIVAR Project Office, China
Dr. Solveig Tosi, Università di Pavia, Italia
Dra. Pamela Jaramillo, Mikuna-Food Science and Technology, Ecuador
Dr. Juan Enrique Tacoronte, Universidad Central del Ecuador, Ecuador
Dra. Mercy Bordor, Escuela Politécnica del Litoral
Dr. Christian Domínguez, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
MSc. Laura Huachi, Universidad Politécnica Salesiana
Dra. Priscila dos Santos Silva, Universidad de Sao Paulo, Brasil
Dr. Pablo Marini, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Dra. Claudineia Brazil, Universidad de Don Bosco de Puerto Alegre, Brasil
Dra. Adriana Sánchez Urdaneta, Universidad de Zulia, Venezuela
MSc. Bernardo Navarrete, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, Ecuador
Dr. Jorge Palomeque Santiago, Instituto Mexicano del Petróleo, México
Dr. Antonio Panico Università degli Studi Pegaso, Italia
MSc. Patricio Yáñez Moretta, Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador
Dr. Emmanuel Donkor, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, West Africa
Dr. Carlos Hernandez Medina, Centro Universitario Municipal Camajuaní, Cuba
Dr. Daniel A. Lowy, Northern Virginia Community College, EE.UU.
Dr. Marjan Temovski, Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Hungría
Dr. Elemer Laszlo, Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Hungría
Dr. Manuel Maldonado, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
Dr. Mehmood Ali, NED University of Engineering and Technology, Pakistán
Dr. Oscar Peña Cáceres, Universidad Nacional de Piura, Perú
Dra. Ana Teodoro, Universidade do Porto, Portugal
Dr. Panagiotis Kechagiopoulos, University of Aberdeen, Reino Unido
Dr. Carlo Visconti, Politecnico di Milano, Italia
Dr. Fernando Bimbela, Universidad Pública de Navarra, España
Dra. Marta Elena Alonso, Universidad de León, España
Dra. Alison Hanlon, University College Dublin, Irlanda
Dr. Sabino Armenise, Universidad Rey Juan Carlos, España
Dr. Jesús Evaristo Tumi Quispe, Universidad Nacional del Altiplano, Perú

ÍNDICE

Editorial	7
Artículos Científicos	
NÚMERO ESPECIAL: EL FENÓMENO DEL NIÑO EN LOS SECTORES PRIORITARIOS DE LA REGIÓN	
El Fenómeno del Niño y la prevalencia de enfermedades infecciosas: revisión	9
Patricia Molleda y Glenda Velásquez Serra.	
Riesgo Climático en los Servicios de Salud Local en Ecuador	37
Segundo Vilema-Escudero y Marlon Manya Orellana.	
CIENCIAS AGRÍCOLAS	
Impactos ecológicos, económicos y sociales del sector cacaoero Colombiano	50
Diego Ivan Caviedes Rubio, Fabián Eduardo Parra García y Karla Catherine Andrade Vargas.	
El efecto de la temperatura de conservación sobre la viabilidad de las semillas del pijío <i>Cavanillesia platanifolia</i>	65
Ricardo Villalba-Briones, Edwin Rolando Jiménez, Allison Rezabala y Martin Aguirrebengoa.	
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	
Evaluación de la contaminación urbana por emisiones sonoras registradas con sonómetro y nodos sensores	78
Julia Martínez Gavilanes, Omar Delgado Inga, Ismael Vanegas Galindo, Darío Espinoza Saquicela y Francisco Salgado Castillo.	
BIOTECNOLOGÍA	
Impacto en la incorporación de metales en las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas en películas a base de almidón de arrurruz	92
Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho, Carlos Frederico de Souza Castro, Rogério Favareto, Matheus Vinicius Abadia Ventura, Marconi Batista Teixeira y Frederico Antônio Loureiro Soares.	
Evaluación de la composición química del extracto alcohólico de <i>Gynoxys cuicochensis</i> Cuatrec: Identificación de metabolitos y exploración de sus propiedades farmacológicas	100
Omar Malagón, Patricio Cartuche, Gianluca Gilardoni, Sandra Espinosa, Nixon Cumbicus y Angel Montaña.	
Producción de <i>Beauveria bassiana</i> para la formulación de bioplaguicidas	113
Jessenia Lucero, Jorge Manzano, Iliana Loaiza, y Yamile Orellana.	
CIENCIAS VETERINARIAS	
Cambios relacionados con la edad en la hematología y metabolitos sanguíneos de cuyes (<i>Cavia porcellus</i>) en sistema de crianza intensivo en condiciones de trópico húmedo	130
Daniel Paredes-López, Rizal Robles-Huaynate, Uriel Aldava-Pardave y Miguel Morales-Cauti.	
Digestibilidad ileal aparente de la proteína, en pollos de engorde alimentados parcialmente con torta de Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>)	141
José Alcívar-Cobeña, Madeleidy Martínez-Pérez, María Figueroa-Toalombo y Lizeth Salazar-Salazar.	
Normas para autores	149

Estimadas y estimados lectores:

Es un honor presentar el volumen 40 de Revista de Ciencias de la Vida “La Granja”, en esta edición se incluye el Número Especial en “Efectos del Fenómeno del Niño en los sectores prioritarios de la región” que recoge los trabajos de investigadores que han puesto su esfuerzo en entender el grado de influencia del Cambio Climático antrópico sobre la salud pública como un aporte a la gestión del sector salud.

Desde una visión regional, Molleda & Velásquez Serra nos presentan una revisión titulada “El Fenómeno Del Niño y la Prevalencia de Enfermedades Infecciosas” que explora la relación entre los cambios de las precipitaciones y temperaturas ocurridos durante los periodos de “El Niño” y la prevalencia de diversas patologías infecciosas, incluyendo enfermedades virales, bacterianas, parasitarias y fúngicas. Las autoras establecen una relación clara entre eventos climáticos extremos y el incremento de enfermedades como la leptospirosis, dengue, y enfermedades respiratorias. Las conclusiones destacan la necesidad de mejorar los protocolos de vigilancia epidemiológica y alerta temprana para controlar los brotes de enfermedades.

A escala local, el estudio presentado por Vilema-Escudero & Manya, titulado “Riesgo Climático en los Servicios de Salud Local en Ecuador” nos brinda un análisis acerca del impacto del riesgo climático causado por eventos climáticos asociados al fenómeno de “El Niño” en los servicios de salud pública en 221 municipios del Ecuador. Los autores ponen en evidencia que la cobertura sanitaria y la resiliencia comunitaria son factores que influyen de manera positiva a la capacidad de recuperación de la sociedad ante los efectos adversos del clima. Entre los hallazgos más destacados esta la necesidad de incluir las particularidades geográficas locales en la determinación del riesgo climático y la necesidad de mejorar la calidad de la información de salud en las estrategias de planificación sectorial para fortalecer los procesos de toma de decisiones.

Siguiendo con nuestros artículos misceláneos, el trabajo “Impactos ecológicos, económicos y sociales del sector cacaoero colombiano” de Diego Iván Caviades y Fabián Parra de la Universidad Cooperativa de Colombia, junto con Karla Andradek, de la Universidad de Kyoto de Japón, analiza los efectos de la producción de cacao en Colombia; utilizando una revisión sistemática basada en el Joanna Briggs Institute, los autores identifican 59 impactos clave en las principales regiones productoras del país, destacando la relevancia de estos hallazgos para el desarrollo sostenible del sector.

Desde el área de la conservación, Ricardo Villalba-Briones y Edwin Jiménez de Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador; Allison Rezabala (Consultora Independiente) y Martin Aguirrebengoa de la Universidad de Granada de España; examinan cómo la temperatura de conservación influye en la viabilidad de las semillas del pijo *Cavanillesia platanifolia*, especie amenazada. El estudio encontró que la conservación en frío mejora la tasa de emergencia y reduce la mortalidad de las plántulas, sugiriendo su potencial para planes de reforestación en el neotrópico.

Asimismo, Julia Martínez y su equipo de la Universidad del Azuay del Ecuador, se aborda el problema del ruido urbano en Cuenca, en 31 puntos de la ciudad, revelando que en la mayoría de las zonas analizadas, el ruido excede los límites establecidos por la normativa nacional. Además, se compararon datos de sonómetro y nodos sensores, mostrando una alta correlación y subrayando la importancia de calibrar los instrumentos para garantizar la precisión de las mediciones sonoras.

Y desde las ciencias biotecnológicas Antonio Pereira de Menezes Filho, y su equipo del Instituto Federal Goiano de Brasil, investigan la influencia de la incorporación de metales en la biodegradabilidad y propiedades antimicrobianas de películas biodegradables de almidón de arrurruz. El estudio demuestra que la adición de sulfatos y cloruros de

metales mejora significativamente la biodegradabilidad, la resistencia a la radiación UV y la inhibición bacteriana, sugiriendo el potencial de estas películas para aplicaciones en embalajes biodegradables con propiedades antimicrobianas mejoradas.

Asimismo, Omar Malagón, y su equipo de investigadores de la Universidad Técnica Particular de Loja del Ecuador, presentan una investigación exhaustiva sobre la caracterización química del extracto etanólico de *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec, planta endémica de los páramos de Loja. A través de técnicas avanzadas como la cromatografía y la espectrometría de masas, se identificaron dos metabolitos clave: la nicotiflorina, un flavonoide glicosilado, y el ácido 1,3 - di-O-trans-feruloilquinico, un derivado fenólico.

En la misma área, Jessenia Lucero y su equipo del Instituto Superior Tecnológico Manuel Encalada Zúñiga del Ecuador, exploran el desarrollo de bioplaguicidas a partir de *Beauveria bassiana*, un microorganismo con gran potencial entomopatógeno. El estudio destaca la importancia de optimizar las condiciones de cultivo y fermentación para la producción a gran escala, subrayando la relevancia de estas biotecnologías en la reducción del uso de plaguicidas sintéticos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que garanticen alimentos libres de residuos tóxicos.

Desde las ciencias agropecuarias, los investigadores peruanos Daniel Paredes-López de la Univer-

sidad Nacional Agraria de la Selva, Uriel Aldava-Pardave de la Universidad Nacional Agraria La Molina y Miguel Morales-Cauti de Universidad Nacional Mayor de San Marcos; examinan los perfiles hematológicos y metabolitos sanguíneos en cuyes criados bajo un sistema intensivo en el trópico húmedo. El estudio revela que estos parámetros muestran variaciones significativas con la edad, proporcionando información clave para el manejo y bienestar de los cuyes en producción intensiva. Estos hallazgos son cruciales para mejorar las prácticas de crianza y asegurar la salud de los animales en este tipo de sistemas productivos. En la misma área, José Alcívar-Cobeña y su equipo de la Universidad Estatal del Sur de Manabí del Ecuador y el Instituto de Ciencia Animal de Cuba, presentan un estudio experimental para evaluar la digestibilidad en pollos Cobb 500 alimentados con diferentes niveles de inclusión de torta de Sacha Inchi, los resultados sugieren que fue complemento viable en la dieta de pollos de engorde, con beneficios para la eficiencia alimentaria y el bienestar animal.

En conclusión, estos artículos científicos ofrecen un valioso conocimiento en diversas áreas de investigación. Así, este número refleja nuestro compromiso continuo en integrar temáticas relevantes que signifiquen el punto de partida en la gestión de sectores estratégicos para el incremento de la resiliencia de la población frente a los efectos adversos del cambio climático. Te invitamos a sumergirte en estas investigaciones que aportan soluciones relevantes a los desafíos actuales.

Cordialmente,

PhD. Sheila Serrano Vincenti
Universidad Politécnica Salesiana
EDITORA EN JEFE

PhD. Ignacio de los Ríos
Universidad Politécnica de Madrid
EDITOR EN JEFE

PhD. Rubén Basantes
Universidad Yachay-Tech
EDITOR INVITADO



EL FENÓMENO DEL NIÑO Y LA PREVALENCIA DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS: REVISIÓN

EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION AND THE PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES: REVIEW

Patricia Molleda*¹  y Glenda Velásquez Serra² 

¹Universidad Tecnológica Ecotec. Facultad de Ciencias de la Salud y Desarrollo Humano. Km.13.5 Samborondón, Samborondón, EC092302, Ecuador. Guayaquil.

²Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Médicas. Catedra Patologías Infecciosas. Guayaquil. Guayas. Ecuador.

*Autor para correspondencia: pmolleda@ecotec.edu.ec

Manuscrito recibido el 01 de marzo de 2024. Aceptado, tras revisión el 25 de julio de 2024. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

Los cambios climáticos causados por el Niño oscilación sur (ENOS) influyen significativamente en las enfermedades humanas, debido a que está relacionado con anomalías en las precipitaciones o períodos de sequía. El presente trabajo estableció como objetivos específicos: evaluar las anomalías del promedio de la temperatura de la superficie del mar, calcular el promedio de la temperatura de la superficie del mar de las regiones del Niño y Niño 1+2, contextualizar las patologías infecciosas según su clasificación: virales, bacterianas, parasitarias y causadas por hongos en las áreas geográficas o países de la Región donde han sido más estudiadas en el contexto histórico (1982-1983; 1997-1998 y 2016-2017) períodos de ENOS considerados fuertes. Se realizó una revisión bibliográfica, descriptiva, documental, retrospectiva y de corte transversal durante los meses de octubre 2023 a marzo de 2024. Las temperaturas de la Superficie del Mar (TSM) son superiores al promedio observándose por todo el Océano Pacífico ecuatorial, siendo mayores las anomalías en el Pacífico central y centro-este. Para ENOS 2023-2024, en la región Niño 4 los últimos valores calculados del índice Niño se mantuvieron a una temperatura de +1,4 °C, en la región Niño 3,4 fue de +1.9, en la región Niño -3 fue de +2,0 °C mientras que en la región Niño -1+2 se debilitó a +1,0 °C. Destaca la mayor prevalencia de infección de ENOS (1997-1998) en Ecuador, contabilizando un incremento en 13 patologías infecciosas. Se debe prestar atención y comprender mejor los vínculos que existen entre el medio ambiente y los riesgos de infección.

Palabras clave: ENSO, temperatura, clima, cambios, patologías infecciosas.

Abstract

Climate changes caused by the El Niño oscillation southern (ENSO) significantly influence human diseases, because they are related to anomalies in precipitation or periods of drought. The aims of this paper are: to evaluate the anomalies of the average sea surface temperature, to calculate the average sea surface temperature of the Niño and Niño 1+2 regions, to contextualize infectious pathologies according to their classification: viral, bacterial, parasitic and caused by fungi in the geographical areas or countries of the Region where they have been studied in the historical context (1982-1983; 1997-1998 and 2016-2017) periods of the ENSO considered strong. A bibliographic, descriptive, documentary, retrospective and cross-sectional review was carried out during the months of October 2023 to March 2024. Sea Surface Temperatures (SST) are higher than average, observed throughout the equatorial Pacific Ocean, with anomalies being greater in the central and central-eastern Pacific. For ENSO 2023-2024, in the Niño 4 region the last calculated values of the Niño index remained at a temperature of +1.4 °C, in the Niño 3,4 region it was +1.9, in the Niño -3 region it was +2.0 °C while in the Niño-1+2 regions it weakened to +1.0 °C. The highest incidence and prevalence of ENSO infection (1997-1998) in Ecuador stands out, accounting for an increase in 13 infectious pathologies. Attention must be paid and the links between the environment and the risk of infection must be better understood.

Keywords: ENSO, temperature, climate, changes, infectious pathologies.

Forma sugerida de citar: Molleda, P. y Velásquez Serra, G. (2024). El Fenómeno del Niño y la prevalencia de enfermedades infecciosas: revisión. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):9-36. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.01>.

Orcid IDs:

Patricia Molleda: <https://orcid.org/0000-0002-0845-5611>

Glenda Velásquez Serra: <https://orcid.org/0000-0003-0942-2309>

1 Introducción

El Niño/Oscilación del sur (ENSO) es un fenómeno climático que modula la variabilidad del clima a nivel global y nacional a escala de tiempo interanual (NOAA, 2024). Causa el calentamiento anormal de las aguas del Océano Pacífico cerca de las costas de Perú y Ecuador, provocando impacto sobre el Océano Índico, Sur de África Ecuatorial norte, Suramérica y marginalmente Europa (Huarcaya Castilla et al., 2004; Rúa-Uribe et al., 2013). El ENSO también se refiere a las alteraciones de la circulación normal del océano y de la atmósfera (Huarcaya Castilla et al., 2004; Rúa-Uribe et al., 2013; NOAA, 2024). Ocurre a intervalos de tiempo entre 2 a 7 años, influyendo en el componente oceánico asociado a cambios en la Temperatura Superficial del Mar (TSM), en el Océano Pacífico Tropical y afectando también el componente atmosférico (Kovats, 2000; NOAA, 2024; Latif et al., 2015). Se encuentra igualmente relacionado con las variaciones de la presión atmosférica que se presenta entre el occidente y el oriente del Océano Pacífico Tropical, perturbando el clima global a través de teleconexiones atmosféricas (Huarcaya Castilla et al., 2004; Rúa-Uribe et al., 2013; NOAA, 2024; Carlowicz and Schollaert, 2017; Kovats, 2000; Li et al., 2021).

Los eventos Niño/Niña son partes del ciclo climático a nivel global, donde el Niño se produce por el calentamiento del agua del pacífico ecuatorial, mientras que la Niña ocurre en la fase de enfriamiento. Durante el Niño, las costas occidentales y el extremo sur de América del Sur experimentan lluvias intensas lo que provoca niveles de agua más altos, mientras al norte del subcontinente y gran parte de Centroamérica y el Caribe experimentan falta de precipitaciones con alta probabilidad de que ocurran sequías y un alto riesgo de incendios forestales. En la fase de la Niña se registra el comportamiento inverso (Marinho et al., 2022; Fleck, 2022; Huarcaya Castilla et al., 2004; Fuller et al., 2009; Moraes et al., 2019; Kovats, 2000; Fan et al., 2017).

Por el gran tamaño de la cuenca del océano Pacífico, que se extiende sobre un tercio del planeta, los cambios experimentados por la temperatura, el viento y la humedad se transmiten por el mundo. Por lo cual se evidencia que el ENSO es un fenómeno de la interacción océano-atmósfera rela-

cionado con la variabilidad climática (Del Carpio, 2023). Las variaciones de las condiciones del océano provocan cambios en los patrones climáticos y la pesquería a lo largo de las costas occidentales de América (NOAA, 2024). Es importante acotar que los impactos del ENSO en Sudamérica producen un patrón de inundaciones a lo largo de la costa oeste de Ecuador, Perú y Colombia y sequías en la Amazonia y noreste del continente. Además, las zonas secas de países como Perú, Chile, México y el suroeste de Estados Unidos con frecuencia se observan inundados por lluvias y nieve y en los desiertos áridos se observan flores. También, las regiones más húmedas de la amazonia brasileña y el noreste de Estados Unidos a menudo sufren sequías que duran muchos meses (Carlowicz and Schollaert, 2017; Huarcaya Castilla et al., 2004; NOAA, 2024; Cai et al., 2020; Del Carpio, 2023; Lam et al., 2019; Da Silva et al., 2020; Yglesias-González et al., 2023).

Los cambios climáticos provocados por ENSO influyen significativamente en las enfermedades humanas, debido a que está relacionado con anomalías en las precipitaciones en muchas ciudades del mundo durante el periodo Niño/Niña se observan abundantes precipitaciones o periodos de sequía, por lo cual todas estas inundaciones de las zonas afectadas provocan el aumento de las infecciones con alto riesgo epidémico tales como: las enfermedades metaxénicas, dérmicas e incremento de enfermedades diarreicas e infecciones de las vías respiratorias inferiores (Arbo et al., 2022; Flahault et al., 2016).

Todo lo anteriormente expuesto tiende a aumentar el riesgo de infecciones unido también a la mala práctica de almacenamiento de agua, falta de acceso a buena calidad de agua, carencia de instalaciones sanitarias, obligando a las personas a recurrir a la defecación a cielo abierto, suministro y agua no apta para el consumo humano todo asociado a la falta de gestión de residuos sólidos, provocando la acumulación de basuras y trayendo como consecuencia un elevado incremento de plagas y vectores (Loayza-Alarico and De La Cruz-Vargas, 2021; Anderson, 2010; Lam et al., 2019; Da Silva et al., 2020; Kovats, 2000; Molleda and Velásquez, 2022; Arbo et al., 2022; Woyessa et al., 2023).

Al respecto, la malaria es una de las enfermedades más estudiadas. En un estudio realizado en

Piura-Perú entre 1996 y 1997 se determinó que la mayor incidencia de casos ocurría en el mes de mayo, tras las precipitaciones de abril (Huarcaya Castilla et al., 2004; Cai et al., 2020). La investigación reveló que incidía en el incremento de criaderos y el desarrollo del vector y la transmisión era favorecido por la temperatura ambiental incluso en altitudes inusuales. Esta observación fue corroborada en el oeste de Kenia, indicando que pueden ocurrir brotes de malaria a altitudes superiores a los 2000 msnm si la temperatura es superior a 18 °C y las precipitaciones exceden los 15 mm³/mes (Huarcaya Castilla et al., 2004). Tales cambios climáticos influyen en las condiciones de vida, longevidad y dinámica de los Anopheles adultos, repercutiendo de esta manera en la transmisión de esta enfermedad (Huarcaya Castilla et al., 2004).

Asimismo, un equipo de investigadores descubrió que existe una relación sólida entre las condiciones meteorológicas que provoca el ENSO en el Pacífico y las epidemias de dengue que ocurren en Sri Lanka. Los resultados revelaron que el riesgo de dengue fue elevado a precipitaciones superiores a los 50 mm por semana. La relación más sólida entre la precipitación y el dengue fue entre seis y diez semanas luego de producirse precipitaciones superiores a 300 mm semanales, con situación de extrema humedad y alta probabilidad de inundaciones. De igual forma, indican que el aumento de la temperatura hasta 30 °C o más provoca un aumento constante en el riesgo de dengue con un retardo de a partir de cuatro semanas tras producirse este evento (Liyanaage et al., 2016; Fuller et al., 2009).

El ENSO y su variabilidad climática global ejerce influencia sobre los componentes sociales y económicos, pero la forma en que estos cambios afectan la salud humana está poco estudiada (Anttila-Hughes et al., 2021). Por la repercusión de las zonas afectadas, en la época del ENSO en las zonas geográficas costeras cerca del océano pacífico donde este evento suele producir además de anomalías en la temperatura y en la precipitación también suelen ocurrir deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, sequías entre otros desastres naturales, que producen afectación de la salud en las comunidades. Por lo que se debe conocer e identificar la prevalencia de enfermedades provocadas durante estos fenómenos meteorológicos extremos para realizar planes de prevención que eviten la proliferación de

epidemias o de vectores transmisores de patologías infecciosas, virales, bacterianas, parasitarias o causadas por hongos.

Esta revisión bibliográfica se llevó a cabo con la finalidad de evaluar las anomalías del promedio de la temperatura de la superficie del mar, calcular el promedio de la temperatura de la superficie del mar de las regiones del Niño, analizar el aumento de la temperatura del ENSO en la Región Niño 1+2 (Región del Pacífico que afecta Ecuador) según los datos aportados por el centro National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), también bibliográficamente se analizará la temperatura del aire y la precipitación mensual para contextualizar y clasificar las patologías infecciosas en: virales (Dengue, Zika, Chikungunya, Fiebre del Valle del Rift, Influenza, Enterovirus), bacterianas (Leptospirosis, Shigelosis, Colera, Salmonelosis, Peste) parasitarias (Cryptosporidiosis, Esquistosomiasis, Leishmaniasis) y causadas por hongos (Micosis, Coccidiomycosis, Pitiriasis) que han incidido en la población de los países o áreas geográficas de las regiones donde han sido más estudiadas estas infecciones durante el fenómeno del Niño ocurridos a lo largo de los años 1982-1983; 1997-1998 y 2016-2017 períodos de ENSO considerados fuertes.

2 Materiales y Métodos

Se realizó una investigación bibliográfica, descriptiva, documental, retrospectiva y de corte transversal durante los meses de octubre 2023 a marzo de 2024. El estudio fue estructurado mediante búsqueda bibliográfica en la base de datos *Pubmed* (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>). También, se consideraron los artículos publicados por la OMS (<https://www.paho.org/es>, <https://www.cdc.gov/>, centro National Oceanic and Atmospheric Administration <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/el-nino>).

En la barra del motor de búsqueda se utilizaron las siguientes ecuaciones como filtros para la derivación de artículos encontrándose dentro de los descriptores DeCS/MeSH: "Enfermedades infecciosas", "Enfermedades Transmitidas por vectores", "Dengue", "Zika", "Chikungunya", "Fiebre del valle del Rift", "Enfermedades respiratorias", "Diarreas", "Colera", "Salmonelosis", "Shige-

losis", "Peste", "Hantavirus", "Cryptosporidiosis", "Leishmaniasis", "Micosis", "Coccidiomycosis", "Pitiriasis" para la clasificación de enfermedades virales, bacterianas, parasitarias y transmitidas por hongos. Para asociar las enfermedades infecciosas con los factores climáticos se buscaron los si-

guientes términos: "ENSO", "ENSO y enfermedades", todos combinados con los operadores booleanos AND, OR, NOT y NOR. En la Figura 1 se observa el algoritmo utilizado para la selección de artículos y la estrategia de búsqueda y selección para la ejecución de la revisión bibliográfica.

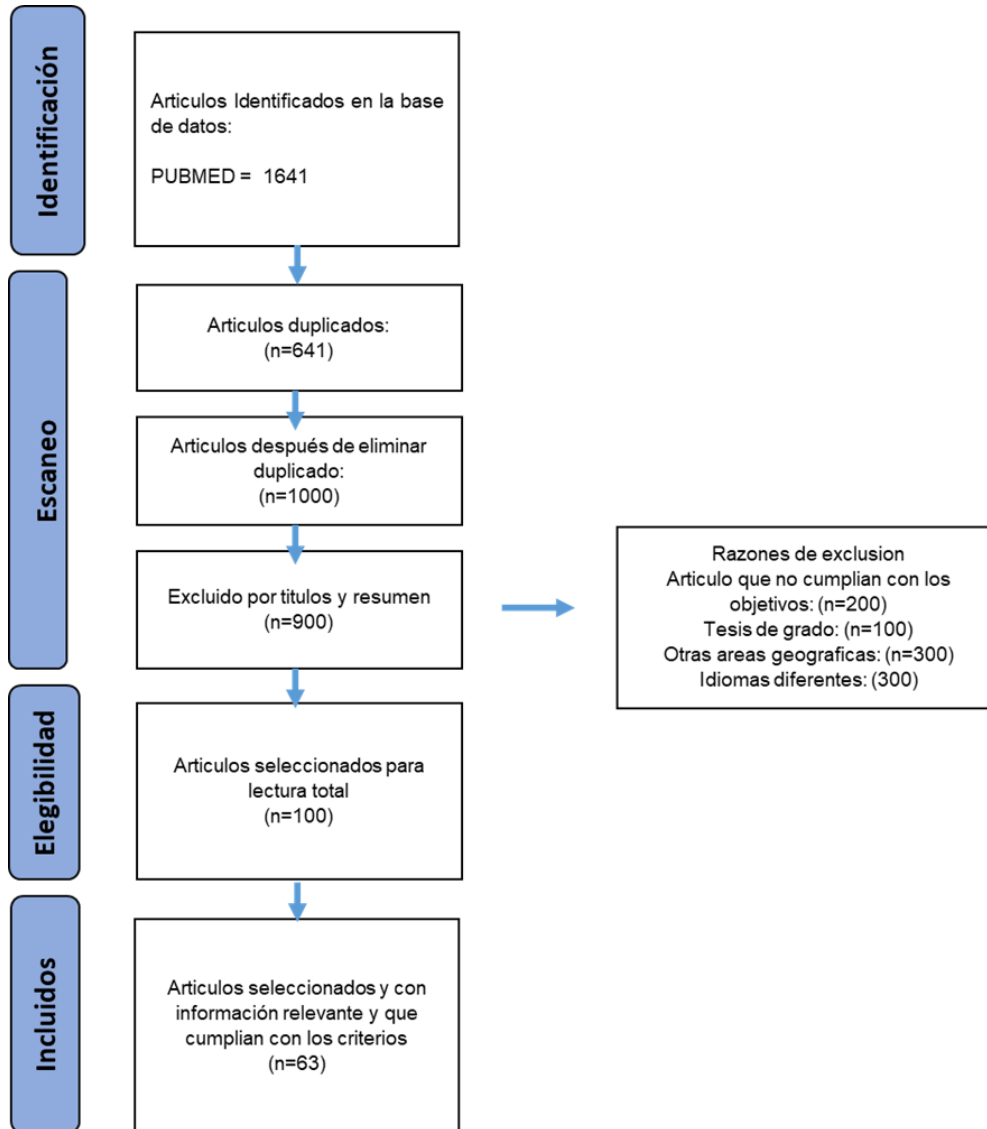


Figura 1. Algoritmo utilizado para la selección de los artículos. Estrategia de búsqueda y selección de los artículos científicos para la ejecución de la revisión bibliográfica.

Se consideraron los criterios de inclusión: artículos publicados desde 2000 hasta 2023 sobre las enfermedades infecciosas y su relación con las va-

riaciones climáticas del ENSO de los años 1982-1983/1997-1998/2016-2017, períodos considerados fuertes. También, se incluyeron artículos origina-

les revisados por pares en revistas indexadas, estudios comparativos, evaluación y metaanálisis en idioma inglés, español y portugués, que informaran la asociación cuantitativa con datos epidemiológicos entre las enfermedades virales, bacterianas, parasitarias y producidas por hongos de la población y el ENSO. Fueron excluidos de la investigación las guías, cartas al editor, editoriales, tesis, disertaciones. Los artículos en idiomas diferentes al español, inglés o portugués y los artículos no publicados entre 2000 y 2023.

2.1 Recolección de la información

La búsqueda bibliográfica fue verificada dos veces hasta obtener resultados consistentes. Para las enfermedades virales transmitidas por vector como dengue se encontraron 429 artículos, para Zika 139 artículos, para Chikungunya 182 artículos, para las Fiebre del Valle del Rift 156 artículos, para Leptospirosis 91 artículos, para Influenza 235 artículos, para Enterovirus 19 artículos, para Salmonelosis 69 artículos, Peste 33 artículos, Shigelosis 3 artículos, para Criptosporidiosis 38 artículos, para Leishmaniasis 111 artículos, Micosis 2 artículos, Coccidiosis 3 artículos.

Estos artículos fueron evaluados para aplicar los criterios de exclusión e inclusión, posteriormente fueron organizados en una hoja Excel según la enfermedad infecciosa, el año del ENSO, el área o zona geográfica para seleccionar los que más se

adaptaban a los objetivos del estudio.

Posteriormente, la selección de los artículos se realizó según el área o zona geográfica afectada por el ENSO, año en el cual se registraron los datos (1982-1983/1997-1998/2016-2017) y según la enfermedad infecciosa presentada (virales, bacterianas, parasitarias y producidas por hongos).

3 Resultados y Discusión

En la Figura 2 se observa que las temperaturas de la Superficie del Mar (TSM) son superiores al promedio observado por todo el Océano Pacífico ecuatorial, siendo mayores las anomalías en el Pacífico central y centro-este. Según la administración nacional oceánica y atmosférica NOAA, centro para la predicción del clima de la NOAA y el servicio meteorológico nacional de Estados Unidos se espera que los meses de abril-junio del año 2024 sean considerado neutros con una probabilidad del 73% el ENSO 2023-2024. En diciembre del 2023 disminuyeron las anomalías positivas de la temperatura subsuperficial del mar del Océano Pacífico, esto refleja que se producirá un fortalecimiento y se expandirá la temperatura subsuperficial hacia el este del océano, las cuales serán inferiores al promedio en el Pacífico Occidental (NOAA, 2024). Por lo cual el ENSO en algunas de las Regiones del Niño podría no causar tantos daños como los eventos del Niño considerados fuertes.

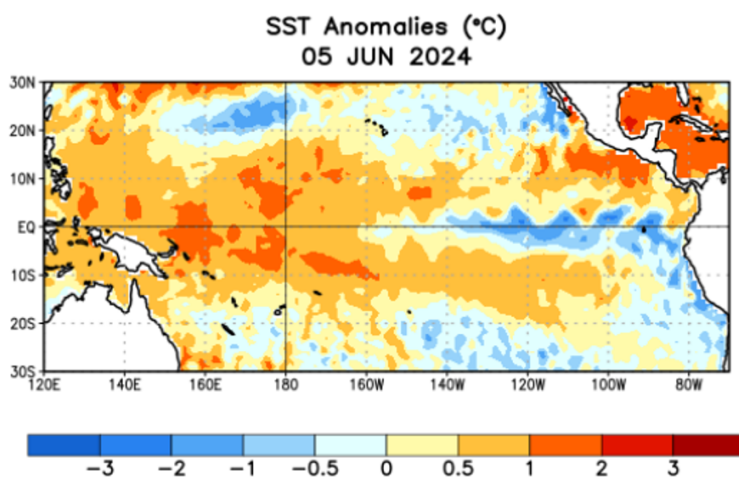


Figura 2. Anomalías del promedio de la temperatura de la superficie del mar (SST) °C para la semana del 3 de enero de 2024. Las anomalías se calculan con respecto a las medias semanales del periodo base 1991-2000. Fuente: NOAA 2024.

Debido a la extensión del Océano Pacífico para efecto del ENSO este ha sido dividido en regiones Niño o áreas. Según las regiones del ENSO en el Océano Pacífico (Figura 3) para el evento del Niño 2023-2024, en la región Niño 4 los últimos valores calculados del índice Niño se mantuvieron a una temperatura de +1,4°C, en la región Niño 3.4 la tem-

peratura fue de +1.9, en la región Niño 3 la temperatura fue de +2,0°C mientras que en la región Niño 1+2 se debilitó a +1,0°C (NOAA, 2024). En la Región Niño 4 y Niño 3.4 se observó aumento de la temperatura (TSM) a partir del mes de abril aumentando progresivamente desde el mes de junio siendo mayor durante el mes de diciembre.

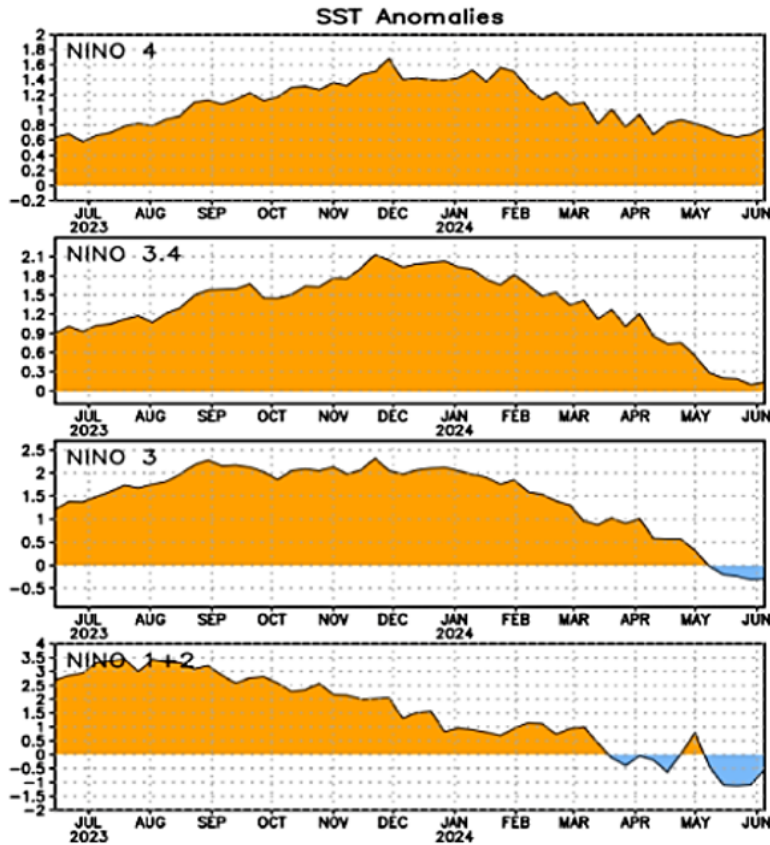


Figura 3. Series de tiempo del promedio de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar, anomalías en °C de las regiones del Niño (Niño-1+2) (0°S,90°W-80°W), Niño-3 (5°S,150°W-90°W), Niño-3.4 (5°N-5°S,170°W-120°W, Niño-4 (5°N-5°S,150°W-160°E). Las anomalías se calculan con respecto a las medias semanales del período base 1991-2000. Fuente: NOAA 2024.

La región Niño 3 mostró aumento de la temperatura a partir del mes de marzo siendo superior la temperatura (TSM) durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2023. Para la región Niño 1+2 Región que afecta países como Ecuador y Perú se observa aumento de temperatura desde febrero manteniéndose elevado hasta junio que baja para volver a aumentar la temperatura del mar durante los meses de julio, agosto,

septiembre, octubre, noviembre y en diciembre comienza a descender dicha temperatura.

La Figura 4 muestra la evolución del ENSO desde 1957-58; 1965-66; 1982-1983; 1991-1992; 1997-1998; 2009-2010; 2015-2016 hasta el mes de noviembre del 2023 con respecto a la temperatura (los años en rojo han sido considerados niños fuerte). En esta gráfica se evidencia cómo el ENSO ocurrido duran-

te el período 1982-83 elevó la temperatura a 4 °C durante los meses de julio a enero y durante el evento del Niño de 1997-1998, alcanzando también temperaturas de 4 °C durante los meses de marzo a septiembre (NOAA, 2024). La región Niño 1+2 es la zona del Océano Pacífico que se toma en cuenta para observar las variaciones climáticas provocadas por

el ENSO en los países de Perú y Ecuador. Esta gráfica muestra las anomalías de la temperatura sobre la superficie del mar (TSM) en la región Niño 1 y Niño 2 con las coordenadas 0-10° Sur 90° Oeste 80° Oeste. Los valores fueron calculados a partir del ERSST V5 mensual por NOAA/CPC (NOAA, 2024).

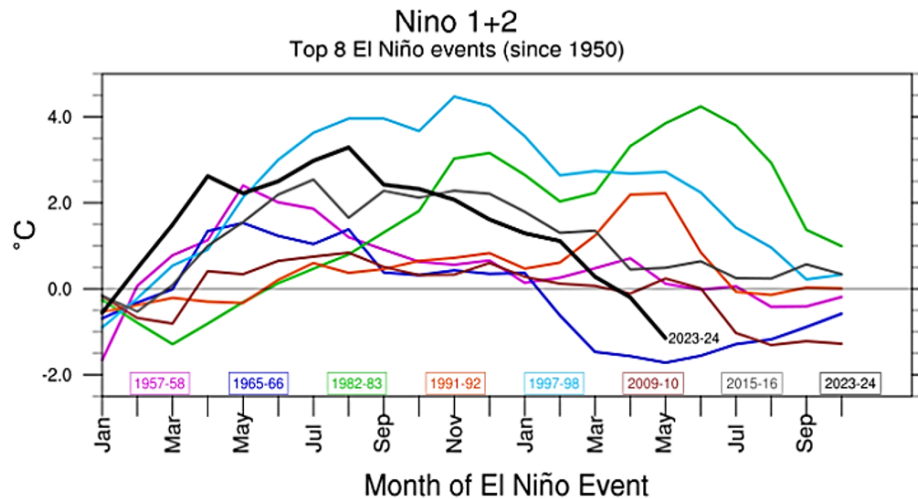


Figura 4. Relación de la temperatura sobre el nivel del mar (TSM) desde el fenómeno del Niño de 1950 hasta el fenómeno del Niño 2023. Fuente: NOAA 2024.

Los fenómenos del Niño de los años 1982-1983 y 1997-1998 han sido considerados los mayores del siglo 20 debido a que han causado las peores catástrofes especialmente en América del Sur, lo cual obligó a los gobiernos e investigadores a realizar más estudios para poder comprender la naturaleza y de esta forma predecir el ENSO para lograr reducir el impacto de los desastres climáticos provocados por este evento (Kovats, 2000). La línea negra representa el ENSO 2023-2024 cuya temperatura (TSM) comienza a disminuir a partir del mes de enero del 2024, por esta razón el Fenómeno del Niño de este período es considerado neutro o moderado porque las temperaturas no han superado los 2,5 °C (NOAA, 2024).

En la Tabla 1 se observa la prevalencia de enfermedades infecciosas ocurridas durante los Fenómenos del Niño más fuerte ocurrido en el siglo 20 (años 1982-1983/ 1994-1995 /1997-1998) reportados para los países de Sudamérica como: Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela y Colombia. Se destaca la mayor

incidencia y prevalencia de ENSO (1997-1998) en Ecuador, contabilizando un incremento en 13 patologías infecciosas. En segundo orden Brasil que exhibe incremento de las Encefalitis (Rio, Virus del Oeste del Nilo y Rocío) Niño (1994-1995). En tercer lugar, en Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela ascendieron considerablemente los casos de malaria (1982-1983). Al igual que los casos de Dengue en Ecuador, Perú y Brasil en 2016-2017 aumentaron ampliamente.

En la Tabla 2, de un total de 1641 artículos encontrados en la base de datos consultada se seleccionaron 63 artículos que cumplían con los objetivos planteados en la revisión y los criterios de inclusión/exclusión. Dichos artículos se encuentran clasificados según la enfermedad en virales, bacterianos, parasitarios y transmitidos por hongos. De los 1641 artículos para el Dengue se encontraron un total 429, de los cuales 10 fueron seleccionados debido a que cumplían con los objetivos del estudio. Para Zika de 139 artículos encontrados en la base

de datos se seleccionaron 6, para Fiebre del Valle del Rift de 156 se seleccionaron 3 artículos, para Enterovirus de 19 se seleccionaron 3 artículos, Gastroenteritis infecciosa de 42 se seleccionó 1 artículo, para Influenza de 235 se seleccionaron 6 artículos.

En las enfermedades bacterianas como Leptospirosis de 91 artículos encontrados en las bases de datos se seleccionaron 7 artículos, para Colera de 273 se seleccionaron 4, para Shigelosis de 3 se seleccionaron 2 y para Peste de 33 se seleccionaron 2. En relación con la búsqueda bibliográfica realizada

sobre las enfermedades parasitarias, para Leishmaniasis de 111 artículos se seleccionaron 2, para *Cryptosporidium* de 38 se seleccionaron 2 artículos, para *Ciclospora* de 6 se seleccionó 1 artículo. En cuanto a las enfermedades transmitidas por hongos en la base de datos para Micosis de 2 artículos se seleccionó 1 y para Coccidiomicosis de 3 artículos se seleccionaron 2. Además, fueron seleccionados 5 artículos cuya temática tratan sobre las enfermedades infecciosas en general y la influencia del ENSO que se consideraron interesantes ya que cumplían con los objetivos del estudio.

Tabla 1. Enfermedades infecciosas asociadas al fenómeno del Niño en Latinoamérica Años 2000-2019.

Enfermedad	País o región	Año del Fenómeno del Niño	Referencia
Malaria	Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela y Colombia	1982-1983	Kovats (2000)
Paludismo	Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia	1982-1983	Huarcaya et al. (2004)
Encefalitis del oeste del Nilo			
Fiebre del Río Ross	Brasil	1994-1995	Huarcaya et al. (2004)
Encefalitis del Roció			
Colera			
Conjuntivitis			
Diarrea			
Enfermedades de transmisión sexual			
Fiebre amarilla Chagas			
Hepatitis	Ecuador	1997-1998	OPS (2000)
Leishmaniasis			
Leptospirosis			
Malaria			
Paludismo			
Peste			
Varicela			
	Perú	1997-1998	Huarcaya et al. (2004)
Dengue	Ecuador	2010-2011	Stewart et al. (2013); Lipi et al. (2018)
	Brasil	2015-2016	Anyamba (2019)

Fisman et al. (2016) realizaron un estudio relacionado con el ENSO y las enfermedades infecciosas en Estados Unidos, y señalaron grupos de enfermedades que pueden provocar los cambios epidemiológicos debido al cambio climático: enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades virales causantes de patologías como neumonía e influenza, enfermedades entéricas, enfermedades bacterianas, zoonóticas, parasitarias y enfermedades fúngicas. Atendiendo a las evaluaciones efectuadas en el histórico del ENSO de diversos eventos ocurridos, no se evidencia presencia de enfermedades micóti-

cas, por lo que correspondería evaluar los registros de morbilidad diaria en centros de salud y hospitales con el fin de evidenciar la ocurrencia o no de cuando estos se presentaron. Debido a la periodicidad irregular del ENSO con fuertes patrones de variabilidad de temperatura y precipitación sobre el riesgo de enfermedades infecciosas, algunos estudios demostraron que este fenómeno provoca un fuerte impacto sobre las enfermedades transmitidas por vectores en la región Occidental de Estados Unidos, sin mostrar morbilidad en otras regiones.

Tabla 2. Artículos encontrados en bases de datos, clasificados según tipo de enfermedad infecciosa: virales, bacterianas, parasitarias, transmitidas por hongos. Especificado por patología infecciosa, título del artículo, autor, año del fenómeno niño oscilación del sur (ENSO) en que se realizó el estudio, causas y efectos asociados y las conclusiones.

N°	Título del artículo	Autor	Enfermedades del Niño	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
<i>Enfermedades virales</i>						
1	Spatiotemporal clustering, climate periodicity, and social-ecological risk factors for dengue during an outbreak in Machala, Ecuador, in 2010	Stewart-Ibarra et al. (2014)	Dengue	2009-2010	Precipitaciones, temperaturas muy altas asociadas con los brotes de dengue	La presencia del mosquito <i>Ae. aegypti</i> se encuentra relacionada con las variables temperatura y precipitaciones abundantes. En el 2010 durante el pico de la temporada de Dengue (febrero- marzo), donde las lluvias fueron casi el doble de lo normal. Esto aumentó la disponibilidad de hábitat de las larvas del mosquito. Las fluctuaciones en la precipitación y temperatura influyen en la tasa de ovoposición del mosquito y en la replicación del virus.
2	El Fenómeno ENSO y el dengue, Regiones Pacífico Central y Huetar Atlántico, Costa Rica, 1990 a 2011	Ramirez-Solano et al. (2017)	Dengue	1990-2011	El Niño (fase cálida), aumentó las incidencias de dengue en el Pacífico y disminuyó en el Caribe. La Niña (fase fría), aumentó la incidencia de dengue en el Caribe y disminuyó en el Pacífico.	El fenómeno del Niño oscilación sur (ENSO) afecta aumentando o disminuyendo los casos de dengue. En Costa Rica durante la temporada cálida la incidencia acumulada de dengue aumentó en la zona del Océano Pacífico y disminuyó en la zona del mar Caribe. La Niña provoca el efecto contrario.
3	Effects of local and regional climatic fluctuations on dengue outbreaks in southern Taiwan	Chuang et al. (2017)	Dengue	1998-2015	Temperatura, precipitación y humedad alta aumentaron la transmisión del dengue	La transmisión del dengue puede verse afectada por factores climáticos regionales y locales.
4	Climate change and dengue fever transmission in China: Evidences and challenges	Li et al. (2016)	Dengue	2018	Las condiciones climáticas extremas del Niño afectan la supervivencia, replicación y desarrollo del virus del dengue y los mosquitos vectores	Los factores climáticos temperatura, precipitación, humedad, velocidad del viento y presión atmosférica pueden afectar la propagación del dengue debido a que todos estos factores impactan sobre la supervivencia del virus, del mosquito vector y modifica el entorno de transmisión del dengue
5	Influencia del evento climático El Niño sobre la dinámica de transmisión de dengue en Medellín, Antioquia, Colombia	Rúa-Urbe et al. (2013)	Dengue	2002-2010	La variabilidad climática del Niño influye en la incidencia de la enfermedad, afectando la dinámica de la población de vectores y el período de incubación extrínseco del virus	Se ha demostrado que a pesar de que la dinámica de transmisión del dengue es un evento multicausal, se logró evidenciar el impacto potencial de las variables macro-climáticas como el aumento de la temperatura sobre el nivel del mar causada por el fenómeno del Niño sobre la incidencia de dengue en Medellín, Colombia.
6	Spatial Hierarchical Analysis of the Temporal Influences of the El Niño-Southern Oscillation and Weather on Dengue in Kalutara District, Sri Lanka.	Liyanage et al. (2016)	Dengue	2009-2013	El aumento de la temperatura influyó en los casos de dengue	El estudio demostró una fuerte asociación entre el clima, El Niño-Oscilación del Sur y el dengue en Sri Lanka.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
7	ENSO-driven climate variability promotes periodic major outbreaks of dengue in Venezuela Impacts of El Niño Southern Oscillation on the dengue transmission dynamics in the Metropolitan Region of Recife, Brazil	?	Dengue	1991-2016	Las temperaturas altas y precipitaciones bajas aumentaron los casos de dengue	Los hallazgos del estudio proporcionan evidencia significativa del efecto relevante del clima en las dinámicas del dengue. Los factores climáticos locales y regionales aquí estudiados deben incluirse en un sistema de alerta temprana de dengue y otros <i>Ae. aegypti</i> en Venezuela.
8	Oscillation on the dengue transmission dynamics in the Metropolitan Region of Recife, Brazil	Dos Santos Ferreira et al. (2022)	Dengue	2001-2017	Las anomalías en la temperatura y reducción de las precipitaciones favorecieron el ciclo de vida del mosquito	La epidemia del dengue coincidió en la región de Recife con el Fenómeno del Niño oscilación Sur (ENSO), se propagó regionalmente y estuvo muy sincronizado
9	The effect of weather and climate on dengue outbreak risk in Peru, 2000-2018: A timeseries analysis	Dostal et al. (2022)	Dengue	2000-2018	Impacto positivo entre el aumento de temperatura y los brotes de dengue en Perú	Los resultados obtenidos proveen evidencia sólida de que la temperatura y el Niño oscilación sur (ENSO) provocan efectos significativos sobre el dengue
10	Seasonal patterns of dengue fever in rural Ecuador: 2009-2016	Sippy et al. (2019)	Dengue	2009-2016	Las altas temperaturas aumentan el número de casos de dengue. La precipitación y las inundaciones hacen que los huevos de mosquitos eclosionen y los períodos de sequía también favorecen los sitios de reproducción	Este es el primer informe sobre la estacionalidad del dengue a largo plazo en Ecuador, uno de los pocos estudios que utilizan informes diarios de enfermedades
11	Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus reveals the role of El Niño 2015	Camnade et al. (2017)	Zika	2015-2016	Las temperaturas cálidas asociadas al fenómeno del Niño favorecieron la transmisión de Zika a través del mosquito durante todo el año 2015.	El riesgo de transmisión de Zika en América del Sur en 2015 fue el más alto desde el año 1950. Se encontró que la temperatura favorece la tasa de picadura y el período de incubación intrínseco del vector. América del Sur y los países tropicales presentan mayor nivel de transmisión donde <i>Ae. Aegypti</i> es más abundante. Existe riesgo de transmisión de Zika en Estados Unidos, China y Europa.
12	Climate Variability, Vulnerability, and Natural Disasters: A Case Study of Zika Virus in Manabi, Ecuador Following the 2016 Earthquake	Sorensen et al. (2017)	Zika	2016	Fluctuaciones en temperatura y precipitación. Densidades altas del vector durante el período de lluvia.	En Ecuador, después del Niño 2016, el desencadenante de un desastre natural durante climas anómalos y las vulnerabilidades sociales subyacentes multiplicaron la fuerza que contribuyeron a un aumento dramático en los casos de ZIKV tras el terremoto.
13	Post-earthquake Zika virus surge: Disaster and public health threat amid climatic conduciveness	Reina Ortiz et al. (2017)	Zika	2015-2016	Variaciones en temperatura, cambios en la precipitación, humedad y presión atmosférica. Cambios ecológicos provocados por el terremoto del 2016 en Ecuador	Este estudio proporciona información para ayudar a prevenir la carga de salud pública en las áreas densamente pobladas de América del Norte, Europa y Australia, donde el aumento de la temperatura puede estar dentro del rango propicio de los mosquitos vectores de esta enfermedad.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

N°	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
14	An Ecological Assessment of the Pandemic Threat of Zika Virus.	Carlson et al. (2016)	Zika	2015- 2016	Las precipitaciones y las fluctuaciones diurnas de temperaturas pueden limitar la transmisión de Zika.	La comparación entre el hábitat de Zika con la conocida distribución del dengue sugiere que Zika está más limitado por la estacionalidad de las precipitaciones y las variaciones de temperatura, lo que podría limitar la transmisión autóctona no sexual de este virus.
15	Analyzing climate variations at multiple timescales can guide Zika virus response measures	Muñoz et al. (2016)	Zika	2015-2016	Las sequías severas y temperaturas muy altas favorecen los casos de Zika.	Las altas temperaturas ayudaron a establecer el escenario climático para la transmisión del virus Zika.
16	Environmental Changes and the Impact on the Human Infections by Dengue, Chikungunya and Zika Viruses in Northern Brazil, 2010–2019	Marinho et al. (2022)	Dengue Chikungunya zika	2010-2019	Las altas temperaturas se correlacionaron con los casos de Zika en Brasil entre 2014 y 2016. El aumento de precipitación y temperatura provocado por la Niña entre 2015 y 2016 incrementó las infecciones de Chikungunya.	En este estudio se determinó que la desforestación y el cambio climático influyeron fuertemente sobre las infecciones causadas por los virus causantes del Dengue, Chikungunya y Zika.
17	Prediction of a Rift Valley fever outbreak	Anyamba et al. (2009)	Fiebre del Valle del Rift	2006-2007	Las fuertes precipitaciones favorecen el aumento de la vegetación, creando un hábitat ideal para el mosquito vector del virus.	La convergencia de las condiciones ENSO en el Pacífico oriental y el calentamiento simultáneo de la temperatura sobre el nivel del mar en la región ecuatorial occidental del Océano Índico fue el mecanismo desencadenante del brote de la fiebre del valle del Rift. Se determinó que el ENSO en África Oriental tiene gran influencia sobre esta enfermedad.
18	Climate Conditions During a Rift Valley Fever Post-epizootic Period in Free State, South Africa, 2014–2019.	Anyamba et al. (2022)	Fiebre del valle del Rift	2014-2019	Periodos de lluvia elevados, condiciones más frías de lo normal y abundante vegetación	Los factores climáticos influenciados por el Fenómenos del Niño, las lluvias, la humedad, la detección de los vectores, la vigilancia en zonas de alto riesgo y la campaña de vacunación deberían ser métodos de prevención de esta enfermedad.
19	NDVI anomaly patterns over Africa during the 1997/98 ENSO warm event	Anyamba et al. (2001)	Fiebre del valle del Rift	1997-1998	Las extensas inundaciones crearon las condiciones para la proliferación de esta enfermedad.	El fenómeno del Niño registrado entre 1997-1998 fue el más fuerte registrado en el siglo 20, provocando inundaciones y creando condiciones que favorecieron algunas enfermedades que afectaron al ganado y a los humanos en África oriental. Las herramientas de predicciones podrían alertar tempranamente a estas regiones para evitar la transmisión de enfermedades infecciosas.
20	Investigation of the Correlation between Enterovirus Infection and the Climate Factor Complex Including the Ping-Year Factor and El Niño-Southern Oscillation in Taiwan	Yu et al. (2024)	Enterovirus	2007-2022	El Enterovirus se correlaciona con la temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento, siendo la temperatura el factor climático más importante que afecta la prevalencia de esta.	El Fenómeno del Niño impactó de forma significativa en la incidencia de infecciones por enterovirus en Taiwán.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
21	Short-Term Effect of El Niño–Southern Oscillation on Pediatric Hand, Foot and Mouth Disease in Shenzhen, China	Lin et al. (2013)	Enterovirus	2008-2010	La humedad y la temperatura se asoció con el aumento de esta enfermedad.	Los factores meteorológicos podrían ser predictores importantes de la aparición de la enfermedad pediátrica de manos, pies y boca en Shenzhen.
22	Emerging and re-emerging viruses in Malaysia, 1997–2007	Tee et al. (2009))	Enterovirus	1997-1998	Las condiciones de sequía, aumentó la temperatura debido al fenómeno del Niño oscilación sur (ENSO)	Los factores antropogénicos como la invasión o expansión agrícola confundido con la dinámica temporal y espacial tanto de los virus como de los huéspedes y su inmunidad se han relacionado con brotes de infecciones virales en Malasia, Bangladesh e India. Por lo cual para evitar la reaparición de virus o zoonosis se debe regular la deforestación y las actividades de intensificación agrícola
23	Effect of non-stationary climate on infectious gastroenteritis transmission in Japan	Onozuka (2014)	Gastroenteritis infecciosa	2000-2012	Estas infecciones se asocian fuertemente con los cambios en la temperatura, la humedad y la precipitación.	Se encontró evidencia cuantitativa de que los cambios ambientales provocados por los fenómenos del Niño y el fenómeno dipolo del océano Índico se encuentran asociados con la prevalencia de gastroenteritis infecciosa. Se deben desarrollar sistemas de alerta temprana para las epidemias causada por esta enfermedad.
24	Seasonal Influenza Epidemics and El Niños	Oluwole (2015)	Influenza	2000-2015	La gravedad de la influenza estacional aumentó durante el Niño y disminuyó durante la Niña.	La gravedad de la epidemia de influenza con la fuerza y la forma de ondas del fenómeno del Niño indican que los modelos que pronostican este fenómeno deben ser integrados al programa de vigilancia de salud enfocados en la prevención de epidemias de la influenza.
25	Dynamic Regimes of El Niño Southern Oscillation and Influenza Pandemic Timing.	Oluwole (2017)	Influenza	2009-2020	Las bajas temperatura y las precipitaciones favorecen la transmisión por aerosoles de la influenza. El virus es sensible a la temperatura.	El acoplamiento de todas las pandemias de gripe de los últimos 140 años a regímenes caóticos de baja transmittividad indica que la dinámica ENSO impulsa la prevalencia de infección de la pandemia de influenza.
26	How do El Niño Southern Oscillation (ENSO) and local meteorological factors affect the incidence of seasonal influenza in New York state?	Xiao et al. (2022)	Influenza	2015-2018	Está altamente relacionada con las anomalías en la temperatura y la humedad provocadas por el Niño.	El bajo índice ENSO, la baja temperatura y humedad absoluta pueden impulsar las epidemias de influenza en Nueva York
27	The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) connection: Coincident or causal?	Shaman and Lipsitch (2013)	Pandemia de Influenza	1918-1920 1957-1958 1968-1969 2009-2010	Las aves son las portadoras del virus de la influenza y durante la Niña se observó una relación entre la pandemia de influenza y los cambios en la migración de las aves provocadas por ENSO.	Se demostró que el virus de la influenza puede surgir en la población humana en otros lugares debido al transporte de aves migratorias y se debe considerar el movimiento del virus desde geografías donde el fenómeno del Niño es frecuente
28	Association of early annual peak influenza activity with El Niño southern oscillation in Japan. Influenza Other Respir. Viruses	Zaraket et al. (2008)	Influenza	1983-2007	Evidente relación entre la actividad máxima de los virus de la influenza y el fenómeno del Niño oscilación sur ENSO.	Existen claras complejidades al tratar de comprender las relaciones entre el cambio climático y los patrones de enfermedades como la influenza.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

N°	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
29	Can El Niño-Southern Oscillation Increase Respiratory Infectious Diseases in China? An Empirical Study of 31 Provinces.	Tang et al. (2022)	Influenza	2007-2018	El evento del Niño 2015-2016 causó severa sequía y temperaturas extremas, favoreciendo al virus de la influenza en China.	Mejorar el sistema de alerta climática temprana sobre las enfermedades infecciosas respiratorias en China para controlar la propagación de estas.
<i>Enfermedades Bacterianas</i>						
30	La correlación entre tres teleconexiones y la incidencia de leptospirosis en el distrito de Kandy, Sri Lanka, 2004-2019	Ehelepola et al. (2021)	Leptospirosis	2004-2019	El periodo de La Niña y las altas precipitaciones se relacionaron con la prevalencia de leptospirosis.	La vigilancia de eventos extremos de teleconexión como el Niño y la Niña y las mejoras en las medidas de prevención de inundaciones en Sri Lanka podrían mitigar los picos de leptospirosis que se puedan presentar.
31	Quantifying the relationship between climatic indicators and leptospirosis incidence in Fiji: A modelling study	Rees et al. (2023)	Leptospirosis	2006-2017	Fuertes precipitaciones conducen a una mayor incidencia de leptospirosis.	Este estudio logró identificar que los factores climáticos influyen en el riesgo de transmisión de leptospirosis en Fiji.
32	Climatic Variability and Human Leptospirosis Cases in Cartagena, Colombia: A 10-Year Ecological Study	Cano-Pérez et al. (2022)	Leptospirosis	2008-2017	Precipitación y humedad durante el fenómeno de la Niña fue correlacionado con el aumento de casos.	El clima en Cartagena (Colombia) favorece la incidencia de leptospirosis. Se debe promover y fortalecer la prevención y control de esta enfermedad en la ciudad.
33	Changes in epidemiology of leptospirosis in 2003–2004, a two El Niño Southern Oscillation period, Guadeloupe archipelago, French West Indies	Storck et al. (2008)	Leptospirosis	1994-2001	Relación entre los eventos meteorológicos excepcionales como el fenómeno del Niño y su influencia sobre la población de roedores transmisores de leptospirosis. Existe una correlación positiva entre la precipitación y la leptospirosis.	Los cambios en la epidemiología de la leptospirosis en la isla tropical de Guadeloupe se encuentran altamente relacionados con las condiciones climáticas, con alto potencial de un rápido estallido de transmisión y un posible impacto sobre los serogrupos responsables de la infección, y las características clínicas de la enfermedad en la población humana.
34	El Niño Southern Oscillation and Leptospirosis Outbreaks in New Caledonia.	Weinberger et al. (2014)	Leptospirosis	2000-2012	Existe una asociación significativa entre los casos de leptospirosis y cada uno de los índices del Niño, tales como las anomalías en las precipitaciones y la temperatura de la superficie del mar.	Se deben predecir los brotes de leptospirosis como de primordial importancia para los tomadores de decisiones en salud pública para implementar medidas de prevención, como el control de roedores, limpiezas de riberas de ríos, y sistemas de alcantarillados para evitar inundaciones.
35	The interrelationship between meteorological parameters and leptospirosis incidence in Hambantota district, Sri Lanka 2008–2017 and practical implications.	Ehelepola et al. (2021)	Leptospirosis	2008-2017	Las altas temperaturas del suelo, la tasa de evaporación, la duración de la luz, y las elevadas precipitaciones coincidieron con aumento en la prevalencia de esta enfermedad.	El clima favorable contribuyó al brote de leptospirosis de 2011. Representa el primer estudio a largo plazo que demostró que la temperatura del suelo, la tasa de evaporación y el fenómeno climático como el dipolo del océano indico más que el Niño están correlacionadas con leptospirosis en Sri Lanka.
36	Towards a leptospirosis early warning system in northeastern Argentina	Lotto Batista et al. (2023)	Leptospirosis	2009-2020	Las inundaciones relacionadas con el Fenómeno del Niño están asociadas con la leptospirosis.	Los eventos climáticos son impulsores de la incidencia de Leptospirosis en Argentina .

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
37	Extreme water-related weather events and waterborne disease Cholera forecast for Dhaka, Bangladesh, with the 2015-2016 El Niño: Lessons learned	Cann et al. (2013)	Vibrio cholera	1995-2005	ENSO y los cambios extremos de temperatura favorece la prevalencia de Colera.	El aumento de la temperatura global aumentará la prevalencia de enfermedades transmitidas por el agua.
38		Martinez et al. (2017)	Colera	2015-2016	Las precipitaciones y las inundaciones se asocian al Colera.	Existe teleconexión entre el fenómeno del Niño oscilación sur (ENSO) y el colera en Bangladesh
39	The Impact of El Niño on Diarrheal Disease Incidence: A Systematic Review	Solomon and Bezatu (2017)	Colera (Diarrea)	2002-2016	ENSO asociado con sequía e inundación aumentan el riesgo de enfermedades diarreicas en el mundo. Se ha demostrado que el Niño provoca condiciones favorables para el aumento del Colera, al igual que el aumento de las precipitaciones que provoca inundaciones favorables para la proliferación del Colera y la Shigelosis.	Una revisión sistemática con diversos estudios que presentaron una relación significativa entre las enfermedades diarreicas y El Niño. Sin embargo, las investigaciones sobre el impacto de El Niño o el cambio climático sobre las enfermedades diarreicas son muy limitadas. El Colera y la Shigelosis son enfermedades diarreicas cuyos organismos causantes difieren en su ecología, vías de transmisión, dosis, entre otras características. En Bangladesh se demostró que las variaciones interanuales en los brotes de infección de ambas enfermedades se encuentran relacionadas con las inundaciones provocadas por las fuertes precipitaciones causadas por el fenómeno del Niño.
40	Cholera and Shigellosis: Different Epidemiology but Similar Responses to Climate Variability	Cash et al. (2014)	Colera y Shigelosis	1985-2005		
41	Effects of El Niño/La Niña on the Number of Imported Shigellosis Cases in the Republic of Korea, 2004–2017	Kim et al. (2021)	Shigelosis	2004-2017	La Shigelosis es considerada sensible al clima, y su incidencia aumenta con la aparición de sequías e inundaciones. Las precipitaciones y temperaturas elevadas afectan tanto a los huéspedes como a los vectores transmisores de la peste. La nieve también es clave ya que la humedad del suelo ayuda a la supervivencia y desarrollo de las pulgas transmisoras de la plaga y el crecimiento de la vegetación favorece a los roedores.	La incidencia de Shigelosis en viajeros provoca brotes de esta enfermedad en el sudeste asiático, por lo cual puede esperarse que los casos de Shigelosis aumenten significativamente entre los turistas internacionales que visitan Corea durante el período de La Niña.
42	Interannual Variability of Human Plague Occurrence in the Western United States Explained by Tropical and North Pacific Ocean Climate Variability	Ben Ari et al. (2010)	Peste (Yersinia pestis)	1950-2005		El aumento de la temperatura provocado por el cambio climático disminuirá la humedad del suelo, lo cual podría disminuir la supervivencia y el desarrollo de la pulga transmisora de la peste, pudiéndose producir la disminución de esta enfermedad en el suroeste de los Estados Unidos, pero podría aumentar en Nuevo México.
43	A Non-Stationary Relationship between Global Climate Phenomena and Human Plague Incidence in Madagascar	Kreppel et al. (2014)	Peste	1960-2008	Encontraron un vínculo entre el Niño, el fenómeno dipolo del océano indico, la temperatura, la precipitación y la incidencia de la plaga.	Este estudio demuestra la relación compleja y cambiante entre los factores climáticos y la peste en Madagascar.

Enfermedades Parásitarias

Tabla 2 – Continuación de la tabla

N°	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
44	Effects of El Niño-Southern Oscillation on human visceral leishmaniasis in the Brazilian State of Mato Grosso do Sul	Da Silva et al. (2020)	Leishmaniasis visceral humana	2002-2015	Las variaciones en la temperatura, y la incidencia de la precipitación sobre la humedad se asocia con la incidencia de Leishmaniasis visceral en Brasil. Los vectores están influenciados por la temperatura, la humedad, la luminosidad, la altitud y la vegetación, pues son factores que influyen en la transmisión del parásito.	En este estudio se determinó que la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, como las fases de El Niño y La Niña, pueden influir significativamente en la incidencia de Leishmaniasis Visceral. Los autores demostraron que El Niño reduce la incidencia de Leishmaniasis y la Niña se cree que la aumenta.
45	Cutaneous Leishmaniasis and Sand Fly Fluctuations Are Associated with El Niño in Panama	Chaves et al. (2014)	Leishmaniasis cutánea	2000-2010	ENSO, precipitaciones y temperatura están asociadas con esta enfermedad	Existe asociación entre ENSO y Leishmaniasis cutánea. La variabilidad de la temperatura y precipitación en Panamá se asocia con el vector que podría causar un brote epidemiológico.
46	Extreme water -related weather events and waterborne disease	Cann et al. (2013)	Cryptosporidium	1995-2010	Las condiciones meteorológicas extremas están relacionadas con el agua contaminada.	Patógeno transmitido por el agua proveniente de exposiciones ambientales después de condiciones climáticas extremas.
47	Infectious Disease Sensitivity to Climate and Other Driver-Pressure Changes: Research Effort and Gaps for Lyme Disease and Cryptosporidiosis	Ma et al. (2023)	Cryptosporidiosis	2000-2022	Sensibilidad al clima y factores ambientales, temperatura y precipitación	Mejorar la disponibilidad de datos para poder mitigar las enfermedades infecciosas asociadas a las variabilidades climáticas.
48	Effects of the 1997–1998 El Niño Episode on Community Rates of Diarrhea	Bennett et al. (2012)	Ciclospora gayetanensis	1997-1998	Las temperaturas altas y humedad baja aumentaron la prevalencia de diarreas.	Resaltaron la importancia de considerar a los patógenos, la estacionalidad, la infraestructura, el saneamiento de agua y además los efectos del cambio climático para poder predecir los eventos climáticos catastrófico como el Niño en salud pública para de esta forma lograr predecir y anticiparse para mitigar los riesgos de diarreas en comunidades vulnerables.
<i>Enfermedades transmitidas por hongos</i>						
49	Climate drivers of hospitalizations for mycoses in Brazil	Brito-Silva et al. (2019)	Micosis	2008-2016	El clima modula las hospitalizaciones por micosis con temperaturas mínimas como variable climática.	Se observó la influencia de la oscilación climática del Pacífico, específicamente las bajas temperaturas de la Niña en la prevalencia de micosis en Brasil.
50	Expansion of Coccidioidomycosis Endemic Regions in the United States in Response to Climate Change	Gorris et al. (2019)	Coccidiomycosis	2019	El aumento de temperatura y de precipitación pueden alterar las regiones endémicas de esta enfermedad.	Se determinó que el área endémica de esta enfermedad, así como el número de casos por año, aumentará en respuesta al cambio climático.
51	Coccidioidomycosis (Valley Fever), Soil moisture, and El Niño Southern Oscillation in California and Arizona.	Tobin et al. (2022)	Coccidiomycosis	2009-2012	Infección fúngica asociada con estados de humedad del suelo. Existe una conexión moderada pero significativa del Niño.	Este estudio proporciona un ejemplo de cómo las teleconexiones oceánico-atmosféricas pueden afectar la salud humana.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
<i>Otros artículos sobre enfermedades infecciosas y Fenómeno del Niño oscilación sur (ENSO)</i>					
52	Infectious Diseases: Research and Treatment	Anderson (2010)	Chikungunya, Dengue, Malaria, Colera, Fiebre del Valle del Rift, enfermedades respiratorias, enfermedad del Lyme, Leishmaniasis cutánea.	La sequía favoreció las condiciones del vector causante de Chikungunya.	La educación enfocada en la salud ambiental está incorporando aspectos comunitarios y culturales para reducir los riegos de infecciones causadas por mosquitos vectores que aumenta en número durante los eventos climáticos extremos.
53	Reflections on the impact and response to the Peruvian 2017 Coastal El Niño event: Looking to the past to prepare for the future.	Yglesias-González et al. (2023)	Dengue, Fiebre amarilla, Malaria, Zika, Leptospirosis, enfermedades diarreicas, enfermedades respiratorias y neumonía.	El niño costero del 2017 en Perú presentó condiciones denominadas Niño de neutro a frío, provocando un aumento en las lluvias e inundaciones de ríos y creando fuertes impactos sobre la salud. Aumento de enfermedades infecciosas y transmitidas por vectores.	El Niño costero de 2017 fue intenso y abrupto, lo cual aumentó diez veces las fuertes lluvias e inundaciones que fueron similares a los efectos del Niño de 1983 y 1998. Se observó un aumento en las enfermedades infecciosas y provocadas por vectores, registrándose en Perú el mayor brote de dengue jamás registrado además del aumento de casos de leptospirosis durante el período de estudio.
54	El Niño and human health	Kovats (2000)	Dengue, Encefalitis australiana, Virus del Río Ross, Fiebre del valle del Rift, Hanta virus, Colera, Shigelosis, Tifoidea.	Las condiciones climáticas extremas que causan inundaciones y sequías son provocadas por el ciclo ENSO asociado con enfermedades transmitidas por mosquitos y roedores.	Existe evidencia epidemiológica de que el fenómeno del Niño se asocia a riesgo de transmisión de algunas enfermedades en áreas geográficas específicas, donde las anomalías climáticas se encuentran asociadas con el evento del Niño.
55	Global Disease Outbreaks Associated with the 2015–2016 El Niño Event	Anyamba et al. (2019)	Colera, Dengue, Chikungunya, Hanta virus, Malaria, Fiebre del Valle del Rift, Enfermedades respiratorias, Enfermedad del Virus del Río Ross	Temperatura y precipitación extrema provocada por el Niño.	Se evidenció cómo las condiciones climáticas extremas provocada por el fenómeno del Niño se encuentran estrechamente asociadas con un riesgo elevado de transmisión de enfermedades infecciosas.
56	Multiple impact pathways of the 2015–2016 El Niño in coastal Kenya	Fortnam et al. (2021)	Colera, Malaria, Fiebre del Valle del Rift, Disentería, Diarreas.	Las inundaciones provocaron condiciones adecuadas para el aumento de las enfermedades transmitidas por vectores.	Se demostró la vulnerabilidad social, ecológica y de salud antes los fenómenos del Niño y otros eventos extremos climáticos en Kenia.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
57	Influencia de factores climáticos sobre las enfermedades infecciosas	Huarcaya Castilla et al. (2004)	Malaria, Dengue, Bartonellosis, Leishmaniasis, Diarrea, Colera, Peste Hantavirus, Tña, 1973-1998 Pitiriasis versicolor, Foliculitis, Piodermitis, Dermatitis, Criptosporidiosis. Enfermedad de Lyme.	Las alteraciones climáticas provocadas por el Niño y las migraciones humanas aumentaron los casos de estas enfermedades.	Los avances en la biología molecular y el análisis de modelos matemáticos han ido mejorando la comprensión sobre las explicaciones biológicas de las enfermedades infecciosas, lo que permite la oportunidad de predecir brotes de infecciones en áreas de riesgo a la variabilidad climática.
58	Climate and Infectious Diseases	Kelly-Hope and Thomson (2008)	Malaria, Dengue, Meningitis, Meningococcus, Esquistosomiasis, Rotavirus, Leishmaniasis.	Los índices que determinan los eventos del Niño se han asociado a enfermedades como Leishmaniasis en Brasil, Malaria en Bowana, La fiebre del Valle del Rift en Australia.	Esta revisión proporciona una plataforma desde la cual lanzar futuras investigaciones y desarrollo de políticas en relación con las enfermedades sensibles al clima, y sugiere que los países vulnerables deberían ser el foco prioritario de estas investigaciones.
59	Climate change and infectious diseases	Flahault et al. (2016)	Fiebre del Valle del Rift, Colera, Malaria, Dengue, Chikungunya, Zika, Fiebre amarilla, Gripe o Influenza.	En África Oriental, el exceso de humedad provocado por el Niño se relaciona con el aumento de casos de Fiebre del Valle del Rift.	Los científicos del clima han observado recientemente que el cambio climático está ligado a más frecuentes eventos intensos del Niño, por lo cual se puede prever aumentos en la frecuencia y gravedad de las enfermedades infecciosas emergentes, enfermedades transmitidas por vectores y enfermedades transmitidas por el aire en el mundo.
60	Climate variability and water-related infectious diseases in Pacific Island Countries and Territories, a systematic review	Hosking et al. (2023)	Colera, Fiebre tifoidea, Criptosporidiosis, Dengue, Malaria, Diarrea, Leptospirosis, Chikungunya, Zika, Hepatitis A.	La temperatura, precipitación y humedad como factores claves en la transmisión del dengue.	Se debe fortalecer el sistema de abastecimiento e higiene de agua para reducir las enfermedades infecciosas durante los fenómenos meteorológicos extremos.
61	Impact of El Niño Southern Oscillation on infectious disease hospitalization risk in the United States	Fisman et al. (2016)	Enfermedades transmitidas por vector, Neumonía e Influenza, enfermedades entéricas, enfermedades bacteriales zoonóticas, enfermedades fúngicas.	Las altas precipitaciones y temperaturas, las condiciones muy húmedas o secas aumentan el riesgo de enfermedades entéricas.	Demostró la importancia de comprender los vínculos entre el medio ambiente y los riesgos de infección cuando las condiciones ambientales son extremas como durante el Niño y la necesidad de invertir en la vigilancia de salud pública capaz de detectar cambios en las cargas de enfermedades.

Tabla 2 – Continuación de la tabla

Nº	Título del artículo	Autor	Enfermedades	Año del Fenómeno del Niño	Causa /Efecto	Conclusión
62	Riesgo de infecciones crónicas y trastornos de salud mental con posterioridad a inundaciones por el fenómeno del niño costero en poblaciones desplazadas, Piura, 2017.	Loayza-Alanico and De La Cruz-Vargas (2021)	Infección de la piel, Infección del tracto urinario, dolores articulares, diabetes mellitus, enfermedades diarreicas, hipertensión arterial.	2017	Desastres naturales como inundaciones que modifican los ecosistemas de los vectores	Al inicio de los desastres naturales causados por el Niño, los perfiles epidemiológicos muestran la presencia de afectaciones psicológicas y la transmisión de enfermedades infecciosas y que con el tiempo aparecen enfermedades crónicas como la diabetes.
63	Time-Series Study of Associations between Rates of People Affected by Disasters and the El Niño Southern Oscillation (ENSO) Cycle.	Lam et al. (2019)	Zika, Dengue, Colera, Hanta virus, Malaria	1964-2017	El fenómeno del Niño oscilación del sur (ENSO) provoca el aumento de estas enfermedades	Las relaciones entre los ciclos del fenómeno del Niño y las cargas de salud de la población se encuentran relacionadas con los desastres naturales provocados por las anomalías climáticas. Estas pueden ayudar a mejorar las estrategias de preparación para desastres y prevenir la disminución de los registros de morbilidad y mortalidad ocasionados por las enfermedades infecciosas.

En este sentido, los vectores se movilizan atendiendo las necesidades de agua que permiten la sobrevivencia de los criaderos, por lo que podría obedecer a la no disponibilidad del recurso o a la aplicación de estrategias permanente para el combate del vector en esa región. También encontraron un aumento de la prevalencia de enfermedades transmitidas por garrapatas provocado por las elevadas temperaturas y precipitaciones que favorecía la presencia de estas y otros roedores, los cuales son reservorio de algunas patologías como Babesiosis, enfermedad del Lyme, y Rickettsiosis entre otras (Fisman et al., 2016). Se ha documentado que la tasa de transmisión de microorganismos es más alta con ciclo de vida más cortos de las garrapatas, debido a la presencia de altas temperaturas, de tal manera que el ENSO podría causar impacto, aumentando el número de caso de enfermedades transmitidas por garrapatas de lo usualmente esperado (Rodríguez Arranz and Oteo Revuelta, 2016).

3.1 El fenómeno del Niño oscilación sur y las enfermedades virales

(Li et al., 2016) evaluaron en su estudio (*Virus Coxsackie 16* y *Enterovirus*) una infección viral emergente que afecta a niños y bebés en China, cuya presentación clínica incluye fiebre, vesículas y úlceras bucales en manos, pies y boca. Los síntomas clínicos pueden ser leves, pero pueden aparecer síntomas graves neurológicos como meningitis, encefalitis y parálisis similar a los síntomas de la polio, también puede provocar edema pulmonar. En el estudio analizaron cómo el ENSO y las variaciones climáticas ejercían efectos sobre esta enfermedad.

Determinaron que índices altos de oscilación del sur estaban asociados con el aumento de la incidencia de la enfermedad. Refieren que los factores meteorológicos predicen la aparición de esta infección en China. Por otra parte, Oluwole (2017) realizaron un estudio donde se demostró que la dinámica del ENSO impulsó la incidencia de influenza estacional durante los años 2009-2019, época en que se registraron graves epidemias de gripe estacional coincidiendo con la dinámica del ENSO. Los autores concluyeron que la combinación de todas las pandemias de influenza ocurridas en los últimos 140 años con los regímenes caóticos de baja transitividad muestran que la dinámica del ENSO contribuye a impulsar la pandemia de influenza.

Por lo cual todos los modelos de pronóstico de la trayectoria de este evento deben complementar la vigilancia de los virus de influenza de ahora en adelante. Así mismo, estudios llevados a cabo en Japón por Zaraket et al. (2008) encontraron que el pico más elevado de Influenza estaba relacionado con el periodo cálido del ENSO (Xiao et al., 2022; Tang et al., 2022). La fase cálida del Niño, donde las temperaturas de la superficie del mar son anormalmente altas, produce cambios que ocurren durante los siete primeros meses del año cuando posteriormente se produce un descenso de la temperatura por debajo de lo normal, lo cual podría dar lugar a un cambio a gran escala en el medioambiente que altere la tendencia de los virus de la gripe a redistribuirse y se transmitan al huésped humano.

Latinne and Morand (2022) expresan que la variabilidad y las anomalías climáticas son factores que impulsan la aparición de enfermedades infecciosas. Destacan la asociación entre los factores climáticos como el ENSO, las anomalías de temperatura de la superficie terrestre y la aparición y contagio de enfermedades virales transmitidas por murciélagos en humanos y ganados en Asia, la región del Pacífico y la península Arábiga. Los autores encontraron que el ENSO y sus anomalías climáticas pueden crear oportunidades para la propagación del virus de la rabia transmitidos por murciélagos a humanos y animales. Sus resultados sugieren que la mayoría de estas enfermedades virales transmitidas por murciélagos probablemente fueron provocadas por las anomalías climáticas del ENSO debido a que 9 de cada 12 virus transmitidos por murciélagos surgieron en la región Asia, Pacífico y península arábiga después de un evento del fenómeno del Niño. Por otra parte, la recién aparición del virus SARS CoV2 responsable del coronavirus en China surgido en 2019 ocurrió posterior a un evento ENSO que impactó a China.

Según este autor los virus transmitidos por murciélagos son los de la Familia Coronaviridae, Paramixoviridae, Reoviridae, Rhabdoviridae, Nipah virus y Hendra virus. En lo que se refiere al SARS CoV2 que apareció en Wuhan China, seguramente fue transmitido de los murciélagos a los humanos junto a otro intermediario que se cree fue un pangolín; aunado a la cadena de transmisión que existe entre enjaular a los animales salvajes en los mercados de alimentos, posteriormente ser sacrificados

con la contaminación subsecuente que esto podría significar en las áreas de venta de alimentos, elevados riesgos para la transmisión de microorganismos patógenos tanto para los compradores como para quienes atienden en los mercados, y de ahí provino la rápida propagación del virus al resto de la población (Silva-Jaimes, 2020).

Así mismo, afecto a la diversidad biológica de las especies invasoras, lo que genera en pérdida de la flora y la fauna local causada por la agresividad de su explotación sin que existan controles biológicos adecuados. Al invadir los ecosistemas sin un manejo sustentable sus consecuencias son los brotes infecciosos al provocar el desequilibrio entre depredadores y presas. Sin embargo, se piensa que el murciélago se desplazó inusualmente de su hábitat debido al cambio climático.

El cambio climático ha contribuido a acelerar la emisión antropogénica de los gases de efecto invernadero lo que tiende a aumentar los riesgos de zoonosis. Así como el aumento de temperatura o calentamiento global favorece elevando el número de vectores de enfermedades infecciosas como mosquitos y garrapatas, también el calentamiento global influye directamente sobre los patógenos que poseen un rango térmico mayor al de sus hospedadores, incluyendo al humano donde el equilibrio entre el patógeno invasor y el sistema inmunológico del huésped cambia a favor del patógeno. Otro aspecto importante se refiere a los patrones de migración de la fauna silvestre que podría favorecer la aparición de nuevas enfermedades al haber interacciones entre distintos animales. Además, el aumento del comercio global favorece la mezcla entre la fauna salvaje y animales domésticos, provocando también una mayor exposición mundial de los humanos a los microorganismos patógenos y favoreciendo la transmisión de enfermedades de animales a humanos, es decir, enfermedades zoonóticas, siendo la COVID-19 un ejemplo de estas (Valladares, 2020).

3.2 Fenómeno del Niño oscilación sur y las enfermedades virales transmitidas por vectores

Según indica Anyamba et al. (2019) en la investigación de patrones de la variabilidad climática interanual relacionado con el ENSO, el fenómeno

tiene como consecuencia condiciones de anomalías climáticas y ambientales en zonas específicas de todo el mundo, ocasionando brotes o aumento de una gran variedad de enfermedades entre las cuales destaca Dengue, Chikungunya, Zika, Hantavirus, Fiebre del Valle del Rift, y peste entre otras enfermedades infecciosas. Según los autores, estos brotes que se presentaron durante el ENSO de 2015-2016 (considerado fuerte) en regiones que incluyen el sudeste asiático, Tanzania, el oeste de EE. UU. y Brasil, debido a los cambios en las precipitaciones, temperaturas y la vegetación dieron origen a sequías e inundaciones en exceso, lo cual favoreció las condiciones ecológicas para que los microorganismos patógenos y los vectores transmisores de estos surjan y se propaguen en estas regiones.

Los investigadores demostraron que la intensidad de las enfermedades de algunas regiones teleconectadas con el ENSO aumentó el doble en comparación con los años en que este evento climático no ocurrió (Anyamba et al., 2001, 2019). El dengue en Brasil y en el sudeste asiático también se relaciona con temperaturas de la superficie terrestre superiores a lo normal (Anyamba et al., 2001, 2019; Coelho-Cruz et al., 2023). Al respecto, un incremento de la temperatura mayor de lo usual, con estrecha relación de aumento de humedad en los ciclos de desarrollo del vector se acortan con el subsecuente incremento de la densidad de los vectores. Este aumento en la densidad de población del vector origina mayor interacción mosquito-hombre, trayendo como consecuencia enfermedades arbovirales tales como: Dengue, Chikungunya, Zika, inclusive fiebre amarilla urbana, por los hábitos domésticos del vector, por lo que se podría esperar que el número de casos aumentaría el doble.

3.3 Fenómeno del Niño y las enfermedades bacterianas

En el caso concreto de la leptospirosis, las investigaciones realizadas por Weinberger et al. (2014) sobre la relación del ENSO en Nueva Caledonia, muestran brotes estacionales en los trópicos. Los autores pueden predecir los brotes de leptospirosis usando series de tiempo desde 2000 al 2012, para evaluar los factores climáticos como el ENSO y las condiciones meteorológicas. Encontraron que los períodos donde coincide la Niña se asocian con abundante precipitación relacionados a su vez con los brotes

de esta enfermedad. Demostraron que el ENSO tiene una fuerte asociación con la leptospirosis y que se debe replicar este estudio en regiones del Pacífico Sur, Asia o América Latina donde el fenómeno del Niño provoca también una variabilidad climática que lleva a riesgo de brotes de esta.

Los casos de leptospirosis estuvieron por encima de la media anual observada durante los años 2012 al 2016. Sin embargo, el número de otras enfermedades que son sensibles al ENSO con períodos de incubación más cortos tales como las enfermedades respiratorias agudas, las diarreas y la neumonía fueron más bajos que los reportados durante los años 2012 al 2016 (Weinberger et al., 2014). En este sentido, los brotes de leptospirosis se encuentran estrechamente relacionados a la ocurrencia de fenómenos climáticos, tales como inundaciones, ocasionadas por fuertes precipitaciones, y se considera un factor de riesgo asociado a la presencia de la enfermedad. Algunos ejemplos como la peste en Colorado y Nuevo México están relacionadas con las precipitaciones anormales (Anyamba et al., 2019). La peste es causada por *Yersenia pesti*, una bacteria zoonótica encontrada en pequeños mamíferos y en perros que lo parasitan; en este sentido, hay mayor producción de pulgas cuando existen abundantes precipitaciones en el invierno acompañadas de veranos calurosos, tal como fue referido por el autor.

Así mismo, las fuertes precipitaciones son un factor que influyen en la contaminación de las aguas superficiales con aguas residuales, esto representa causas comunes de diarrea, la cual está relacionada con el abastecimiento de aguas contaminadas e inundaciones que influyen directamente con la transmisión de fiebre tifoidea y Shigelosis. La fiebre tifoidea es frecuente donde el saneamiento es deficiente y no se dispone de agua potable, igual condición ocurre con la Shigelosis. Por lo que en lugares donde no se dispone de suministro de agua y al ocurrir eventos tales como fuertes precipitaciones suelen suceder brotes inusuales debido a la contaminación del agua potable con las aguas residuales (Anyamba et al., 2001, 2019).

Al respecto, el estudio realizado por Kim et al. (2021) sobre los efectos del Niño y la Niña en el número de casos de Shigelosis en Corea durante los años 2004 al 2017 demostró que el riesgo de infección de Shigelosis aumentó a medida que el índice

de la Niña se elevaba, debido a que las fluctuaciones provocadas por el Fenómeno de la Niña en los países del sur y sureste asiático influyen sobre el saneamiento de las aguas.

Las inundaciones y el ENSO no pueden ser directamente relacionados con la transmisión de enfermedades. Pero la sequía se puede relacionar con el aumento de patógenos en las aguas superficiales y con las enfermedades causadas por falta de higiene. El aumento de la temperatura provocado por el ENSO influye directamente con el aumento de las infecciones gastrointestinales. Al respecto, el Fenómeno del Niño ocurrido en 1997-1998 en Perú provocó un aumento de temperatura que tuvo como consecuencia que un elevado número de niños tuvieron que ser internados en el hospital con diarrea (Kovats, 2000).

Al respecto, Solomon and Bezatu (2017) realizaron una revisión sistemática sobre el impacto que causa el Fenómeno del Niño sobre la mortalidad y morbilidad de las enfermedades diarreicas, según este estudio existe una relación significativa entre el ENSO y estas enfermedades. Las enfermedades diarreicas infantiles causan morbilidad y mortalidad en países subdesarrollados y se ha demostrado que el ENSO afecta la dinámica de la incidencia de diarrea en países de América del Sur y Asia, pero no es suficiente la comprensión de los efectos de este evento sobre esta enfermedad en África Subsahariana donde la carga de infecciones diarreicas entre niños menores de 5 años es más elevada.

La diarrea es una de las causas principales de mortalidad en África debido a la no disposición de agua y a la carencia de servicios básicos. La diarrea suele aparecer debido a una infección ocasionada por rotavirus o bacterias y se traduce en la muerte de decenas y cientos de miles de niños debido a la pérdida de sales, electrolitos y nutrientes. El sur de África y el sudoeste de Asia son las zonas que acumulan casi 80% de todas las muertes por diarrea del mundo, lo cual podría estar relacionado a la carencia de agua rica en nutrientes, lo que agravó el cuadro epidemiológico en estos niños. Debido a que el ENSO se caracteriza por un período de calentamiento de la superficie del mar y la consiguiente supresión de la corriente de agua fría rica en nutrientes, lo cual sigue el patrón de lo que sucede en la costa de Perú y Ecuador que suele durar por lo

general entre 12 y 18 meses.

En lo que se refiere a las enfermedades entéricas en la región occidental de Estados Unidos, se observó una disminución de esta patología, aumentando el riesgo en otras regiones de este país. Por lo tanto, las condiciones húmedas y las condiciones secas aumentan el riesgo de enfermedades entéricas (Fisman et al., 2016).

3.4 El Fenómeno del Niño oscilación sur y las enfermedades parasitarias y transmitidas por hongos

El cambio climático provoca eventos meteorológicos extremos que se han asociado a enfermedades parasitarias en todo el mundo, siendo la Leishmaniasis una de las más estudiadas. Da Silva et al. (2020) en su investigación sobre el efecto del ENSO sobre la Leishmaniasis visceral humana, mencionan que en Panamá se asoció el aumento de casos de Leishmaniasis visceral con la fase fría del ENSO. Además, expresan que los factores involucrados en la variación del número de casos de Leishmaniasis visceral en Brasil es que los vectores flebótomos se encuentran fuertemente influenciados por las variables ambientales, temperatura, luminosidad, humedad, altitud y cobertura vegetal, por lo cual estos factores pueden influir en la transmisión del parásito y el desarrollo de esta enfermedad.

Con respecto a *Cryptosporidium* en una investigación realizada por Cann et al. (2013) mencionan que la mayoría de los brotes de las enfermedades parasitarias ocurrieron luego del paso de fenómenos meteorológicos extremos relacionados con el agua, es decir, después de una tormenta severa, o fuertes lluvias relacionadas con el ENSO, ciclones o una inundación de agua de mar, huracanes o mareas. Posterior a un evento climático extremo también se expresa que las causas probables de infecciones parasitarias podrían ser contaminación y escasez de agua potable y el saneamiento e higiene deficiente después de un evento climático extremo.

En Perú se informó que la mayor parte de la población afectada por las inundaciones, presentaron enfermedades de la piel, principalmente entre la población infantil. Los casos más frecuentes correspondieron a infecciones, excoiaciones o heridas superficiales, dermatitis alérgicas, piodermis,

micosis, entre otras patologías. (MSP/OPS, 1989). Ahora bien, existen pocos estudios que revelan el efecto del ENSO como propiciador de las micosis. No obstante en los Estados Unidos con el propósito de evaluar la Coccidiomicosis la cual es una enfermedad fúngica transmitida y relacionada con la humedad del suelo común en todo el suroeste de EEUU, autores como: Tobin et al. (2022) realizaron un análisis sobre la correlación del fenómeno del Niño oscilación sur con la humedad del suelo y la incidencia de Coccidiomicosis entre los años 2009 y 2012, observando una conexión moderada y significativa entre el ENSO, la humedad del suelo y la Coccidiomicosis. En este estudio los autores demostraron que la teleconexiones oceánico-atmosféricas puede afectar la salud humana.

Gorris et al. (2019) en su estudio sobre la expansión de la Coccidiomicosis en regiones endémicas de los Estados Unidos en respuesta al cambio climático determinaron que las elevadas temperaturas podrían cambiar la ubicación de esta enfermedad fúngica del sureste de Estados Unidos, podría expandirse y también podría afectar al oeste del país el cual para el año 2100 se volverá más caluroso y estará más afectado por las lluvias que favorecen al hongo, duplicando el número de personas enfermas en el país. El hongo Coccidioides vive y prospera en zonas con poca lluvia y altas temperaturas, por lo que es de esperar que cuando la humedad del suelo es alta, acompañada de temperaturas también altas, favorece la dispersión y transmisión del hongo tal como aconteció entre los años 2009-2012 propiciado por el ENSO.

Como se acotó anteriormente, el ENSO puede volverse más frecuentes debido al cambio climático. Aunque los eventos del Niño son globales existe variabilidad en la magnitud del impacto de los efectos de este con algunas regiones que son consideradas teleconectadas a el ENSO, lo que quiere decir que experimentan anomalías climáticas relacionadas con este evento a pesar de encontrarse a muchos miles de kilómetros de distancia mientras que otras regiones no se encuentran teleconectadas (Fisman et al., 2016).

3.5 Fortalezas y Limitaciones

Este estudio se limitó a investigaciones sobre las enfermedades infecciosas y la influencia de las ano-

malías climáticas provocadas por el ENSO cuyos rangos de tiempo fueron desde 2000 y 2023 que incluían los fenómenos del Niño oscilación sur fuerte de los años (1982-1983/1997-1998/2016-2017). Las áreas geográficas de selección de la investigación fueron las zonas vulnerables a los eventos del Niño, donde fueron realizadas investigaciones sobre epidemias o enfermedades infecciosas. Los términos de búsqueda fueron muy amplios; algunos artículos excluidos trataban sobre enfermedades infecciosas en general como por ejemplo diarrea, cuyo microorganismo puede ser una bacteria, un parásito o un virus; enfermedad respiratoria, sin especificar el microorganismo causante de la enfermedad, por los cual tuvieron que ser excluidos del estudio. De las enfermedades infecciosas transmitidas por virus como Zika y Chikungunya fueron encontrados pocos estudios para los años 1982-1983 y 1997-1998.

Para las enfermedades transmitidas por parásito u hongos, se encontraron pocos estudios que coincidieran con los criterios de inclusión. Quizás el hecho de que los términos amplios usados para la búsqueda bibliográfica y la búsqueda de citas completas haya pasado por alto literaturas importantes, también podría haber posibles sesgos debido a que no se realizó un metaanálisis tan exhaustivo. Se debe tomar en cuenta también la disponibilidad limitada de datos y lo heterogéneo que son los indicadores climáticos. Además, las zonas geográficas vulnerables suelen ser propias de países subdesarrollados que no generan datos o investigaciones donde se comparan los casos epidemiológicos con los datos ambientales o climatológicos.

Se recomienda realizar más investigaciones sobre la influencia de las variables climáticas extremas bajo la influencia del ENSO, el cual influye generalmente en la aparición de catástrofes como incendios forestales, inundaciones, sequías entre otros, los cuales generalmente provocan el aumento de las enfermedades virales, bacterianas, parasitarias y causadas por hongos. Existe la necesidad de determinar la naturaleza de los mecanismos ecológicos y su relación con las enfermedades, es decir, analizar las bases ecológicas de las enfermedades. Deben crearse vínculos entre los profesionales de salud, los gestores políticos y los predictores meteorológicos para poder predecir a largo plazo los riesgos epidemiológicos en las zonas vulnerables a los factores climáticos extremos. También se deben crear alertas

epidemiológicas tempranas para mitigar la proliferación de enfermedades causadas por virus, bacterias, parásitos y hongos.

4 Conclusiones

La variabilidad climática provocado por el ENSO favorece la aparición de enfermedades infecciosas importada, que pueden volverse endémicas en vez de ser extinguidas. Las consecuencias proyectadas en las enfermedades como consecuencia del ENSO variaría según la forma en que se manifieste el fenómeno (inundación, sequía, aumento de temperatura o precipitaciones abundantes).

A fin de poder realizar pronósticos sobre las repercusiones en diferentes zonas endémicas como consecuencia del ENSO resulta imperativo tomar en cuenta los factores de riesgo, la variabilidad del clima y el ámbito geográfico donde sucede y de esta manera articularlos con los programas que controlan las enfermedades infecciosas. La atención debe centrarse en el clima y en la necesidad de que los programas se adapten y se identifiquen precozmente los cambios de morbilidad y mortalidad inducidos por el clima con la finalidad de estratificar el riesgo de que sucedan estas enfermedades influenciadas por las variaciones climáticas y poder proceder a la toma de decisiones.

Se debe prestar atención y comprender mejor los vínculos que existen entre el medioambiente y el riesgo de infección en las regiones con la finalidad de establecer grupos de trabajo, quizás priorizando las enfermedades infecciosas más prevalentes en la región.

Contribución de los autores

P.M.: Conceptualización, tratamiento de datos, Curación de los datos, Metodología, Visualización, Escritura borrador original, Escritura revisión y Edición; G.V.S.: Conceptualización, Conceptualización, tratamiento de datos, Curación de los datos, Metodología, Visualización, Escritura borrador original, Escritura revisión y Edición.

Referencias

- Anderson, A. (2010). Article commentary: Contributions in the first 21st century decade to environmental health vector borne disease research. *Infectious Diseases: Research and Treatment*, 2:17–24. Online:https://n9.cl/6q067h.
- Anttila-Hughes, J., Jina, A., and McCord, G. (2021). Enso impacts child undernutrition in the global tropics. *Nature communications*, 12(1):5785. Online:https://n9.cl/ust7s.
- Anyamba, A., Chretien, J., Britch, S., Soebiyanto, R., Small, J., Jepsen, R., Forshey, B., Sanchez, J., Smith, R., Harris, R., Tucker, C., Karesh, W., and Linthicum, K. (2019). Global disease outbreaks associated with the 2015–2016 el niño event. *Scientific reports*, 9(1):1930. Online:https://n9.cl/mzxle.
- Anyamba, A., Chretien, J., Small, J., Tucker, C., Formenty, P., Richardson, J., Britch, S., Schnabel, D., Erickson, R., and Linthicum, K. (2009). Prediction of a rift valley fever outbreak. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(3):955–959. Online:https://n9.cl/d19qw.
- Anyamba, A., Damoah, R., Kemp, A., Small, J and. Rostal, M., Bagge, W., Cordel, C., Brand, R., Karesh, W., and Paweska, J. (2022). Climate conditions during a rift valley fever post-epizootic period in free state, south africa, 2014–2019. *Frontiers in veterinary science*, 8:730424. Online:https://n9.cl/l10gh.
- Anyamba, A., Tucker, C., and Eastman, J. (2001). Ndvi anomaly patterns over africa during the 1997/98 enso warm event. *International Journal of Remote Sensing*, 22(10):1847–1860. Online:https://n9.cl/s7k0c.
- Arbo, A., Sanabria, G., and Martínez, C. (2022). Influencia del cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores. *Revista del Instituto de Medicina Tropical*, 17(2):23–36. Online:https://n9.cl/c7s03.
- Ben Ari, T., Gershunov, A., Tristan, R., Cazelles, B., Gage, K., and Stenseth, N. (2010). Interannual variability of human plague occurrence in the western united states explained by tropical and north pacific ocean climate variability. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 83(3):624–632. Online:https://n9.cl/udv0y.
- Bennett, A., Epstein, L., Gilman, R., Cama, V., Bern, C., Cabrera, L., Lescano, A., Patz, J., Carcamo, C., Sterling, C., and Checkley, W. (2012). Effects of the 1997–1998 el niño episode on community rates of diarrhea. *American journal of public health*, 102(7):e63–e69. Online:https://n9.cl/0ud9o1.
- Brito-Silva, F., Nascimento-Santos, J., Chagas da Silva, L., Costa-Gomes, W., Mendes Villis, P., dos Santos Gomes, E., Araújo, E., Pinheiro, D., Pedrozo, C., da Silva Dias, R., Monteiro, C., and Ribeiro Alves, J. (2019). Climate drivers of hospitalizations for mycoses in brazil. *Scientific Reports*, 9(1):6902. Online:https://n9.cl/ni15l.
- Cai, W., McPhaden, M., Grimm, A., Rodrigues, R., Tschetterto, A., Garreaud, R., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H., Marengo, J., Alves, L., Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K., and Vera, C. (2020). Climate impacts of the el niño-southern oscillation on south america. *Nature Reviews Earth y Environment*, 1(4):215–231. Online:https://n9.cl/yr05x.
- Caminade, C., Turner, J., Metelmann, S., Hesson, J., Blagrove, M., Solomon, T., Morse, A., and Baylis, M. (2017). Global risk model for vector-borne transmission of zika virus reveals the role of el niño 2015. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114(1):119–124. Online:https://n9.cl/zr7uf.
- Cann, K., Thomas, D., Salmon, R., Wyn-Jones, A., and Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology y Infection*, 141(4):671–686. Online:https://n9.cl/g8nmr.
- Cano-Pérez, E., Loyola, S., Espitia-Almeida, F., Torres-Pacheco, J., Malambo-García, D., and Gómez-Camargo, D. (2022). Climatic variability and human leptospirosis cases in cartagena, colombia: A 10-year ecological study. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 106(3):785–791. Online:https://n9.cl/3o2689.
- Carlowicz, M. and Schollaert, S. (2017). El niño. The Earth Observatory. Online:https://n9.cl/oywnh4.
- Carlson, C., Dougherty, E., and Getz, W. (2016). An ecological assessment of the pandemic threat of zika virus. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(8):e0004968. Online:https://n9.cl/eglur.
- Cash, B., Rodó, X., Emch, M., Yunus, M., Faruque, A., and Pascual, M. (2014). Cholera and shigellosis: different epidemiology but similar responses to climate variability. *PloS one*, 9(9):e107223. Online:https://n9.cl/mtdgov.
- Chaves, L., Calzada, J., Valderrama, A., and Saldana, A. (2014). Cutaneous leishmaniasis and sand fly fluctuations are associated with el niño in panamá. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(10):e3210. Online:https://n9.cl/vwyq4.
- Chuang, T., Chaves, L., and Chen, P. (2017). Effects of local and regional climatic fluctuations on dengue outbreaks in southern taiwan. *PLoS One*, 12(6):e0178698. Online:https://n9.cl/iyyi3.

- Coelho-Cruz, T., Ribeiro, S., Vieira, R., Lafuente, C., Monteiro, A., Veloso, G., Franco-Morais, M., Carneiro, M., Barbosa, A., and Coura-Vital, W. (2023). Impact of climate on the expansion of dengue fever in an endemic urban area. *Preprints*, page 2023121516. Online: <https://n9.cl/rk3qx>.
- Da Silva, D., Lima, M., Souza Neto, P., Gomes, H., Silva, F., Almeida, H., and Costa, R. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice padronizado de precipitação para o leste do nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2):449–464. Online: <https://n9.cl/d0oso>.
- Del Carpio, L. (2023). El entorno ecológico y climático favorece a los arbovirus, ciclón yaku y el dengue en Perú. *Norte Médico*, 2(6):18–19. Online: <https://n9.cl/v2580d>.
- Dos Santos Ferreira, H., Silva Nóbrega, R., Da Silva Brito, P., Pires Farias, J., Henrique Amorim, J., Mariz Moreira, E., Mendez, É., and Barros Luiz, W. (2022). Impacts of el niño southern oscillation on the dengue transmission dynamics in the metropolitan region of Recife, Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 55:e0671–2021. Online: <https://n9.cl/j3alg>.
- Dostal, T., Meisner, J., Munayco, C., García, P., Cárcamo, C., Pérez Lu, J., Morin, C., Frisbie, L., and Rabinowitz, P. (2022). The effect of weather and climate on dengue outbreak risk in Peru, 2000–2018: A time-series analysis. *PLoS neglected tropical diseases*, 16(6):e0010479. Online: <https://n9.cl/dengueperu>.
- Ehelepola, N., Ariyaratne, K., and Dissanayake, D. (2021). The interrelationship between meteorological parameters and leptospirosis incidence in Hambantota district, Sri Lanka 2008–2017 and practical implications. *PLoS One*, 16(1):e0245366. Online: <https://n9.cl/mjabj>.
- Fan, J., Meng, J., Ashkenazy, Y., Havlin, S., and Schellnhuber, H. (2017). Network analysis reveals strongly localized impacts of el niño. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(29):7543–7548. Online: <https://n9.cl/d3oi9>.
- Fisman, D., Tuite, A., and Brown, K. (2016). Impact of el niño southern oscillation on infectious disease hospitalization risk in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(51):14589–14594. Online: <https://n9.cl/bt57f>.
- Flahault, A., de Castaneda, R., and Bolon, I. (2016). Climate change and infectious diseases. *Public Health Reviews*, 37(21):Online: <https://n9.cl/qx6uym>.
- Fleck, A. (2022). When can you expect el niño and la niña? *Statista*. Online: <https://n9.cl/9t710>.
- Fortnam, M., Atkins, M., Brown, K., Chaigneau, T., Frouws, A., Gwaro, K., Huxham, M., Kairo, J., Kimeili, A., Kirui, B., and Sheen, K. (2021). Multiple impact pathways of the 2015–2016 el niño in coastal Kenya. *Ambio*, 50:174–189. Online: <https://n9.cl/p45v9>.
- Fuller, D., Troyo, A., and Beier, J. (2009). El niño southern oscillation and vegetation dynamics as predictors of dengue fever cases in Costa Rica. *Environmental Research Letters*, 4(1):014011. Online: <https://n9.cl/j1rut>.
- Gorris, M., Treseder, K., Zender, C., and Randerson, J. (2019). Expansion of coccidioidomycosis endemic regions in the United States in response to climate change. *GeoHealth*, 3(10):308–327. Online: <https://n9.cl/dbnth>.
- Hosking, R., Smurthwaite, K., Hales, S., Richardson, A., Batikawai, S., and Lal, A. (2023). Climate variability and water-related infectious diseases in Pacific island countries and territories, a systematic review. *PLoS Climate*, 2(10):e0000296. Online: <https://n9.cl/cwa6nq>.
- Huarcaya Castilla, E., Rossi Leyva, F., and Llanos-Cuentas, A. (2004). Influencia de factores climáticos sobre las enfermedades infecciosas. *Revista Médica Herediana*, 15(4):218–224. Online: <https://n9.cl/a8f6s3>.
- Kelly-Hope, L. and Thomson, M. (2008). *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*, volume 30, chapter Climate and infectious diseases, pages 31–70. Springer.
- Kim, J., Sung, J., Kwon, H., and Cheong, H. (2021). Effects of el niño/la niña on the number of imported shigellosis cases in the Republic of Korea, 2004–2017. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1):211. Online: <https://n9.cl/psuov>.
- Kovats, R. (2000). El niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9):1127–1135. Online: <https://n9.cl/kfz2n>.
- Kreppel, K., Caminade, C., Telfer, S., Rajerison, M., Rahalison, L., Morse, A., and Baylis, M. (2014). A non-stationary relationship between global climate phenomena and human plague incidence in Madagascar. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(10):e3155. Online: <https://n9.cl/dyuol>.
- Lam, H., Haines, A., McGregor, G., Chan, E., and Hajat, S. (2019). Time-series study of associations between rates of people affected by disasters and the el niño southern oscillation (ENSO) cycle. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17):3146. Online: <https://n9.cl/kfdzwa>.
- Latif, M., Semenov, V., and Park, W. (2015). Super el niños in response to global warming in a climate model. *Climatic Change*, 132:489–500. Online: <https://n9.cl/5z6ff>.

- Latinne, A. and Morand, S. (2022). Climate anomalies and spillover of bat-borne viral diseases in the asia-pacific region and the arabian peninsula. *Viruses*, 14(5):Online:https://bit.ly/4dE5fi5.
- Li, J., Sun, Y., Du, Y., Yan, Y., Huo, D., Liu, Y., Peng, X., Yang, Y., Liu, F., Lin, C., Liang, Z., Jia, L., Chen, L., Wang, Q., and He, Y. (2016). Characterization of coxsackievirus a6-and enterovirus 71-associated hand foot and mouth disease in beijing, china, from 2013 to 2015. *Frontiers in microbiology*, 7:391. Online:https://n9.cl/clvtp.
- Li, T., Chen, F., Zhang, S., Feng, X., and Zeng, W. (2021). Possible linkage between asymmetry of atmospheric meridional circulation and tropical cyclones in the central pacific during el niño years. *Plos one*, 16(11):e0259599. Online:https://n9.cl/jhobv.
- Lin, H., Zou, H., Wang, Q., Liu, C., Lang, L., Hou, X., and Li, Z. (2013). Short-term effect of el nino-southern oscillation on pediatric hand, foot and mouth disease in shenzhen, china. *PloS one*, 8(7):e65585. Online:https://n9.cl/u4v23.
- Liyanage, P., Tissera, H., Sewe, M., Quam, M., Amarasinghe, A., Palihawadana, P., Wilder-Smith, A., Louis, V., Tozan, Y., and Rocklöv, J. (2016). A spatial hierarchical analysis of the temporal influences of the el nino-southern oscillation and weather on dengue in kalutara district, sri lanka. *International journal of environmental research and public health*, 13(11):1087. Online:https://n9.cl/yqtua.
- Loayza-Alarico, M. and De La Cruz-Vargas, J. (2021). Riesgo de infecciones, enfermedades crónicas y trastornos de salud mental con posteridad a inundaciones por el fenómeno del niño costero en poblaciones desplazadas, piura, 2017. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(3):546–556. Online:https://n9.cl/pd0pr.
- Lotto Batista, M., Rees, E., Gómez, A., López, S., Castell, S., Kucharski, A., Ghazzi, S., and Müller, G. and Lowe, R. (2023). Towards a leptospirosis early warning system in northeastern argentina. *Journal of The Royal Society Interface*, 20(202):20230069. Online:https://n9.cl/0lgrv.
- Ma, Y., Kalantari, Z., and Destouni, G. (2023). Infectious disease sensitivity to climate and other driver-pressure changes: Research effort and gaps for lyme disease and cryptosporidiosis. *GeoHealth*, 7(6):e2022GH000760. Online:https://n9.cl/3135i.
- Marinho, R., Duro, R., Mota, M., Hunter, J., Diaz, R., Kawakubo, F., and Komninakis, S. (2022). Environmental changes and the impact on the human infections by dengue, chikungunya and zika viruses in northern brazil, 2010-2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19):12665. Online:https://n9.cl/32id0a.
- Martinez, P., Reiner Jr, R., Cash, B., Rodó, X., Shahjahan Mondal, M., Roy, M., Yunus, M., Faruque, A., Huq, S., and King, A. (2017). Cholera forecast for dhaka, bangladesh, with the 2015-2016 el niño: lessons learned. *PloS one*, 12(3):e0172355. Online:https://n9.cl/liyqsv.
- Molleda, P. and Velásquez, G. (2022). Influencia de las variables ambientales en el comportamiento ecológico y biología del mosquito vector causante de arbovirosis revisión sistemática. In *VII Congreso Científico Internacional "Sociedad Del Conocimiento: Retos Y Perspectivas. Acciones Para Un Mundo Sostenible"*, pages 861–79.
- Moraes, B., Souza, E. d., Sodré, G., Ferreira, D., and Ribeiro, J. (2019). Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da amazônia e os impactos do el niño/la niña. *Cadernos de Saúde Pública*, 35:e00123417. Online:https://n9.cl/en0zl.
- Muñoz, Á., Thomson, M., Goddard, L., and Aldighieri, S. (2016). Analyzing climate variations at multiple timescales can guide zika virus response measures. *Gigascience*, 5(1):s13742–016. Online:https://n9.cl/giem87.
- NOAA (2024). Noaa. National Oceanic and Atmospheric Administration. Online:https://www.noaa.gov/. Consultado el 24 de enero del 2024.
- Oluwole, O. (2015). Seasonal influenza epidemics and el niños. *Frontiers in public health*, 3:250. Online:https://n9.cl/492mj3.
- Oluwole, O. (2017). Dynamic regimes of el niño southern oscillation and influenza pandemic timing. *Frontiers in Public Health*, 5:301. Online:https://n9.cl/v7uj1.
- Onozuka, D. (2014). Effect of non-stationary climate on infectious gastroenteritis transmission in japan. *Scientific reports*, 14:5157. Online:https://n9.cl/boisl.
- Ramírez-Solano, A., Chamizo-García, H., and Fallas-Sojo, J. (2017). El fenómeno enos y el dengue, regiones pacífico central y huetar atlántico, costa rica, 1990 a 2011. *Población y Salud en Mesoamérica*, 15(1):Online:https://n9.cl/3qy5f4.
- Rees, E., Lotto Batista, M., Kama, M., Kucharski, A., Lau, C., and Lowe, R. (2023). Quantifying the relationship between climatic indicators and leptospirosis incidence in fiji: A modelling study. *PLOS Global Public Health*, 3(10):e0002400. Online:https://n9.cl/apn6m4.
- Reina Ortiz, M., Le, N., Sharma, V., Hoare, I., Quizhpe, E., Teran, E., Naik, E., Salihu, H., and Izurieta, R. (2017).

- Post-earthquake zika virus surge: Disaster and public health threat amid climatic conduciveness. *Scientific reports*, 7(1):15408. Online:https://n9.cl/kvcsj.
- Rodríguez Arranz, C. and Oteo Revuelta, J. (2016). Enfermedades transmitidas por garrapatas más frecuentes en pediatría. Guía-ABE. Online:https://n9.cl/d8rxp. Consultado el 24 de enero del 2024.
- Rúa-Uribe, G., Suárez-Acosta, C., Chauca, J., Ventosilla, P., and Almanza, R. (2013). Modelling the effect of local climatic variability on dengue transmission in medellin (colombia) by means temporary series analysis. *Biomedica*, 33:142–152. Online:https://n9.cl/cudw1.
- Shaman, J. and Lipsitch, M. (2013). The el niño-southern oscillation (enso)-pandemic influenza connection: Coincident or causal? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(1):3689–3691. Online:https://n9.cl/llwxb.
- Silva-Jaimes, M. (2020). El sars-cov-2 y otros virus emergentes y su relación con la inocuidad en la cadena alimentaria. *Scientia Agropecuaria*, 11(2):267–277. Online:https://n9.cl/lx6dk.
- Sippy, R., Herrera, D., Gaus, D., Gangnon, R., Patz, J., and Osorio, J. (2019). Seasonal patterns of dengue fever in rural ecuador: 2009–2016. *PLoS neglected tropical diseases*, 13(5):e0007360. Online:https://n9.cl/kdm86.
- Solomon, D. and Bezatu, M. (2017). The impact of el niño on diarrheal disease incidence: A systematic review. *Science*, 5(6):446–451. Online:https://n9.cl/acw2g.
- Sorensen, C., Borbor-Cordova, M., Calvello-Hynes, E., Diaz, A., Lemery, J., and Stewart-Ibarra, A. (2017). Climate variability, vulnerability, and natural disasters: a case study of zika virus in manabi, ecuador following the 2016 earthquake. *GeoHealth*, 1(8):298–304. Online:https://n9.cl/6lvvp.
- Stewart-Ibarra, A., Muñoz, A., Ryan, S., Beltrán Ayala, E., Borbor-Cordova, M., Finkelstein, J., Mejía, R., Ordoñez, T., Recalde-Coronel, G., and Rivero, K. (2014). Spatiotemporal clustering, climate periodicity, and social-ecological risk factors for dengue during an outbreak in machala, ecuador, in 2010. *BMC Infectious Diseases*, 14(610):Online:https://bit.ly/4dvh5el.
- Storck, C., Postic, D., Lamaury, I., and Perez, J. (2008). Changes in epidemiology of leptospirosis in 2003–2004, a two el nino southern oscillation period, guadeloupe archipelago, french west indies. *Epidemiology y Infection*, 136(10):1407–1415. Online:https://n9.cl/p3ej8.
- Tang, Q., Gong, K., Xiong, L., Dong, Y., and Xu, W. (2022). Can el niño-southern oscillation increase respiratory infectious diseases in china? an empirical study of 31 provinces. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5):2971. Online:https://n9.cl/fl6fq.
- Tee, K., Takebe, Y., and Kamarulzaman, A. (2009). Emerging and re-emerging viruses in malaysia, 1997–2007. *International Journal of Infectious Diseases*, 13(3):307–318. Online:https://n9.cl/9di4t.
- Tobin, K., Pokharel, S., and Bennett, M. (2022). Coccidioidomycosis (valley fever), soil moisture, and el nino southern oscillation in california and arizona. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12):7262. Online:https://n9.cl/8nfwf.
- Valladares, F. (2020). La biodiversidad nos protege de pandemias. Fernando Valladares. Online:https://n9.cl/85o4u. Consultado el 30 de enero del 2024.
- Weinberger, D., Baroux, N., Grangeon, J., Ko, A., and Goarant, C. (2014). El niño southern oscillation and leptospirosis outbreaks in new caledonia. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(4):e2798. Online:https://n9.cl/dw6er.
- Woyessa, A., Siebert, A., Owusu, A., Cousin, R., Dinku, T., and Thomson, M. (2023). El niño and other climatic drivers of epidemic malaria in ethiopia: new tools for national health adaptation plans. *Malaria Journal*, 22(1):1–19. Online:https://n9.cl/gf794.
- Xiao, J., Gao, M., Huang, M., Zhang, W., Du, Z., Liu, T., Meng, X., Ma, W., and Lin, S. (2022). How do el niño southern oscillation (enso) and local meteorological factors affect the incidence of seasonal influenza in new york state. *Hygiene and environmental health advances*, 4:100040. Online:https://n9.cl/ypx1x.
- Yglesias-González, M., Valdés-Velásquez, A., Hartinger, S., Takahashi, K., Salvatierra, G., Velarde, R., Contreras, A., Santa María, H., Romanello, M., and Paz-Soldán, V. (2023). Reflections on the impact and response to the peruvian 2017 coastal el niño event: Looking to the past to prepare for the future. *Plos one*, 18(9):e0290767. Online:https://n9.cl/4yufd.
- Yu, H., Kuan, C., Tseng, L., Chen, H., Tsai, M., and Chen, Y. (2024). Investigation of the correlation between enterovirus infection and the climate factor complex including the ping-year factor and el niño-southern oscillation in taiwan. *Viruses*, 16(3):471. Online:https://n9.cl/kl5760.
- Zaraket, H., Saito, R., Tanabe, N., Taniguchi, K., and Suzuki, H. (2008). Association of early annual peak influenza activity with el niño southern oscillation in japan. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 2(4):127–130. Online:https://n9.cl/m9thg.



RIESGO CLIMÁTICO EN LOS SERVICIOS DE SALUD LOCAL EN ECUADOR

CLIMATE RISK IN LOCAL HEALTH SERVICES IN ECUADOR

Segundo Vilema-Escudero* y Marlon Many Orellana

Universidad ECOTEC, Km 13 1/2 Vía Samborondón, Samborondón, Guayas, Ecuador

*Autor para correspondencia: svilema@ecotec.edu.ec

Manuscrito recibido el 02 de abril de 2024. Aceptado, tras revisión el 24 de julio de 2024. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

El presente trabajo analiza la interacción entre el riesgo climático, originados por eventos extremos producto del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y/o Cambio Climático, y su impacto en los servicios de salud local en Ecuador. El análisis se centra en la creciente vulnerabilidad de Ecuador a los efectos del cambio climático, que exacerbaba los desafíos en la prestación de servicios de salud, particularmente en el contexto de fenómenos climáticos severos. El objetivo principal es analizar la relación entre el número de hectáreas afectadas por eventos climáticos y la disponibilidad y eficacia de los servicios de salud locales, considerando la resiliencia comunitaria y la cobertura sanitaria como variables moderadoras. La metodología emplea un análisis de regresión lineal utilizando datos de 221 municipios ecuatorianos, abarcando variables como riesgo climático, servicios de salud, resiliencia comunitaria, cobertura sanitaria, y factores demográficos y socioeconómicos. Los resultados indican una influencia significativa del riesgo climático en la eficacia de los servicios de salud, moderada por la resiliencia comunitaria y la cobertura sanitaria. Se observa que las áreas con mayor preparación y cobertura sanitaria muestran una mejor capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos. Finalmente, es importante integrar la gestión del riesgo climático en la planificación de servicios de salud, sugiriendo que una mayor resiliencia comunitaria y una amplia cobertura sanitaria son esenciales para mitigar los impactos negativos del cambio climático en la salud pública.

Palabras clave: Riesgo Climático, Servicios de Salud, Resiliencia, Ecuador.

Abstract

This work analyzes the interaction between climate risk, caused by extreme events resulting from the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and/or Climate Change, and its impact on local health services in Ecuador. The analysis focuses on Ecuador's growing vulnerability to the effects of climate change, which exacerbates challenges in the delivery of health services, particularly in the context of severe climate events. The main objective is to analyze the relationship between the number of hectares affected by climate events and the availability and effectiveness of local health services, considering community resilience and health coverage as moderating variables. The

methodology uses a linear regression analysis using data from 221 Ecuadorian municipalities, covering variables such as climate risk, health services, community resilience, health coverage, and demographic and socioeconomic factors. The results indicate a significant influence of climate risk on the effectiveness of health services, moderated by community resilience and health coverage. It is observed that areas with greater preparation and health coverage show a better capacity to respond to extreme weather events. Finally, it is important to integrate climate risk management into health services planning, suggesting that greater community resilience and broad health coverage are essential to mitigate the negative impacts of climate change on public health.

Keywords: Climate Risk, Health services, Resilience, Ecuador.

Forma sugerida de citar: Vilema-Escudero, S. y Manya Orellana, M. (2024). Riesgo Climático en los Servicios de Salud Local en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):37-49. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.02>.

IDs Orcid:

Segundo Vilema-Escudero: <https://orcid.org/0000-0002-1768-0300>

Marlon Manya Orellana: <https://orcid.org/0000-0002-0604-443X>

1 Introducción

El cambio climático constituye un desafío global significativo. En combinación con eventos de variabilidad climática natural, como el fenómeno del Niño Oscilación del Sur -ENOS-, se evidencian efectos dramáticos en las poblaciones, especialmente en América Latina y Ecuador (García-Parra y col., 2022). El ENOS, caracterizado por el calentamiento del Océano Pacífico Central, tiene importantes repercusiones en los patrones climáticos en todo el mundo, provocando fenómenos meteorológicos extremos (Alatrística-Salas y col., 2021). En Ecuador, estos eventos se manifiestan a través de un aumento de las precipitaciones, inundaciones y sequías, con impactos directos en la agricultura, los servicios de salud y la infraestructura. Además, los efectos indirectos incluyen lesiones, enfermedades, muertes y pérdidas económicas significativas, así como consecuencias en la salud mental de las personas afectadas (Toulkeridis y col., 2020).

Thielen y col. (2023) e Hidalgo y col. (2024) detallan el efecto de los eventos extremos de ENOS en las precipitaciones de Ecuador, destacando la mayor vulnerabilidad de la región a tales anomalías climáticas. Además, Rollenbeck y col. (2022) proporcionan un análisis de radar meteorológico del evento costero ENOS de 2017, subrayando los graves desafíos que enfrentan Ecuador y Perú.

Para los fines de este estudio, el riesgo climático se define como la probabilidad de que eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías, impacten negativamente los sistemas naturales y humanos, exacerbando vulnerabilidades existentes (Field y Barros, 2014). Estos riesgos se evalúan en términos de su frecuencia, magnitud y el alcance de los daños causados por estos eventos.

Por otro lado, los servicios de salud en este contexto se refieren principalmente a la infraestructura sanitaria, incluyendo la disponibilidad de establecimientos de salud, su capacidad operativa y la accesibilidad para la población (Hahn, 2019). Esto abarca hospitales, clínicas, y otros centros de atención que forman parte integral del sistema de salud local y su capacidad para ofrecer servicios preventivos, de atención y de emergencia (Phillips, 2005). No se enfoca directamente en la calidad de la atención individual o en programas específicos de salud

pública, sino en la disponibilidad y capacidad de respuesta de la infraestructura sanitaria en general (Moyo y col., 2023).

En Ecuador, los establecimientos de salud se clasifican en cuatro niveles de atención y complejidad. El primer nivel incluye centros de salud básicos y dispensarios. El segundo nivel abarca hospitales básicos con servicios especializados limitados. El tercer nivel se compone de hospitales generales con una amplia gama de especialidades. El cuarto nivel comprende hospitales de especialidades y centros de alta complejidad, ofreciendo atención avanzada y especializada (Ron y col., 2018).

Los servicios de salud del Ecuador enfrentan importantes desafíos debido a eventos climáticos extremos, exacerbados de ENOS (Barberán y col., 2019). Estos eventos tienen impactos directos e indirectos en la salud pública en el Ecuador. Por ejemplo, el aumento de las precipitaciones y las inundaciones pueden provocar brotes de enfermedades relacionadas por el agua, mientras que las sequías pueden afectar la seguridad alimentaria y la nutrición (Thielen y col., 2023). Los servicios de salud en Ecuador, ya presionados por recursos limitados, luchan por responder a estas crisis de salud inducidas por el clima.

Rollenbeck y col. (2022) destacan el profundo impacto de los eventos extremos de ENOS en los patrones de precipitación de Ecuador, subrayando la urgencia de que los servicios de salud se adapten a estas condiciones climáticas cambiantes. Por tanto, es importante estudiar el riesgo climático en los servicios de salud locales en Ecuador que permita mejorar el conocimiento sobre las implicaciones para la economía de la salud y la gestión del riesgo climático (Fernandez, Bucaram y Renteria, 2015).

La intersección entre el riesgo climático y la prestación de servicios de salud, en el Ecuador representa un área de investigación crítica, aunque poco explorada (Subía-Cabrera y Subía-Cabrera, 2022). A pesar de reconocer los amplios impactos del cambio climático en la salud pública, son escasos los estudios específicos que examinen cómo estos cambios afectan la prestación de servicios de salud en el país (Vaccaro Witt y col., 2023). Esta brecha es significativa, dada la vulnerabilidad del Ecuador a fenómenos climáticos como ENOS, que

puede alterar drásticamente los patrones de enfermedades, las necesidades de atención médica y la demanda general de servicios de salud (Guenni y col., 2017).

Este estudio no solo contribuiría al conjunto de conocimientos académicos, sino que también proporcionarían conocimientos prácticos para los formuladores de políticas y planificadores de servicios de salud en Ecuador. Por tanto, se plantean las siguientes preguntas de investigación ¿Cómo altera específicamente el fenómeno ENOS la demanda de servicios de salud en diferentes regiones del Ecuador?, ¿De qué manera se ven afectadas la capacidad y distribución de los servicios de salud en Ecuador por eventos climáticos extremos asociados con el ENOS?

Los fundamentos conceptuales que exploran el nexo entre los servicios de salud y el riesgo climático se basan en un enfoque multidisciplinario, que combina conocimientos de salud ambiental, economía de la salud y gestión del riesgo de desastres. Las teorías en salud ambiental dilucidan las vías directas e indirectas a través de las cuales el cambio climático afecta los resultados de salud, enfatizando el papel de los determinantes ambientales en la configuración de las vulnerabilidades de la salud (McMichael y col., 2003). Los modelos de economía de la salud, como el marco de oferta y demanda, son fundamentales para analizar cómo los riesgos para la salud inducidos por el clima alteran la demanda de servicios de salud y los ajustes correspondientes necesarios en la prestación de servicios de salud (Phillips, 2005). Además, las teorías de la gestión del riesgo de desastres ofrecen marcos para comprender la resiliencia y las capacidades de adaptación de los sistemas de salud frente a los riesgos climáticos, destacando la importancia de las fases de preparación, respuesta y recuperación para mitigar el impacto de las emergencias sanitarias relacionadas con el clima (Paton y Johnston, 2017).

La relación entre los servicios de salud y el riesgo climático en Ecuador, particularmente bajo ENOS han proporcionado información valiosa pero también presentan varias limitaciones (Arjona y col., 2016). Metodológicamente, muchos estudios se basan en análisis retrospectivos de resultados de salud y patrones climáticos, que pueden no capturar adecuadamente las interacciones complejas y bi-

direccionales entre los eventos climáticos y las respuestas de los servicios de salud (Gutierrez y col., 2020; Sorensen y col., 2017; Thielen y col., 2023). El objetivo de este estudio es evaluar el riesgo climático sobre los servicios de salud en Ecuador, enfocándose en cómo los efectos del ENOS afectan la demanda de los servicios en diferentes cantones.

2 Materiales y Métodos

El fenómeno ENOS impacta significativamente la salud pública en Ecuador, aumentando la prevalencia de enfermedades transmitidas por el agua, infecciones respiratorias y enfermedades vectoriales como el dengue, malaria y cólera (Sorensen y col., 2017). Las poblaciones rurales vulnerables enfrentan barreras para acceder a la atención médica debido al desplazamiento y las dificultades económicas (Díaz-Vélez y col., 2020). Además, existen disparidades en accesibilidad y calidad de los servicios de salud entre áreas urbanas y rurales, exacerbadas por factores socioeconómicos (Gutierrez y col., 2020; Liu y col., 2023). Por tanto, es necesario mejorar la preparación para emergencias, mejorar la vigilancia de enfermedades y los mecanismos de respuesta, e integrar las evaluaciones de riesgos climáticos en la planificación y prestación de servicios de salud (Schwartz y col., 2023). En este sentido se plantea la siguiente hipótesis *H1*: El riesgo climático afecta significativamente a los servicios de salud local en el Ecuador.

2.1 Resiliencia Comunitaria

La resiliencia comunitaria frente a los desastres naturales y el cambio climático abarca una amplia gama de conceptos y medidas, centrándose en la capacidad de las comunidades para anticipar, prepararse, responder y recuperarse de situaciones adversas. Esta resiliencia se basa en varios pilares, entre ellos una infraestructura sólida, una gobernanza local eficaz, la cohesión social y la diversificación económica (Aldrich y Meyer, 2015). Las medidas de resiliencia comunitaria a menudo implican evaluaciones de estos pilares, junto con la capacidad de aprendizaje adaptativo y la implementación de prácticas de gestión ambiental sostenible (Patel y col., 2017; Pacheco-Peña, Lema-Quinga y Yáñez-Moretta, 2023).

Ejemplos de estrategias municipales para aumentar la resiliencia al ENOS incluyen el desarrollo de sistemas de alerta temprana, la construcción de infraestructura resistente a inundaciones y el establecimiento de equipos comunitarios de respuesta a emergencias (Vilema y Mendoza, 2014). En Ecuador, los municipios han participado en proyectos de reforestación para reducir los riesgos de deslizamientos de tierra y han implementado estrategias de gestión del agua para abordar los desafíos que plantean tanto el exceso de agua durante las fuertes lluvias como la escasez de agua durante las sequías (Vilema y Roman, 2018).

Por otro lado, la aplicación de políticas públicas locales de resiliencia y la eficacia de la respuesta en los servicios de salud ha considerado la integración del enfoque de salud en una planificación municipal más amplia para la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al clima (Arjona y col., 2016). Los estudios han demostrado que los municipios que priorizan la resiliencia de los servicios de salud en sus procesos de planificación experimentan menos interrupciones en la prestación de atención médica y pueden brindar respuestas más efectivas a las emergencias de salud pública inducidas por el fenómeno ENOS (Gutierrez y col., 2020; Sorensen y col., 2017; Vilema, Mendoza y Briones, 2017; Vilema y Mendoza, 2014). Por tanto, se ha planteado la siguiente hipótesis H2: La resiliencia comunitaria modula el efecto entre el riesgo climático y los servicios de salud local en el Ecuador.

2.2 Cobertura Sanitaria

Existe un papel fundamental de la cobertura sanitaria integral para mejorar la resiliencia de las poblaciones vulnerables a los impactos del cambio climático. Una cobertura sanitaria eficaz puede reducir la exposición de estas poblaciones a los riesgos para la salud relacionados con el clima mejorando el acceso a la atención preventiva, los servicios de emergencia y los programas de gestión de enfermedades (Moyo y col., 2023). Además, integrar consideraciones sobre el cambio climático en las políticas de cobertura sanitaria puede guiar el desarrollo de intervenciones específicas destinadas a reducir las disparidades en salud y mejorar la preparación de la salud pública para los efectos del cambio climático (Ansah y col., 2021).

La cobertura sanitaria integral garantiza el acceso oportuno a los servicios de salud, reduciendo la morbilidad y la mortalidad asociadas a los problemas de salud inducidos por el clima (Gutierrez y col., 2020). Por ejemplo, durante el episodio ENOS de 1997-1998, las zonas con amplia cobertura sanitaria en Ecuador pudieron proporcionar una vigilancia de enfermedades más eficaz, alertas tempranas e intervenciones oportunas, reduciendo significativamente los resultados adversos para la salud asociados con el episodio (Thielen y col., 2023).

Esta cobertura incluyó el establecimiento de unidades de salud móviles, el almacenamiento de medicamentos esenciales y la capacitación de trabajadores de la salud en los riesgos para la salud relacionados con el clima (Patel y col., 2017; Rollenbeck y col., 2022). Por tanto, se ha planteado la siguiente hipótesis H3: La cobertura sanitaria modera el efecto entre el riesgo climático y los servicios de salud local en el Ecuador.

2.3 Diversidad Geográfica

No se puede subestimar la importancia de la geografía en la planificación y prestación de servicios de salud frente a los riesgos climáticos. Las consideraciones geográficas son cruciales para desarrollar modelos de prestación de servicios de salud personalizados que aborden las vulnerabilidades específicas de cada región (Fernandez, Bucaram y Renteria, 2015; Vilema y Mendoza, 2014). Por ejemplo, las zonas costeras pueden requerir una infraestructura sólida para resistir las inundaciones, mientras que las zonas montañosas podrían beneficiarse de programas mejorados de seguridad alimentaria para prevenir la desnutrición durante los eventos ENOS (Gutierrez y col., 2020; Thielen y col., 2023). Por tanto, la incorporación de la diversidad geográfica en la planificación de los servicios de salud permite el desarrollo de estrategias adaptativas que sean sensibles a las distintas necesidades y vulnerabilidades de las diferentes regiones (Schwartz y col., 2023).

Los factores geográficos en Ecuador influyen significativamente en la relación entre los servicios de salud y el riesgo climático, subrayando la importancia del análisis espacial para comprender la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta (Vilema y col., 2024). Gutierrez y col. (2020) menciona

que las áreas con mayor altitud enfrentan desafíos distintos en comparación con las regiones costeras, incluida la variabilidad en los patrones de temperatura y precipitación que afectan a los vectores de enfermedades de manera diferente.

espacial entre las anomalías climáticas inducidas por ENOS y los brotes de enfermedades sensibles al clima como la malaria y el dengue. Por tanto, se plantea la siguiente hipótesis H4: La diversidad geográfica impulsa el efecto entre el riesgo climático y los servicios de salud local en el Ecuador.

Díaz-Vélez y col. (2020) observan la correlación

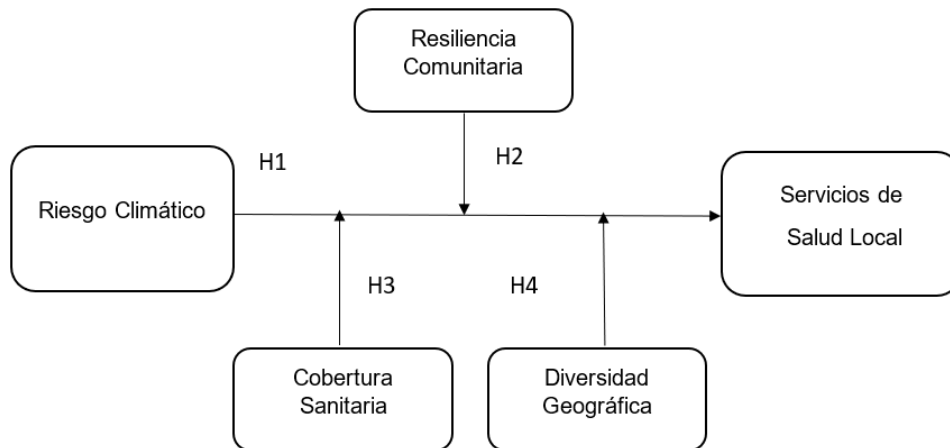


Figura 1. Modelo de investigación.

Para analizar la influencia del riesgo climático sobre los servicios de salud local en el Ecuador, se utiliza información de los 221 municipios del país, considerando varias fuentes de información y año. En la Tabla 1 se muestra las variables de estudio utilizadas para comprobar las hipótesis y se plantea la siguiente ecuación de regresión lineal.

$$\text{servicios}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{riesgo}_i + \beta_j \sum_n^{j=2} \chi_i + \beta_k \sum_n^{j=2} Z_k + \varepsilon \quad (1)$$

En la Ecuación 1 se muestra el modelo estadístico planteado, donde, servicios_i es la variable dependiente (Servicios de salud local en el cantón i). riesgo_i es la variable independiente (riesgo climático del cantón i). $\sum_n^{j=2} \chi_i$ es un conjunto de variables moderadoras del cantón i (resiliencia comunitaria y cobertura sanitaria). $\sum_n^{j=2} Z_k$ es un conjunto de variables de control del cantón i (población, ingreso per cápita, litoral, sierra, amazonia). $\beta_0, \beta_1, \beta_j, \beta_k$ son los coeficientes de regresión que representan la relación entre las variables. Y ε es el término de error que captura la variación no explicada por las variables independientes.

La participación de los servicios de salud local en el cantón es un indicador que destaca la contribución del sector de la salud a la economía en general, proporcionando información sobre la importancia de la asignación de recursos, la eficiencia y la capacidad del sector para responder a las crisis de salud, incluidas aquellas exacerbadas por los riesgos climáticos (Phillips, 2005). El análisis de las inversiones en el sector de la salud se correlacionan con mejoras en la accesibilidad, calidad y distribución de los servicios de salud, factores cruciales para mitigar los impactos del cambio climático en la salud pública (Moyo y col., 2023).

Por otro lado, el indicador de hectáreas afectadas por eventos peligrosos debido al aumento de las precipitaciones y la temperatura sirve como una medida crítica para evaluar el riesgo climático. Esta métrica captura cuantitativamente el alcance de los daños ambientales y agrícolas, lo que refleja directamente la mayor vulnerabilidad y exposición de los ecosistemas y asentamientos humanos a los peligros inducidos por el clima (Field y Barros, 2014).

En el proceso de evaluación de las hipótesis del estudio, se considera la variabilidad en la calidad de los datos entre los diferentes municipios, lo que podría influir en los resultados del estudio. Esta disparidad en la calidad de los datos podría deberse a diferencias en la capacidad de monitoreo y reporte de los eventos climáticos y de salud entre los municipios. Los municipios con mejores sistemas de re-

gistro y monitoreo pueden proporcionar datos más precisos y completos, mientras que otros con recursos limitados pueden tener datos menos fiables. Esta diferencia en la calidad de los datos es considerada en los análisis y se mitigan mediante el uso de múltiples fuentes de datos y la aplicación de técnicas estadísticas robustas que permiten controlar posibles sesgos y variaciones.

Tabla 1. Variables de estudio.

CODIGO	DESCRIPCION	MEDIDA	FUENTE
Servicios	Servicios de salud local. - medido por la participación del Valor Agregado Bruto (VAB) de la rama económica de salud sobre el Valor Agregado Bruto Total del cantón del año 2020.	Miles de dólares	Cuentas Regionales - (Banco Central del Ecuador, 2022)
Riesgo	Riesgo climático. - medido por el número de hectáreas afectadas por eventos peligrosos reportados por aumento de precipitaciones y temperatura durante el 2010 a 2020	Hectáreas	Reporte de monitoreo de amenazas y eventos peligrosos - Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2022)
Resiliencia	Resiliencia comunitaria. - medido por el índice de capacidad operativa municipal (2016-2020)	Puntuaciones	Reporte de monitoreo y evaluación de GAD - Consejo Nacional de Competencias (2022)
Cobertura	Cobertura sanitaria. - medido por el número de establecimientos de salud (2020)	Establecimiento	Salud en cifras - Ministerio de Salud Pública (2022)
Pop20	Participación de la población del cantón sobre el total de la población, proyección al año 2020	Habitantes	Proyecciones poblacionales 2010 - 2020 - Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022)
Ingpc	Ingreso per cápita en el cantón. - VAB / Población (2020)	Miles de dólares por habitante	Cuentas Regionales - Banco Central del Ecuador (2022)
Litoral	Región litoral	1 = si ; 0 =no	Censo Población y Vivienda - INEC (2022)
Sierra	Región sierra	1 = si ; 0 =no	
Amazonia	Región amazonia	1 = si ; 0 =no	

3 Resultados y Discusión

La Tabla 2 presenta estadísticas descriptivas cruciales para entender el impacto del riesgo climático

en la prestación de servicios de salud locales en el contexto ecuatoriano. Los datos revelan que, en promedio, el valor agregado bruto (VAB) de los servicios de salud local, expresado en miles de dólares,

es de 5.078, con una desviación estándar de 6.362, indicando una variabilidad significativa entre los cantones en términos de la contribución económica de los servicios de salud al VAB total del cantón.

Respecto al riesgo climático, medido por el número de hectáreas afectadas por eventos peligrosos relacionados con el aumento de precipitaciones y temperatura entre 2010 y 2020, la media es alarmantemente alta, con 4225.756 hectáreas afectadas y una desviación estándar de 27179.89, subrayando

la extrema variabilidad y el impacto significativo de estos eventos en el país. La resiliencia comunitaria, evaluada a través del índice de capacidad operativa municipal, muestra un promedio de 17.279 con una desviación estándar de 3.835, reflejando diferencias en la capacidad de respuesta ante emergencias climáticas. La cobertura sanitaria, medida por el número de establecimientos de salud, tiene una media de 14.185 y una desviación estándar de 2.034, lo que evidencia las discrepancias en la disponibilidad de servicios de salud.

Tabla 2. Estadísticas Descriptivas.

Variable	Media	Desv. Est.	Unidades
Servicios	5.078	6.362	Miles US \$
Riesgo	4225.756	27179.89	Hectáreas
Resiliencia	17.279	3.835	Puntos
Cobertura	14.185	2.034	Establecimientos
Pop20	0.452	1.534	Habitantes
Ingpc	3.388	5.094	Miles de US \$
Litoral	0.402	0.4915	%
Sierra	0.375	0.485	%
Amazonia	0.144	0.352	%

La Tabla 3 presenta un análisis de regresión lineal para evaluar el impacto del riesgo climático, medido por el número de hectáreas afectadas por eventos peligrosos, sobre los servicios de salud locales, representados por la participación del Valor Agregado Bruto (VAB) de la salud en la economía local. Los resultados demuestran una relación negativa estadísticamente significativa entre el riesgo climático y los servicios de salud locales, tanto en el modelo sin variables de control (coeficiente = $-1,57 * 10^{-5}$, $p < 0,01$) como en el modelo con variables de control (coeficiente = $-1,36 * 10^{-5}$, $p < 0,01$).

Este hallazgo sugiere que un aumento en las hectáreas afectadas por eventos climáticos peligrosos está asociado con una disminución en la contribución económica del sector salud a nivel local. Estos resultados proporcionan evidencia empírica en apoyo de la Hipótesis *H1*, que postulaba que el riesgo climático afecta significativamente a los servicios de salud locales en Ecuador. La significancia estadística del coeficiente del riesgo climático en ambos modelos subraya la relevancia del cambio climático y sus efectos adversos como un determi-

nante crítico de la capacidad y la eficiencia de los servicios de salud locales.

La Tabla 4 presenta un análisis detallado que investiga el efecto moderador de la resiliencia comunitaria en la relación entre el riesgo climático y los servicios de salud local. Los resultados indican que, tanto con y sin controles, el riesgo climático tiene un impacto negativo significativo en los servicios de salud local (coeficiente de $-1,55 * 10^{-5}$ y $-1,35 * 10^{-5}$ respectivamente, $p < 0,001$), lo que subraya la vulnerabilidad de los servicios de salud ante eventos climáticos extremos. Sin embargo, la resiliencia comunitaria, medida por el índice de capacidad operativa municipal, no mostró un efecto moderador estadísticamente significativo en esta relación (coeficiente de $-0,0191$ sin controles y $-0,00539$ con controles, $p > 0,05$).

Estos hallazgos proporcionan evidencia parcial para la Hipótesis *H2*, que postulaba que la resiliencia comunitaria modula el efecto del riesgo climático sobre los servicios de salud local en Ecuador. Aunque el riesgo climático demuestra tener un efec-

to negativo en los servicios de salud, la falta de significancia estadística en el papel moderador de la resiliencia comunitaria sugiere que otros factores podrían estar influyendo en la capacidad de las comunidades para mitigar los impactos del riesgo climático en los servicios de salud.

Tabla 3. Regresión lineal entre servicios de salud local y riesgo climático.

Variables	Sin controles (1)	Con controles (2)
Riesgo	$-1.57 \times 10^{-5}***$ (4.64×10^{-6})	$-1.36 \times 10^{-5}***$ (4.55×10^{-6})
Constante	5.145*** (0.434)	5.055*** (1.718)
Observaciones	221	221
R-cuadrado	0.004	0.040

Errores estándar robustos entre paréntesis:
 *** $p < 0,01$. ** $p < 0,05$. * $p < 0,1$

Tabla 4. Regresión lineal del efecto moderador de resiliencia comunitaria entre los servicios de salud local y riesgo climático.

Variables	Sin controles (1)	Con controles (2)
Riesgo	$-1.55 \times 10^{-5}***$ (4.77×10^{-6})	$-1.35 \times 10^{-5}***$ (4.71×10^{-6})
Resiliencia	-0.0191 (0.0938)	-0.00539 (0.0972)
Constante	5.475*** (1.661)	5.148*** (2.194)
Observaciones	221	221
R-cuadrado	0.005	0.040

Errores estándar robustos entre paréntesis:
 *** $p < 0,01$. ** $p < 0,05$. * $p < 0,1$

La Tabla 5 examina el efecto moderador de la cobertura sanitaria sobre la relación entre el riesgo climático y los servicios de salud locales, contribuyendo a la comprensión de cómo una amplia cobertura sanitaria puede atenuar los efectos adversos del cambio climático en la prestación de servicios de salud. Los resultados revelan que, sin controles, el riesgo climático tiene un efecto negativo significativo en los servicios de salud locales, con un coeficiente de $-1,57 \times 10^{-5}$ ($p < 0,01$), mientras que, al introducir controles, este efecto se intensifica a $-2,14 \times 10^{-5}$ ($p < 0,01$).

Notablemente, la cobertura sanitaria emerge como un moderador significativo en este contexto, con un coeficiente positivo de 0,119 ($p < 0,05$) en el modelo con controles. Este hallazgo indica que una mayor cobertura sanitaria contribuye a mitigar los impactos negativos del riesgo climático en los servicios de salud. En consecuencia, estos resultados

apoyan la Hipótesis H3, sugiriendo que la cobertura sanitaria efectiva desempeña un papel crucial en la moderación del efecto adverso del riesgo climático en los servicios de salud local en Ecuador.

La Tabla 6 presenta un análisis pionero que explora cómo la diversidad geográfica modula el impacto del riesgo climático, asociado con ENOS en los servicios de salud locales. El modelo de regresión utilizado revela que el riesgo climático, medido en términos de hectáreas afectadas por eventos climáticos extremos, tiene una relación significativa con la capacidad de los servicios de salud locales, ajustada por la influencia geográfica de las regiones litoral, sierra y amazonia. De manera específica, se encontró que el riesgo climático incrementa los servicios de salud locales en 0,0734 unidades por cada unidad incrementada en el riesgo en la región litoral ($p < 0,05$), mientras que se observa una dis-

minución similar en las regiones sierra y amazonia, indicando una relación negativa entre el riesgo climático y los servicios de salud en estas áreas.

Tabla 5. Regresión lineal del efecto moderador de cobertura sanitaria entre los servicios de salud local y riesgo climático.

VARIABLES	Sin controles (1)	Con controles (2)
Riesgo	$-1.57 * 10^{-5} ***$ ($4.74 * 10^{-6}$)	$-2.14 * 10^{-5} ***$ ($4.77 * 10^{-6}$)
Cobertura	0.000699 (0.0166)	0.119** (0.0475)
Constante	5.136*** (0.511)	4.223*** (1.735)
Observaciones	221	221
R-cuadrado	0.004	0.063

Errores estándar robustos entre paréntesis:

*** $p < 0,01$. ** $p < 0,05$. * $p < 0,1$

Tabla 6. Regresión lineal del efecto impulso de la diversidad geográfica entre los servicios de salud local y riesgo climático.

VARIABLES	Sin controles (1)	Con controles (2)
Riesgo	0.0734* (0.0375)	0.0714* (0.0378)
RiesgoxLitoral	-0.0735* (0.0375)	-0.0714* (0.0378)
RiesgoxSierra	-0.0735* (0.0375)	-0.0714* (0.0378)
RiesgoxAmazonia	-0.0741** (0.0375)	-0.0720* (0.0378)
Constante	5.046*** (0.434)	5.648*** (0.532)
Observaciones	221	221
R-cuadrado	0.039	0.057

Errores estándar robustos entre paréntesis:

*** $p < 0,01$. ** $p < 0,05$. * $p < 0,1$

Este hallazgo sustenta la Hipótesis *H4*, que postulaba que la diversidad geográfica impulsa el efecto entre el riesgo climático y los servicios de salud local en Ecuador. Indica que las regiones geográficas del país no solo difieren en términos de su exposición y vulnerabilidad al riesgo climático sino también en cómo este riesgo afecta la disponibilidad y demanda de servicios de salud.

Los resultados revelan interacciones significativas entre el riesgo climático y la capacidad de los servicios de salud locales para responder eficazmente a las necesidades emergentes, particularmente en el contexto del ENOS. Los análisis de regresión

lineal indican que el riesgo climático, medido por el número de hectáreas afectadas por eventos peligrosos ($\beta = -1,57 * 10^{-5} ***$, $p < 0,001$), tiene un impacto negativo significativo en los servicios de salud local, lo cual confirma la Hipótesis *H1*. Esto subraya la vulnerabilidad del sector salud frente a cambios y eventos climáticos extremos, afectando su capacidad de operación y respuesta en emergencias.

La influencia moderadora de la resiliencia comunitaria sobre la relación entre riesgo climático y servicios de salud local, aunque no estadísticamente significativa en todos los modelos

($\beta = -0,0191, p > 0,05$), sugiere una tendencia hacia la atenuación del impacto negativo del riesgo climático, apoyando parcialmente la Hipótesis H2. Este hallazgo destaca la importancia de fortalecer la resiliencia comunitaria como estrategia para mejorar la capacidad de respuesta de los servicios de salud ante eventos climáticos extremos.

Por otro lado, la cobertura sanitaria muestra una moderación positiva y significativa ($\beta = 0,119 * , p < 0,01$) en la relación entre riesgo climático y servicios de salud local, lo cual respalda la Hipótesis H3. Este resultado enfatiza el papel crucial de una cobertura sanitaria amplia y accesible en la mitigación de los efectos adversos del riesgo climático sobre la salud pública. Finalmente, los efectos de la diversidad geográfica ($\beta = 0,0714 * , p < 0,05$ para regiones específicas) corroboran la Hipótesis H4, indicando que la geografía juega un rol determinante en cómo el riesgo climático afecta los servicios de salud local. Regiones específicas, como las costeras y amazónicas, muestran variaciones significativas en la vulnerabilidad y capacidad de respuesta, subrayando la necesidad de enfoques adaptativos y personalizados en la planificación de la salud.

4 Conclusiones

Este estudio evaluó el impacto del riesgo climático, particularmente los eventos asociados con ENOS en los servicios de salud locales en Ecuador. A través de un análisis exhaustivo de datos de 221 municipios, revelamos cómo la variabilidad climática afecta significativamente la capacidad y distribución de los servicios de salud. La resiliencia comunitaria y la cobertura sanitaria demostraron ser moderadores significativos en esta relación, sugiriendo que el fortalecimiento de la capacidad de respuesta local y el acceso a servicios de salud pueden atenuar los efectos negativos del riesgo climático. Sin embargo, las diferencias geográficas introducen una variabilidad notable en este efecto, subrayando la importancia de adaptar las estrategias de mitigación a las características específicas de cada región.

A pesar de estos hallazgos significativos, el estudio enfrentó limitaciones, incluyendo la variabilidad en la calidad de los datos entre municipios y la dificultad para capturar la complejidad total de los sistemas de salud y su interacción con factores cli-

máticos. Futuras investigaciones deberían explorar en mayor detalle cómo las intervenciones específicas de adaptación y mitigación pueden mejorar la resiliencia de los sistemas de salud frente al cambio climático, especialmente en áreas más vulnerables. Además, es crucial una mejor integración de los datos de salud y climáticos para desarrollar modelos predictivos más precisos que guíen la planificación de la salud pública en contextos de cambio climático.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad ECOTEC por su apoyo logístico en el desarrollo de esta investigación.

Contribución de los autores

S.V.E.: Conceptualización, tratamiento de datos, Curación de los datos, Metodología, Visualización, Escritura borrador original, Escritura revisión y Edición; M.M.O.: Conceptualización, Conceptualización, tratamiento de datos, Curación de los datos, Metodología, Visualización, Escritura borrador original, Escritura revisión y Edición.

Referencias

- Alatrística-Salas, H. y col. (2021). «Impact of natural disasters on consumer behavior: Case of the 2017 El Niño phenomenon in Peru». En: *PloS One* 16.1, e0244409. Online: <https://n9.cl/33wot>.
- Aldrich, D. y M. Meyer (2015). «Social capital and community resilience». En: *American behavioral scientist* 59.2, 254-269. Online: <https://n9.cl/krn42>.
- Ansah, E. y col. (2021). «Climate change, health and safety of workers in developing economies: A scoping review». En: *The Journal of Climate Change and Health* 3, 100034. Online: <https://n9.cl/phokm>.
- Arjona, R. y col. (2016). «Climate change and agricultural workers' health in Ecuador: occupational exposure to UV radiation and hot environments». En: *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità* 52.3, 368-373. Online: <https://n9.cl/v22m9>.

- Barberán, R. y col. (2019). «Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 72.1, 8707-8716. Online: <https://n9.cl/gomc0>.
- Díaz-Vélez, C. y col. (2020). «Dengue Fever in a One Health Perspective». En: IntechOpen. Cap. Situation of Dengue after the Phenomenon of the Coastal El Niño, págs. 33-50.
- Fernandez, M., S. Bucaram y W. Renteria (2015). «Assessing local vulnerability to climate change in Ecuador». En: *SpringerPlus* 4, 1-20. Online: <https://n9.cl/hcw6se>.
- Field, C. B. y V. R. Barros (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge University Press.
- García-Parra, M. y col. (2022). «The Sustainable Development Goals in America: Overview.» En: *La Granja* 36.2, 45-59. Online: <https://bit.ly/3YNE685>.
- Guenni, L. de y col. (2017). «Predicting monthly precipitation along coastal Ecuador: ENSO and transfer function models». En: *Theoretical and Applied Climatology* 129, 1059-1073. Online: <https://n9.cl/2ajqm6>.
- Gutierrez, H. y col. (2020). «Perceptions of local vulnerability and the relative importance of climate change in rural Ecuador». En: *Human Ecology* 48, 383-395. Online: <https://n9.cl/3xkm1>.
- Hahn, R. (2019). «Two paths to health in all policies: The traditional public health path and the path of social determinants». En: *American Journal of public health* 109.2, 253. Online: <https://n9.cl/75zm5>.
- Hidalgo, D. y col. (2024). «Retiro del glaciar del Carihuairazo y sus implicaciones en la comunidad de Cunucyacu». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 39.1, 92-115. Online: <https://n9.cl/iqf9l>.
- Liu, Y. y col. (2023). «Nonlinear El Niño impacts on the global economy under climate change». En: *Nature Communications* 14.1, 5887. Online: <https://n9.cl/7qw7xc>.
- McMichael, A. y col. (2003). *Climate change and human health: risks and responses*. World Health Organization.
- Moyo, E. y col. (2023). «Health effects of climate change in Africa: A call for an improved implementation of prevention measures». En: *Eco-Environment y Health* 2.2, 74-78. Online: <https://n9.cl/to3gi>.
- Pacheco-Peña, D., L. Lema-Quinga y P. Yáñez-Moretta (2023). «Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al cambio climático global: el caso de la Comuna Santa Clara de San Millán, DM Quito». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 37.1, 44-57. Online: <https://n9.cl/sbdoq>.
- Patel, S. y col. (2017). «What do we mean by 'community resilience'? A systematic literature review of how it is defined in the literature». En: *PLoS currents* 9, Online: <https://n9.cl/ebmes>.
- Paton, D. y D. Johnston (2017). *Disaster resilience: an integrated approach*. Charles C Thomas Publisher.
- Phillips, C. (2005). *Health economics: an introduction for health professionals*. 1 ed. John Wiley y Sons.
- Rollenbeck, R. y col. (2022). «The Coastal El Niño event of 2017 in Ecuador and Peru: A weather radar analysis». En: *Remote Sensing* 14.4, 824. Online: <https://n9.cl/o08e9>.
- Ron, R. y col. (2018). «Modelo econométrico de los índices de eficiencia hospitalaria en unidades de II nivel de atención, en el Ecuador». En: *Revista ESPACIOS* 39.45, 27. Online: <https://n9.cl/jmuko>.
- Schwartz, S. y col. (2023). «Climate change anxiety and mental health: Environmental activism as buffer». En: *Current Psychology* 42.20, 16708-16721. Online: <https://n9.cl/x530x7>.
- Sorensen, C. y col. (2017). «Climate variability, vulnerability, and natural disasters: a case study of Zika virus in Manabi, Ecuador following the 2016 earthquake». En: *GeoHealth* 1.8, 298-304. Online: <https://n9.cl/6lvvp>.
- Subía-Cabrera, A. y J. Subía-Cabrera (2022). «Política ambiental ecuatoriana sobre cambio climático como garantía del derecho a un ambiente sano». En: *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 32, 147-166. Online: <https://n9.cl/2j2j1p>.
- Thielen, D. y col. (2023). «Effect of extreme El Niño events on the precipitation of Ecuador». En: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 23.4, 1507-1527. Online: <https://n9.cl/5srqa>.
- Toulkeridis, T. y col. (2020). «Climate Change according to Ecuadorian academics-Perceptions versus facts». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 31.1, 21-46. Online: <https://n9.cl/nycxa>.
- Vaccaro Witt, G. y col. (2023). «Desafíos y problemas de la salud pública en Ecuador». En: *RECIA-MUC* 7.2, 10-21. Online: <https://n9.cl/e2cgm>.

- Vilema, F. y H. Mendoza (2014). «Capacidad territorial de adaptación y mitigación al cambio climático en el Ecuador». En: *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración* 1.1, 15-27. Online: <https://n9.cl/9ku21>.
- Vilema, F., H. Mendoza y H. Briones (2017). «Biodiversidad, servicios ecosistémicos y desarrollo local sustentable en el Golfo de Guayaquil». Online: <https://n9.cl/so3lh>.
- Vilema, F. y C. Roman (2018). «Desastres y gestión de riesgos: Desde un enfoque interdisciplinario». En: Universidad Casa Grande. Cap. Análisis espacial de la vulnerabilidad urbana: Caso Pedernales, págs. 193-209.
- Vilema, S. y col. (2024). «Vulnerabilidad Climática y Resiliencia Económica Local en el Ecuador». En: *Cuestiones Económicas* 34.1, 167-189. Online: <https://n9.cl/nyadt>.



IMPACTOS ECOLÓGICOS, ECONÓMICOS Y SOCIALES DEL SECTOR CACAOTERO COLOMBIANO

ECOLOGICAL, ECONOMIC AND SOCIAL IMPACTS OF THE COLOMBIAN COCOA SECTOR

Diego Ivan Caviedes Rubio¹, Fabián Eduardo Parra García¹ y Karla
Catherine Andrade Vargas²

¹Grupo de Investigación de Ingenierías UCC – Neiva, Universidad Cooperativa de Colombia. Código Postal 410001, Neiva, Colombia.

²Kyoto University of Education. Código Postal 6128522. Kioto, Japón.

*Autor para correspondencia: diego.caviedesr@campusucc.edu.co

Manuscrito recibido el 06 de junio de 2022. Aceptado, tras revisión, el 25 de octubre de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

El cacao colombiano, debido a su excelente calidad, se ha convertido en un producto que ha incursionado de manera considerable en el mercado nacional e internacional, lo que ha incrementado su demanda y con ello los efectos inherentes a sus prácticas productivas. Esta revisión de alcance se realizó siguiendo las orientaciones del *Joanna Briggs Institute* (JBI), lo que permitió la selección de 72 documentos, cuya extracción de información condujo a la identificación y homologación de los impactos económicos, ecológicos y sociales del sector cacaotero en los diferentes departamentos productores de Colombia, de los cuales destacan los departamentos de Santander, Antioquia, Arauca, Huila y Tolima, quienes generan el 70% de la producción de cacao a nivel nacional. En la revisión, se observa claramente un total de 13 impactos sociales, 25 ecológicos y 21 económicos, que corresponden a los impactos más persistentes evidenciados en las diferentes investigaciones desarrolladas en este país.

Palabras clave: impacto, cacao, Colombia, productores

Abstract

Due to its excellent quality, Colombian cocoa has become a product that has made considerable inroads in the national and international market, increasing its demand and the effects inherent to its production practices. This scope review was carried out following the guidelines of the *Joanna Briggs Institute* (JBI), which allowed the selection of 72 documents, whose information extraction led to the identification and standardization of the economic, ecological and social impacts of the cocoa sector in the different producing cities of Colombia, of which Santander, Antioquia,

Arauca, Huila and Tolima stand out since they generate 70% of the cocoa production at the national level. In the review, a total of 13 social, 25 ecological and 21 economic impacts are clearly observed, which correspond to the most persistent impacts evidenced in the different investigations carried out in this country.

Keywords: impact, cocoa, Colombia, producers.

Forma sugerida de citar: Caviedes Rubio, D.I., Parra García, F.E. y Andrade Vargas, K.C. (2024). Impactos ecológicos, económicos y sociales del sector cacaoero Colombiano. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):50-64. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.03>.

IDs Orcid:

Diego Ivan Caviedes Rubio: <https://orcid.org/0000-0002-6101-9114>

Fabián Eduardo Parra García: <https://orcid.org/0000-0003-4454-0378>

Karla Catherine Andrade Vargas: <https://orcid.org/0000-0001-9389-2674>

1 Introducción

La agricultura a nivel mundial crece con el aumento de la población que genera un incremento en la demanda de productos que permiten asegurar la disponibilidad de alimentos inocuos y nutritivos. El cacao es un producto básico y de suprema importancia en la agricultura mundial debido a su gran cantidad de derivados y productos que se fabrican a partir de él. África acapara el mercado con un 77% de la producción mundial, seguido de América Latina, en donde la producción global de grano de cacao es del 17% (International Cocoa Organization, 2019). El cacao colombiano se destaca por su gran calidad, aroma y sabor, ocupando después de República Dominicana el décimo lugar en el ranking mundial, con una producción de 63 416 toneladas para el año 2020, de las cuales se exportaron 11 148 toneladas (Cataño, 2019; Baquero, 2021).

Los países africanos, Costa de Marfil y Ghana son los principales productores de cacao a nivel mundial, seguidos de países suramericanos como Ecuador y Brasil (International Cocoa Organization, 2021), pero la producción cacaotera, como cualquier otra producción agrícola genera efectos adversos al ambiente. Un ejemplo de ello se evidencia en Costa de Marfil, donde solo queda un 4% de su territorio cubierto con selva tropical y en 13 de sus 23 zonas protegidas ha desaparecido por completo la población de primates y elefantes, según la ONG Mighty Earth, uno de los principales motivos es la expansión de los campos de cultivo de cacao (Claus y col., 2018; Jagoret, Saj y Carimentrand, 2020). En Ghana, alternativas como la agricultura climáticamente inteligente cuyos objetivos son la mitigación y adaptación al cambio climático y la seguridad alimentaria, presentan una amenaza de inequidad para con los pequeños productores y un favorecimiento del dominio multinacional (Taylor, 2018; Maas y col., 2020; Nasser y col., 2020). Estos datos son realmente alarmantes y de urgente intervención debido al gran impacto que está causando el sector cacaotero no solo en África si no a nivel mundial.

Garmendia y col. (2005) y Mereddy, Shah y Davergave (2017) definen el impacto ambiental como la alteración de la calidad del medio ambiente, generada por actividades antropogénicas de manera directa e indirecta. Generalmente, estos impactos se evalúan desde los aspectos ecológicos y socioeco-

nómicos, midiendo los cambios en el bienestar de los individuos, siempre que este se pueda atribuir a una actividad, proyecto o política como relación causal (Gertler y col., 2017), convirtiendo a la evaluación de impacto en un componente prioritario para el desarrollo e implementación de una agricultura sostenible, el aseguramiento de la producción y distribución de alimentos y la restauración de los recursos naturales (Bergez y col., 2022; Kross, Kaur y Jaeger, 2022).

Estudios realizados por Schroth y col. (2011), Braga, Domene y Gandara (2019) y Rocha y col. (2019) en Brasil y Hands (2021) en otros países de Latinoamérica, indican que solo bajo producción de pequeños agricultores con una gestión agrícola reducida en un paisaje forestal (agrosilvicultura), se pueden garantizar la normalidad de los servicios ecosistémicos y la conservación de las comunidades silvestres. De acuerdo con estudios desarrollados por Brito, Gómez y Salaya (2018) y Rooduijn, Bongers y Wal (2018) en México, la producción de cacao en los agroecosistemas involucra de manera positiva el secuestro de carbono, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la fertilidad y biodiversidad del suelo y la calidad del agua. Igualmente, estudios desarrollados en Bolivia por Armengot y col. (2017) y Chumacero y col. (2018) describen impactos de la producción de cacao en los que se hace referencia a la biodiversidad de acuerdo con el sistema de cultivo y diversificación de la producción en fincas, aunque también a aspectos socioeconómicos adversos como falta de acceso al crédito, incrementos de la mano de obra y, en consecuencia, incrementos en costos de producción.

Actualmente se han realizado varias investigaciones del sector cacaotero colombiano en los diferentes departamentos productores, pero no se evidencia ninguno con datos suficientemente claros a nivel nacional sobre el impacto ambiental que tiene este sector tan importante para la economía colombiana. El objetivo de esta revisión es identificar los impactos ecológicos, económicos y sociales generados por la cacaocultura en Colombia, a partir de la frecuencia de mención en los estudios relacionados con el cultivo del cacao en este territorio.

2 Metodología

El procedimiento para la realización de esta revisión siguió las orientaciones propuestas por el "Joanna Briggs Institute (JBI) (Peters y col., 2015; Peters y col., 2020) y el Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analyses extensión for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) (Tricco y col., 2018).

2.1 Selección de estudios

El proceso de selección de las fuentes incluyó tres fases que permitieron definir los estudios para la extracción de la información. Estas fases corresponden a la identificación de fuentes de evidencia y estudios, la revisión y estrategias de búsqueda y la elegibilidad de los documentos para la obtención del análisis de información de acuerdo con los criterios de selección definidos.

2.2 Identificación de fuentes de evidencia

Teniendo como base la pregunta de revisión a resolver, definida como ¿Cuál es el impacto ambiental generado por la producción agrícola de cacao en Colombia? La cual presenta como el objetivo de estudio revisar los impactos positivos y negativos a nivel ecológico, económico y social de la producción de cacao en Colombia. Por su carácter inclusivo, la revisión realizada se clasifica como una revisión de alcance de acuerdo con la definición de Munn y col. (2022), lo que permite extender o ampliar la naturaleza de los documentos a estudiar en contextos particulares para identificar diversas evidencias y las limitaciones de la información existente (Pollock y col., 2022). Debido a que la literatura en esta temática es reducida, se seleccionaron además de artículos científicos en revistas especializadas, tesis de pregrado y posgrado (maestría y doctorado), documentos institucionales, independientemente del enfoque metodológico y resúmenes de conferencias.

2.3 Estrategias de búsqueda

Se identificaron los departamentos colombianos de mayor influencia cacaotera y se revisó el nivel de estudios desarrollados en estas zonas de influencias cacaoteras del país, incluyendo los enfoques y metodologías de investigación aplicada. Dentro de la búsqueda y recolección de datos, se recurrió a los repositorios de bibliotecas de diferentes universidades, documentos de la Federación Nacional

de Cacaoteros (FEDECACAO) y se utilizaron las siguientes bases de datos: Proquest, IFPRI, Redalyc, Sage, Science Direct, AGRIS, Google Scholar, Springer Journal, Scielo, en las cuales se hizo la revisión empleando las siguientes palabras clave y operadores booleanos: impactos económicos, impactos sociales, impactos ecológicos, certificación, cacaocultura, cacao, con el fin de obtener documentos relacionados para el análisis de la información. Las ecuaciones de búsqueda corresponden a (impactos económicos OR impactos sociales OR impactos ecológicos) AND (cacao OR «cacaocultura») AND (Colombia), también se emplearon búsquedas incluyendo las palabras clave en la ecuación en idioma inglés y español seguidas de "", "\$" y ().tw. Esta estrategia arrojó 182 registros junto a tres documentos institucionales no publicados en la red, de los cuales se depuraron 109 luego de retirar la duplicidad.

2.4 Elegibilidad e inclusión

Las potenciales fuentes de evidencia se descargaron en su totalidad y fueron evaluadas por lo menos por dos de los revisores siguiendo los criterios de inclusión que a continuación se presentan:

- Estar publicados como artículos en revistas de divulgación científica, libros, tesis de pregrado y posgrado.
- Estar en idioma inglés o español.
- Estar publicados desde el año 2000 hasta el año 2020.
- Que sea un estudio cuya área evaluada sea el territorio colombiano.
- Que el estudio solo abarque temas relacionados con el cacao.

Los desacuerdos presentados entre los revisores durante la selección se resolvieron con un revisor adicional. Luego de la valoración, se obtuvieron un total de 72 documentos con las particularidades necesarias para ser incorporados en el análisis de esta investigación. Se seleccionaron 51 artículos evaluados por pares, 17 tesis, 1 memoria de simposio y 3 documentos institucionales. Este proceso de selección se presenta en la Figura 1 con los registros identificados en cada fase mediante un diagrama de flujo PRISMA.

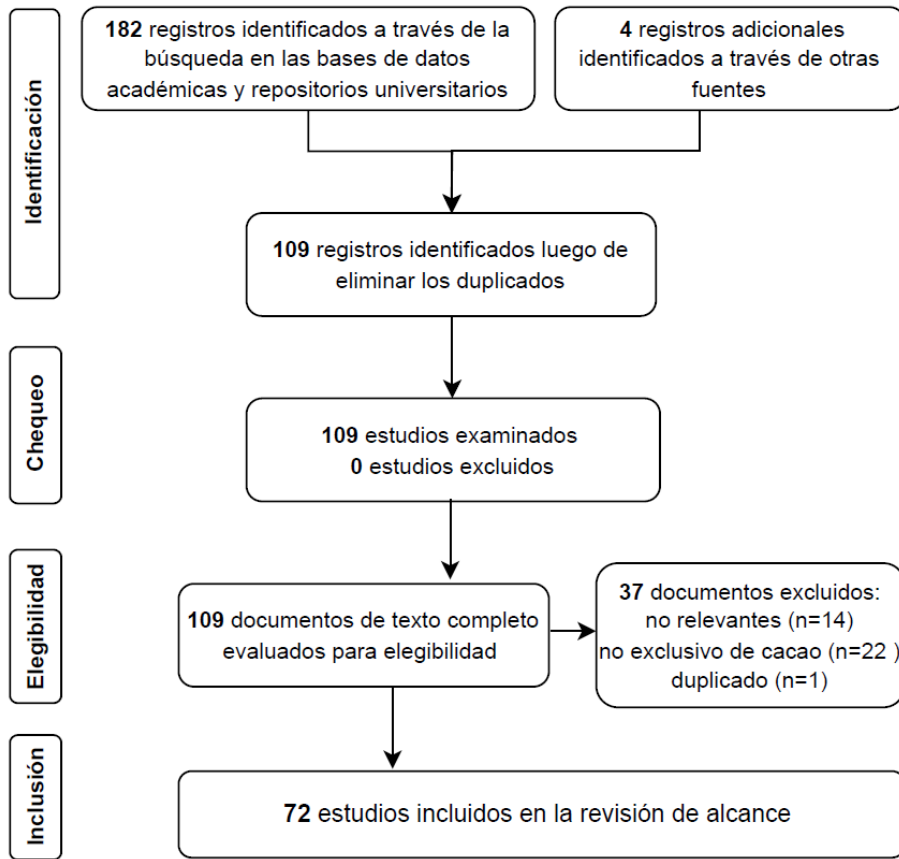


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA con proceso de selección de estudios para la revisión de alcance.

2.5 Extracción y tratamiento de datos

Los impactos citados en estas publicaciones se registraron en una matriz para su clasificación, homologación y determinación de frecuencias de citación. Debido a que el proceso es iterativo, durante la extracción de datos se fue perfeccionando la matriz. Finalmente, esta matriz para registro de datos incluyó características del estudio, como la categoría de la fuente y su origen, año de publicación, datos de los autores, título, palabras clave, área de estudio, muestra, diseño metodológico de la investigación, impactos ambientales según categoría y descripción del impacto. Con los datos condensados en la tabla se definieron las regiones más estudiadas del país en esta temática en particular, los diseños metodológicos más frecuentes y se homologaron los distintos impactos de acuerdo a lo expresado por los autores.

3 Resultados

3.1 Departamentos productores de cacao en Colombia

En la revisión se identificaron treinta (30) departamentos cacaoteros colombianos que tienen una participación importante en el sector; por otro lado, se logró evidenciar que cinco (5) de ellos tienen mayor porcentaje de participación en la producción del país, dentro de los cuales destacan (Tabla 1): Santander, Antioquia, Arauca, Huila y Tolima con un 72%, siendo Santander el que mayor influencia tiene con un 42% de producción del cacao colombiano (Fedecacao, 2019).

Tabla 1. Mayores productores de cacao en Colombia, cantidad de producción, área cultivada y porcentaje de participación en el mercado colombiano.

Departamento	Producción (t)	Producción (%)	Área Cultivada (ha)	Área Cultivada Nacional (%)
Santander	25158	42	73699,20	42,11
Antioquia	5259	9	15406,00	8,80
Arauca	4546	8	13317,30	7,61
Huila	4051	7	11867,22	6,78
Tolima	3928	7	11506,89	6,58

3.2 Departamentos cacaoteros más evaluados

Los 72 estudios revisados en esta investigación se encuentran distribuidos en 18 departamentos del territorio colombiano (Tabla 2), en donde casi el 70% se centran en los departamentos de Santander con 27,1%, Norte de Santander con 17,1%, Antioquia y Huila con 11,4% cada uno. Cabe resaltar que dentro de la revisión varios de los documentos seleccionados nombraban a más de un departamento dentro de sus áreas de estudios.

Tabla 2. Departamentos cacaoteros con mayor frecuencia de aparición.

Departamento	Frecuencia
Santander	19
Norte de Santander	12
Antioquia	8
Huila	8
Arauca	6
Cundinamarca	6
Nariño	5
Meta	4
Tolima	3
Cesar	3
Boyacá	3
Caquetá	2
Valle del cauca	2
Caldas	1
Bolívar	1
Guaviare	1
Vichada	1
Amazonas	1

3.3 Enfoques metodológicos empleados en los estudios analizados

Durante la revisión de los documentos seleccionados, se obtuvo información que permitió determinar cuáles fueron las metodologías empleadas por

los autores en sus investigaciones (Tabla 3). Se logró identificar que la metodología predominante en estos estudios es la investigación de enfoque mixto con una frecuencia del 70% entre los estudios seleccionados. De igual manera se detectó que algunos documentos no exponían claramente su metodología de investigación.

Tabla 3. Metodologías empleadas en los estudios analizados en esta revisión.

Metodologías empleadas	Frecuencia
Cualitativa	7
Cuantitativa	14
Mixta	49
No indican o no es claro el enfoque metodológico	2
Total	72

3.4 Impactos ecológicos

Los impactos que en mayor proporción se encontraron en la revisión fueron los ecológicos, 14 de ellos fueron positivos y 11 negativos, los cuales fueron nombrados en 56 registros de los 72 documentos seleccionados. Es importante aclarar que muchos estudios coincidían en los impactos, por lo que en la tabla 4 se presenta el impacto y la frecuencia en que estos fueron referenciados.

El incremento de las medidas dirigidas a la protección de la diversidad biológica es el impacto más nombrado por los autores de los estudios seleccionados (Ramírez, Sigarroa y Del Valle, 2014; Gutierrez, Lozano y Jimenez, 2015; Agudelo, 2016; Suárez, 2018; Cubillos, 2017; Hernández y col., 2018; Naranjo, Ortiz y Villamizar, 2017; Ordoñez, 2019), los cuales indican la relación de este impacto con la conciencia ambiental por parte del sector cacaotero colombiano y diferentes entidades públicas y

privadas que dirigen esfuerzos hacia la productividad sostenible y la protección de la diversidad de especies vegetales y animales que habitan en estos espacios intervenidos para este cultivo, principalmente cuando se desarrolla a pequeña escala y en adecuados sistemas agroforestales (Zoe y col., 2018).

El segundo impacto más replicado en la revisión fue el aumento de la aplicación de pesticidas en los cultivos de cacao (Ortiz y col., 2016; Vásquez y col., 2018; González, Alvares y Castañeda, 2018; Ferro y Meneses, 1996; Sánchez y Gamboa, 2014; García-Cáceres y col., 2014) lo que puede ocasionar

patologías a las personas que están directa e indirectamente expuestas a este tipo de sustancias. Tanto así que se genera un incremento de infecciones y pestes en humanos (Montoya, Montoya y Lowy, 2015; Villamizar, Cruz y Ortíz, 2016). De manera similar, por falta de conocimiento por parte del sector cacaocultor en la aplicación de estos pesticidas se ven perjudicadas gran parte de las cosechas, debido a la ineficiencia de los protocolos y controles necesarios para el uso de los mismo, afectando el rendimiento de la producción e incrementando la contaminación del suelo (Torrente, 2016).

Tabla 4. Impactos ecológicos de la cacaocultura de Colombia.

Impactos	Tipo	Frecuencia	% de nombramiento
Incremento de las medidas dirigidas a la protección de la biodiversidad	Impacto positivo	33	22,15
Aumento de la aplicación de pesticidas en los cultivos de cacao	Impacto negativo	18	12,08
Disminución de las buenas prácticas agrícolas (BPA)	Impacto negativo	8	5,37
Incremento en la contaminación de los recursos hídricos	Impacto negativo	7	4,70
Disminución en las emisiones de dióxido de carbono	Impacto positivo	7	4,70
Incremento de medidas de conservación del suelo	Impacto positivo	7	4,70
Incremento en los rendimientos de los suelos	Impacto positivo	7	4,70
Incremento en la contaminación del aire	Impacto negativo	6	4,03
Disminución en la contaminación de los recursos hídricos	Impacto positivo	6	4,03
Incremento en la alteración de los nutrientes de suelos por uso de componentes artificiales	Impacto negativo	5	3,36
Incremento en la inversión en el mejoramiento de la inocuidad, manejo fitosanitario y certificaciones internacionales	Impacto positivo	5	3,36
Incremento en la modificación del paisaje	Impacto negativo	5	3,36
Incremento en la afectación de la biodiversidad	Impacto negativo	5	3,36
Incremento de la conservación de los recursos hídricos	Impacto positivo	4	2,68
Incremento del uso de fertilizantes amigables con el ambiente	Impacto positivo	4	2,68
Incremento en la adaptabilidad al cambio climático	Impacto positivo	4	2,68
Disminución en el uso de abonos artificiales	Impacto positivo	3	2,01
Disminución del uso de pesticidas	Impacto positivo	3	2,01
Incremento de infecciones y pestes en humanos	Impacto negativo	3	2,01
Incremento de los sembrados en sombra	Impacto negativo	2	1,34
Disminución en la tala de bosques y selvas	Impacto positivo	2	1,34
Disminución de los incendios forestales	Impacto positivo	2	1,34
Incremento de gases de efecto invernadero	Impacto negativo	1	0,67
Disminución de los recursos hídricos	Impacto negativo	1	0,67
Incremento en el aprovechamiento de los desperdicios	Impacto positivo	1	0,67

El tercer impacto fue la disminución de las buenas prácticas agrícolas (BPA) (Ferro y Meneses, 1996; Sánchez y Gamboa, 2014; Arias, López y Vásquez, 2016; Contreras, 2014; Ramírez, Sigarroy y Del Valle, 2014). Dentro de este marco se detecta que el

sector cacaotero colombiano se descuida cuando el cacao que producen no cuenta con una certificación, es por ello que los procesos de inocuidad, calidad y producción se ven directamente afectados. Por otra parte, este impacto ocasiona que haya un incremen-

to en la modificación del paisaje (Ruiz, 2014; Ramírez, Sigarroa y Del Valle, 2014; Espinoza y Ríos, 2016; Carrillo, 2017; Correa, 2017; Caviedes y Olaya, 2020) y afectación de la biodiversidad (Montoya, Montoya y Lowy, 2015; González, Alvares y Castañeda, 2018; Rodríguez y col., 2017; Carrillo, 2017; Correa, 2017) debido a que no se siguen los protocolos necesarios para la correcta realización de unas buenas prácticas agrícolas, lo que también se debe al desinterés que puede tener el sector cacaotero a sabiendas de que su producto al no contar con certificación afecta directamente los ingresos del sector.

Como cuarto impacto que se detecta durante la revisión, se encuentra un incremento en la contaminación de los recursos hídricos (Montoya, Montoya y Lowy, 2015; Ferro y Meneses, 1996; Ramírez, Sigarroa y Del Valle, 2014; Ramos, Puentes y Olaya, 2016; Correa, 2017) lo cual nos lleva a analizar que además de impactar los suelos, la mala agricultura impacta de manera indirecta las fuentes hídricas cercanas a los terrenos de siembra, lo que también ocasiona un gran daño a la diversidad de especies que habitan en estos sectores y necesitan de este recurso para vivir. Esto puede conllevar a la disminución de los caudales (Montoya, Montoya y Lowy, 2015).

3.5 Impactos económicos

Se pudo evidenciar que los registros de impactos económicos se nombran en más del 70% de los documentos revisados, donde se encontraron 14 impactos positivos y 7 impactos negativos, de los cuales se expone su frecuencia y porcentaje de registro en la tabla 5.

Inicialmente como impacto que más se evidenció en la revisión fue la disminución de la rentabilidad del cacao convencional por la expansión en la generación de cacao certificado (Pedroza, 2012; Rangel, Ortiz y Villamizar, 2013; Sánchez y Gamboa, 2014; García-Cáceres y col., 2014; Arias, López y Vásquez, 2016; Ortiz, 2015), debido a que al no contar con una certificación que respalde la calidad del producto, el cacaoicultor prefiere producir cacao de menor calidad, obviamente a menor inversión. Sin embargo, se encontró como el segundo impacto de mayor frecuencia el mejoramiento de la calidad del cacao (Carrillo, Londoño y Gil, 2014; Plazas, Ló-

pez y Corrales, 2017; Machado y col., 2018; Suárez, 2018; Barragán y Rey, 2004).

Como tercer impacto con mayor frecuencia dentro de la revisión fue el aumento del mercado del sector cacaotero (Rojas y col., 2008; Jaimes y col., 2011; Arias, López y Vásquez, 2016; Ramírez, Sigarroa y Del Valle, 2014; Arias, López y Vásquez, 2016; Osorio y col., 2017); lo que conlleva al incremento de la producción del sector cacaotero (Correa, Castro y Coy, 2014; Álvarez, Rojas y Suárez, 2015; Montoya, Montoya y Lowy, 2015; Plazas, López y Corrales, 2017; Cely, 2017), debido a la exigencia por su alto reconocimiento internacional y mayor demanda del producto en el mercado, generando rentabilidad y aumento del comercio en el sector (Correa, Castro y Coy, 2014; Álvarez, Rojas y Suárez, 2015; Montoya, Montoya y Lowy, 2015; Plazas, López y Corrales, 2017; Cely, 2017), dando origen al aumento de confederaciones de productores y empresarios cacaoteros, (Barragán y Rey, 2004; Unión Europea, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2011; Sánchez y Gamboa, 2014; Gutiérrez y col., 2020), lo que le otorga prestigio y credibilidad a esta actividad en la región, debido a que generalmente contribuye al aumento en el avance y desarrollo económico (Rodríguez, 2011; Unión Europea, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2011; Pabón, Herrera-Roa y Sepúlveda, 2016; Ortiz y col., 2016; Cataño, 2019); incluso en algunas regiones se observa la generación de dependencia económica de la población hacia el sector cacaotero (García-Cáceres y col., 2014; Cardona, Rodríguez y Cadena, 2016; González, Alvares y Castañeda, 2018).

El cuarto impacto de mayor predominancia en los estudios revisados es el incremento de programas e iniciativas de proyectos en el sector cacaotero (Forero, Jochum y Sierra, 2015; Rodríguez, 2017; Suárez, 2018; Unión Europea, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2011; Correa, Castro y Coy, 2014; Ruiz, 2014), aprovechando el conocimiento adquirido por dichos programas para obtener un mejor planteamiento y organización en el control de los recursos, facilitando el desarrollo óptimo de los proyectos, los cuales tienen como objetivo el aumento de la productividad del cacao. Sin embargo, el quinto impacto más referenciado indica que el interés de inversión en el sector cacaotero ha disminuido (García, Montaña y Montoya, 2012; Rodríguez y col., 2017; Oliveros, 2013; Contreras, 2014;

Morillo y col., 2014; Cardona, Rodríguez y Cadena, 2016; Contreras, 2017; Rodríguez, 2017), debido a la baja calidad y productividad en algunas regiones.

Tabla 5. Impactos económicos de la cacaocultura de Colombia.

Impactos	Tipo	Frecuencia	% de nombramiento
Disminución de la rentabilidad del cacao convencional por la expansión en la generación de cacao certificado	Impacto negativo	23	18,55
Mejoramiento de la calidad del cacao	Impacto positivo	16	12,90
Desarrollo del mercado del sector cacaotero	Impacto positivo	14	11,29
Incremento de programas e iniciativas de proyectos en el sector cacaotero	Impacto positivo	12	9,68
Disminución en el interés de inversión en el sector cacaotero	Impacto negativo	9	7,26
Aumento de confederaciones de productores y empresarios cacaoteros	Impacto positivo	6	4,84
Incremento de la producción del sector cacaotero	Impacto positivo	6	4,84
Incremento de disputas entre programas de certificación	Impacto positivo	5	4,03
Incremento en la evolución y avance tecnológico del sector cacaotero	Impacto positivo	5	4,03
Aumento en el avance y desarrollo económico en la región	Impacto positivo	5	4,03
Disminución de cacao certificado	Impacto negativo	4	3,23
Expansión del sector cacaotero	Impacto negativo	3	2,42
Incremento de la dependencia económica de la población hacia el sector cacaotero	Impacto negativo	3	2,42
Incremento en el cumplimiento de la normatividad nacional	Impacto positivo	3	2,42
Incremento del respaldo y patrocinio de organismos nacionales e internacionales	Impacto positivo	2	1,61
Incremento de la cotización del producto	Impacto positivo	2	1,61
Disminución en la cotización de producción	Impacto positivo	2	1,61
Incremento en el acceso a títulos de créditos de inversión	Impacto positivo	1	0,81
Aumento de los costos de producción	Impacto negativo	1	0,81
Incremento en el reemplazo del cacao por otros cultivos	Impacto negativo	1	0,81
Disminución en el consumo y adquisición de insumos externos	Impacto positivo	1	0,81

3.6 Impactos sociales

El número de impactos sociales fue el más reducido con 10 positivos y 3 negativos, apareciendo sus registros en más del 50% de los documentos revisados. En la tabla 6 se presenta la frecuencia y el porcentaje de referencia de cada impacto.

El principal impacto social encontrado por los autores de los documentos revisados fue el aumen-

to de la capacitación y los programas de enseñanza y formación académica en el sector cacaotero (Unión Europea, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2011; Sánchez y Gamboa, 2014; Morillo y col., 2014; Montoya, Montoya y Lowy, 2015; Ortiz, 2015; Pabón, Herrera-Roa y Sepúlveda, 2016), lo cual cuenta con las entidades que envían personal calificado quienes comparten su conocimiento al productor para ayudar en el desarrollo y sostenimiento de los cultivos, reactivando la economía

regional (Barragán y Rey, 2004; Sánchez y Gamboa, 2014; Arias, López y Vásquez, 2016; Vásquez y col., 2018).

De esta manera se encontró el segundo impacto más referenciado, el incremento en alternativas de investigación (Cleves, Fonseca y Jarma, 2013; Forero, Jochum y Sierra, 2015; Ramos, 2014; Morillo y col., 2014; Cubillos, 2017; Plazas, López y Corrales, 2017; Rodríguez, 2017), dirigidas a mejorar la productividad, las condiciones laborales y los procesos agroindustriales para su transformación.

El mejoramiento de las condiciones laborales de los cacaocultores es el tercer impacto social de mayor registro (Rodríguez, 2011; Fiallo, 2014; Parrado y Torres, 2017; Díaz y Sierra, 2018; Cataño, 2019; Velásquez, 2019; Vásquez y col., 2018), permitiendo no solo al cacaocultor acceder a los beneficios de maquinarias para el cultivo sino también a las familias, ayudando en el proceso de iniciación o continuidad de sus estudios, y reduciendo paulatinamente la

ocupación de menores como fuerza de trabajo (Rodríguez, 2011; Rangel, Ortiz y Villamizar, 2013).

El cuarto impacto registrado con mayor frecuencia en los documentos revisados es el incremento de puestos de trabajo debido a la amplia demanda del mercado, lo que requiere una mayor fuerza laboral durante la producción (Rangel, Ortiz y Villamizar, 2013; Ramos, Puentes y Olaya, 2016; Vásquez y col., 2018; González, Alvares y Castañeda, 2018; Correa, 2017; Cely, 2017). El aumento del empleo generado por el cultivo del cacao en muchas regiones evidencia mejoramientos salariales, mayor poder adquisitivo y contribuye a la reducción de la pobreza rural (Trujillo y Perdomo, 2016; Ortiz y col., 2016; González, Alvares y Castañeda, 2018; Cataño, 2019; Jaimés y col., 2011; Correa, Castro y Coy, 2014; Suárez, 2018). Este aspecto contribuye incluso a la resolución de conflictos, debido a que al ser un cultivo legal, se ha presentado como alternativa para sustituir cultivos ilícitos (Vásquez y col., 2018; Suárez, 2018).

Tabla 6. Impactos sociales de la cacaocultura de Colombia.

Impactos	Tipo	Frecuencia	% de nombramiento
Aumento de los procedimientos de enseñanza y formación académica en el sector cacaotero	Impacto positivo	12	23
Incremento en alternativas de investigación	Impacto positivo	7	13
Aumento en las condiciones laborales de los cacaocultores	Impacto positivo	7	13
Incremento en los puestos de trabajo	Impacto positivo	6	11
Disminución de la pobreza del sector rural	Impacto positivo	4	8
Disminución de la producción de cultivos ilícitos	Impacto positivo	4	8
Aplicación de conocimientos y mejora en los salarios	Impacto positivo	3	6
Consolidación de la cultura del sector cacaotero	Impacto positivo	3	6
Inequidad entre los productores del sector cacaotero	Impacto negativo	2	4
Reducción en la ocupación de niños en el sector laboral	Impacto positivo	2	4
Incremento en la ausencia escolar	Impacto negativo	1	2
Disminución de puestos de trabajo	Impacto negativo	1	2
Incremento de la intervención de la mujer en actividades del sector cacaotero	Impacto positivo	1	2

4 Conclusiones

Los estudios disponibles que registran impactos ambientales generados por la cacaocultura en Colombia son muy pocos. Se encontró que los aspectos

ecológicos y económicos son los más descritos y que el aspecto social solo se trata en el 50% de los documentos disponibles. Sin embargo, en relación con los impactos negativos generados por esta actividad, los impactos sociales son significativamente

menos identificados que los ecológicos y económicos.

Teniéndolo en cuenta como materia prima, el proceso de transformación del cacao es básico, y su comercialización va de la mano con la variación de sus precios en el mercado, por lo cual, es imperativo que las respectivas políticas de apoyo a los cacao-cultores inciten a la aplicación de nuevas estrategias para poder tener una diferenciación del producto en el mercado, haciendo demarcaciones en sus orígenes, tipo de cacao, ciudad y país de producción y normas de calidad en los procesos de producción.

Se puede evidenciar que se debe tener una excelente y fuerte articulación del producto en el mercado, generar buenas alianzas empresariales para el desarrollo de estrategias, y obtener buenas relaciones gubernamentales, gestionando un buen apoyo de capital, teniendo en cuenta que para iniciar con esas actividades es necesario que se comercialice el cacao en grano, con apoyo e intervenciones dirigidas a la mejora de infraestructura de centros de almacenamiento y así llevar un mejor control del volumen y calidad del producto, implementando sistemas de control interno dirigido a obtener o adoptar programas de certificación.

Finalmente se deben trabajar pilotos organizacionales, los cuales deben iniciar un proceso de la producción de calidad, mejorando así mismo la calidad de vida de los cacao-cultores por medio de estos nuevos modelos financieros, apuntando a la participación en organizaciones locales e internacionales quienes apoyan la integridad del agricultor, interviniendo no solo en el cultivo, sino también en la parte económica y social.

Los resultados encontrados en esta revisión sirven como una base disponible para la comunidad científica en futuros estudios de impacto ambiental. De igual manera, esta información se puede utilizar en la formulación de políticas públicas basadas en evidencia y como soporte para la planificación de evaluaciones de impacto a diferentes programas o modalidades de programas de políticas que se encuentran implementadas o se pretenden implementar y que están dirigidas a apoyar a los cacao-cultores de Colombia.

Contribución de los autores

D.I.C.R.: Conceptualización, Investigación, Redacción- revisión y edición, Supervisión; F.E.P.G.: Investigación, procesamiento de datos, Redacción-borrador original; K.C.A.V: Conceptualización, Metodología, Visualización, Validación.

Referencias

- Agudelo, M. (2016). «Crecimiento y productividad de Sistemas Agroforestales (SAF) con cacao en estados tempranos de desarrollo en el bosque seco tropical (bs-T) del departamento de Antioquia». Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Álvarez, F., J. Rojas y J. Suárez (2015). «Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia)». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 16.2, 307-314. Online: <https://n9.cl/m8g7z>.
- Arias, L., Y. López y E. Vásquez (2016). «El cacao en Norte de Santander, oportunidades y retos». En: *Revista Gestión y Desarrollo Libre* 1.1, 17-32. Online: <https://n9.cl/8g7i2>.
- Armengot, L. y col. (2017). «Comparing productivity and profitability of agroforests and monocultures in Bolivia». En: *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, págs. 13-17.
- Baquero, E. (2021). *Año nuevo, record nuevo, gracias a los cacao-cultores. Colombia cacaotera. Edición Nro. 58*.
- Barragán, A. y L. Rey (2004). «Establecimiento de núcleos productivos de cacao (*Theobroma cacao*) en torno a micro centrales de beneficio para mejorar la calidad del grano en la región del distrito agroindustrial de la Magdalena Caldense». Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Bergez, J. y col. (2022). «Integrating agri-environmental indicators, ecosystem services assessment, life cycle assessment and yield gap analysis to assess the environmental sustainability of agriculture». En: *Ecological Indicators* 141, 109107. Online: <https://n9.cl/lu9t8y>.
- Braga, D., F. Domene y F. Gandara (2019). «Shade trees composition and diversity in cacao agroforestry systems of southern Pará, Brazilian Ama-

- zon». En: *Agroforestry Systems* 9393.4, 1409-1421. Online: <https://n9.cl/ryuh1>.
- Brito, H., E. Gómez y J. Salaya (2018). «Sustainability of Agroecosystems». En: IntechOpen London. Cap. The Cacao Agrosystems in Tabasco, México, págs. 79-88.
- Cardona, L., E. Rodríguez y E. Cadena (2016). «Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca». En: *Revista Lasallista de Investigación* 13.1, 94-104. Online: <https://n9.cl/0jicyd>.
- Carrillo, L. (2017). «Percepción ambiental de productores de cacao, para involucrar la norma ICA para BPA como ventaja competitiva». Tesis de maestría. Universidad Libre.
- Carrillo, L., J. Londoño y A. Gil (2014). «Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in Theobroma cacao beans from different cocoa-growing areas in Colombia». En: *Food Research International* 60, 273-280. Online: <https://n9.cl/hbc090>.
- Cataño, H. (2019). «Beneficios del Cultivo y Comercialización del Cacao». Tesis de maestría. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Caviedes, D. y A. Olaya (2020). «Impacto ecológico, social y económico de fincas certificadas en buenas prácticas agrícolas y comercio justo». En: *Cuadernos de Desarrollo Rural* 17, 1-19. Online: <https://n9.cl/v52oj2>.
- Cely, L. (2017). «Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea». En: *Equidad y Desarrollo* 1.28, 167-195. Online: <https://n9.cl/fj8w2>.
- Chumacero, C. y col. (2018). «Abundance and diversity of flower visitors on wild and cultivated cacao (*Theobroma cacao* L.) in Bolivia». En: *Agroforestry systems* 92, 117-125. Online: <https://n9.cl/fj2p5>.
- Claus, G. y col. (2018). «Pollination in plants». En: IntechOpen. Cap. Challenges in cocoa pollination: The case of Côte d'Ivoire, págs. 39-58.
- Cleves, J., J. Fonseca y A. Jarma (2013). «El aseguramiento de calidad y los procesos de certificación en el agro colombiano: bondades y desafíos». En: *Temas agrarios* 18.1, 75-89. Online: <https://n9.cl/cv5ml>.
- Contreras, C. (2017). «Análisis de la cadena de valor del Cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado». Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Contreras, J. (2014). «Aplicación del análisis de ciclo de vida del producto (ACV) en la cadena productiva del cacao como estrategia de ventaja competitiva ambientalmente sostenible». Tesis de maestría. Universidad Piloto de Colombia.
- Correa, J., S. Castro y J. Coy (2014). «Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roleri* en Colombia». En: *Acta agronómica* 63.4, 388-399. Online: <https://n9.cl/7kgnq>.
- Correa, L. (2017). «Percepción de la dimensión ambiental de productores de cacao para el desarrollo de una estrategia de mercado en la organización el manantial de coper boyacá. Boyaca». Tesis de maestría. Universidad Libre.
- Cubillos, Gabriel (2017). «Frosty pod rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia». En: *Crop Protection* 96, 77-82. Online: <https://n9.cl/xudt1>.
- Díaz, O. y F Sierra (2018). «Implementación De Buenas Prácticas Agrícolas (Bpa Resolución N 30021 Del 28 De Abril Del 2017) Para Reducir El Impacto Socio Ambiental, En La Producción De Cacao En 10 Fincas De Productores De Cacao De Páccelli (Asoprocap) Del Municipio De Tibú». Tesis de maestría. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Espinoza, J. y L. Ríos (2016). «Caracterización de sistemas agroecológicos para el establecimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.), en comunidades afrodescendientes del Pacífico Colombiano (Tumaco-Nariño, Colombia)». En: *Acta Agronómica* 65.3, 211-217. Online: <https://n9.cl/w8j4u>.
- Fedecacao (2019). *Áreas de siembra de cacao 2019. Federación Nacional de Cacaoteros y Fondo Nacional del Cacao*.
- Ferro, J. y O. Meneses (1996). «Los productores de cacao en el municipio de Arauquita, departamento de Arauca, Colombia». En: *Cuadernos de Desarrollo Rural* 38-39. Online: <https://n9.cl/3jpsx>.
- Fiallo, J. (2014). «Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de cacao en la Granja Yariguíes, ubicada en la Vereda La Lejía, Municipio de Barrancabermeja». Tesis de maestría. Universidad Santo Tomás.
- Forero, C., J. Jochum y F. Sierra (2015). «Effect of particle size and addition of cocoa pod husk on the properties of sawdust and coal pellets». En: *In-*

- geniería e Investigación 35.1, 17-23. Online: <https://n9.cl/m6ks6>.
- García-Cáceres, R.G. y col. (2014). «Characterization of the supply and value chains of Colombian cocoa». En: *DYNA* 81.187, 30-40. Online: <https://bit.ly/4606Mwx>.
- García, M., L. Montaña y A. Montoya (2012). «Análisis comparativo de competitividad de las cadenas productivas de cacao de Colombia y Ecuador». En: *Revista de Ciencias Agrícolas* 29.1, 99-112. Online: <https://n9.cl/g6vwm>.
- Garmendia, A. y col. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Pearson – Prentice Hall.
- Gertler, P. y col. (2017). *La evaluación de impacto en la práctica*. World Bank Publications.
- González, R., E. Alvares y D. Castañeda (2018). «Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño». En: *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 5.1, 41-52. Online: <https://bit.ly/3zuf4jK>.
- Gutiérrez, G. y col. (2020). «Relevancia del conocimiento local en la toma de decisiones y la innovación rural: una propuesta metodológica para aprovechar la participación de los productores de cacao colombianos». Tesis de maestría. Universidad de la Amazonia.
- Gutierrez, Y., H. Lozano y D. Jimenez (2015). «Ventajas y desventajas de cultivos de *Coffea arabica* L. Y *Theobroma cacao* L. Bajo sistemas agroforestales Yojan». En: *Rev. Ing. Amaz* 8.1, 38-47. Online: <https://n9.cl/2y1bm>.
- Hands, M. (2021). «The search for a sustainable alternative to slash-and-burn agriculture in the World's rain forests: the Guama Model and its implementation». En: *Royal Society Open Science* 8.2, 201204. Online: <https://n9.cl/pd4utr>.
- Hernández, M. y col. (2018). «Assessment of the biohydrogen production potential of different organic residues in Colombia: Cocoa waste, pig manure and coffee mucilage». En: *Chem. Eng* 65, 247-252. Online: <https://n9.cl/tbl9f>.
- International Cocoa Organization (2019). *Boletín Trimestral de Estadísticas del Cacao. ICCO. Vol. XLV 2*. Inf. téc. International Cocoa Organization.
- (2021). *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. ICCO. Vol. XLVII 1*. Inf. téc. International Cocoa Organization.
- Jagoret, P., S. Saj y A. Carimentrand (2020). «Cacaocultura agroforestal en África: el arte de combinar producción sostenible y servicios ecológicos». En: *Perspective* 54, 1-4. Online: <https://n9.cl/u09dp>.
- Jaimes, Y. y col. (2011). «Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia». En: *Agronomía Colombiana* 29.2, 361-371. Online: <https://n9.cl/n7gty>.
- Kross, A., G. Kaur y J. Jaeger (2022). «A geospatial framework for the assessment and monitoring of environmental impacts of agriculture». En: *Environmental Impact Assessment Review* 97, 106851. Online: <https://n9.cl/v4t1i>.
- Maas, B. y col. (2020). «Transforming tropical agroforestry towards high socio-ecological standards». En: *Trends in Ecology y Evolution* 35.12, 1049-1052. Online: <https://n9.cl/v73d03>.
- Machado, L. y col. (2018). «Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia». En: *Acta Agronómica* 67.1, 46-52. Online: <https://n9.cl/meqng>.
- Mereddy, A. R., A. Shah y N. Davergave (2017). *Environmental impact assessment: theory and practice*. Butterworth-Heinemann.
- Montoya, I., L. Montoya y P. Lowy (2015). «Oportunidades para la actividad cacaotera en el municipio de Tumaco, Nariño, Colombia». En: *Entramado* 11.1, 48-59. Online: <https://n9.cl/wa928p>.
- Morillo, Y. y col. (2014). «Molecular characterization of 93 genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) with random amplified microsatellites RAMs». En: *Agronomía Colombiana* 32.3, 315-325. Online: <https://n9.cl/lza8q>.
- Munn, Z. y col. (2022). «What are scoping reviews? Providing a formal definition of scoping reviews as a type of evidence synthesis». En: *JB I evidence synthesis* 20.4, 950-952. Online: <https://n9.cl/tz0jy0>.
- Naranjo, C., O. Ortíz y R. Villamizar (2017). «Assessing green and blue water footprints in the supply chain of cocoa production: A case study in the Northeast of Colombia». En: *Sustainability* 10.1, 38. Online: <https://n9.cl/1js8pd>.
- Nasser, F. y col. (2020). «Climate-smart cocoa in Ghana: How ecological modernisation discourse risks side-lining cocoa smallholders». En: *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4, 73. Online: <https://n9.cl/hzeno>.
- Oliveros, D. (2013). «Medición de la competitividad de los productores de cacao en una región de Santander-Colombia». En: *Lebret* 5, 243-267. Online: <https://n9.cl/edyga>.

- Ordoñez, C. (2019). «Composición Florística, Estructura y Servicios Ecosistemicos en Sistemas Agroforestales con Theobroma Cacao L. en el Departamento del Huila». Tesis de mtría. Universidad Nacional de Colombia.
- Ortiz, O. y col. (2016). «Carbon footprint of the colombian cocoa production». En: *Engenharia Agrícola* 36.2, 260-270. Online: <https://n9.cl/w59nc>.
- Ortiz K. y Álvarez, R. (2015). «Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (Theobroma cacao L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaoera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia)». En: *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural* 19.1, 65-84. Online: <https://n9.cl/q5j42>.
- Osorio, J. y col. (2017). «Colombia a source of cacao genetic diversity as revealed by the population structure analysis of germplasm bank of Theobroma cacao L.» En: *Frontiers in Plant Science* 8, 290189. Online: <https://n9.cl/n7rtg>.
- Pabón, M., L. Herrera-Roa y W. Sepúlveda (2016). «Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia)». En: *Revista Mexicana de Agronegocios* 38.2016, 283-294. Online: <https://n9.cl/rj20w>.
- Parrado, J. e I. Torres (2017). «Análisis de los beneficios tributarios en Colombia para una inversión en cacao a través de un fondo de capital privado». Tesis de mtría. Universidad Piloto de Colombia.
- Pedroza, Y. (2012). «Incurción y posicionamiento del cacao en el mercado norteamericano». Tesis de mtría. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Peters, M. y col. (2015). «Guidance for conducting systematic scoping reviews». En: *JBI Evidence Implementation* 13.3, 141-146. Online: <https://n9.cl/ayitw>.
- Peters, M. y col. (2020). «Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews». En: *JBI evidence synthesis* 18.10, 2119-2126. Online: <https://n9.cl/imrl4>.
- Plazas, J., I. López y J. Corrales (2017). «A tool for classification of cacao production in colombia based on multiple classifier systems». En: *International Conference on Computational Science and Its Applications -ICCSA 2017. ICCSA 201*, págs. 60-69.
- Pollock, D. y col. (2022). «Methodological quality, guidance, and tools in scoping reviews: a scoping review protocol». En: *JBI evidence synthesis* 20.4, 1098-1105. Online: <https://n9.cl/6yg2z>.
- Ramírez, J., A. Sigarrosa y R. Del Valle (2014). «Characterization of cocoa (Theobroma cacao L.) farming systems in the Norte de Santander department and assessment of their sustainability». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 67.1, 7177-7187. Online: <https://n9.cl/pnqtqe>.
- Ramos, A., J. Puentes y A. Olaya (2016). «Diagnóstico y manejo ambiental del cultivo de cacao, con énfasis en sus recursos hídricos en el municipio de Campoalegre (Huila)». En: *Ingeniería Y Región* 14.14, 65-74. Online: <https://n9.cl/1ga8d>.
- Ramos, D. (2014). «Consideraciones ambientales y viabilidad socioeconómica del sistema productivo del cacao. El caso de los agricultores de Pueblo Bello, departamento del Cesar». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Javeriana.
- Rangel, J., O. Ortiz y R. Villamizar (2013). «Manejo del ciclo de vida en productos agrícolas: caso cacao en Norte de Santander». En: *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo* 4.2, 6-23. Online: <https://n9.cl/79u39>.
- Rocha, J. y col. (2019). «The conservation value of cacao agroforestry for bird functional diversity in tropical agricultural landscapes». En: *Ecology and evolution* 9, 7903-7913. Online: <https://bit.ly/3L5OArz>.
- Rodríguez, A. y col. (2017). «Evaluation of the biochemical methane potential of pig manure, organic fraction of municipal solid waste and cocoa industry residues in Colombia». En: *Chemical engineering transactions* 57, 55-60. Online: <https://n9.cl/2iet9>.
- Rodríguez, H. (2017). «Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí». Tesis de mtría. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, L. (2011). «Medición del impacto generado por uso de la ecoetiqueta Rainforest Alliance de la cadena de valor del cacao, en la calidad de vida de los cultivadores de San Vicente de Chucrú». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Javeriana.
- Rojas, L. y col. (2008). «Análisis de polifenoles totales de semillas maduras y cultivos celulares de algunas variedades de cacao colombianas». En: *Actualidades Biológicas* 30.89, 1-7. Online: <https://n9.cl/09zmsx>.
- Rooduijn, B., F. Bongers y H. van der Wal (2018). «Wild native trees in tropical homegardens

- of Southeast Mexico: Fostered by fragmentation, mediated by management». En: *Agriculture, ecosystems y environment* 254, 149-161. Online: <https://n9.cl/dx3s8>.
- Ruiz, J. (2014). «Cacao Y Su Aporte Al Desarrollo Colombiano». Tesis de mtría. Universidad Militar Nueva Granada.
- Sánchez, V. y J. Gamboa (2014). «Escuelas de campo de agricultores de Theobroma cacao L. en el Bajo Caguán (experiencia, resultados y lecciones aprendidas)». En: *Luna Azul* 38, 231-251. Online: <https://n9.cl/pebvx>.
- Schroth, G. y col. (2011). «Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil». En: *Biodiversity and Conservation* 20, 1635-1654. Online: <https://n9.cl/f03wt>.
- Suárez, J. (2018). «Comportamiento ecofisiológico de Theobroma cacao L. en diferentes arreglos agroforestales bajo condiciones de la amazonia colombiana». Tesis doct. Universidad Militar Nueva Granada.
- Taylor, M. (2018). *¿Qué tiene de inteligente la agricultura climáticamente inteligente?* Policy Brief 22.
- Torrente, A. (2016). «Análisis y evaluación de contaminación de suelos por metales en áreas dedicadas a la producción de cacao». Tesis de mtría. Universidad Surcolombiana.
- Tricco, A. y col. (2018). «PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation». En: *Annals of internal medicine* 169.7, 467-473. Online: <https://n9.cl/tbkjk>.
- Trujillo, A. y W. Perdomo (2016). «Impactos, Amenazas y Manejo Ambientales de los Cultivos de Cacao en el Municipio de Teruel, Huila, Colombia». Tesis de mtría. Universidad Surcolombiana.
- Unión Europea, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2011). *Mejoramiento del proceso de beneficio del grano de cacao de conformidad con la norma de calidad ICONTEC 1252 de 2003, en 60 unidades productivas de los municipios de Acacias, Guamal y Granada, en la región Alto Rio Ariari, en el departamento del Meta*. Meta: Programa DEL de la Unión Europea para Colombia.
- Vásquez, E. y col. (2018). «Análisis económico del sector cacaotero en Norte de Santander, Colombia ya nivel internacional». En: *Revista de Investigación, desarrollo e innovación* 8.2, 237-250. Online: <https://n9.cl/1wco4>.
- Velásquez, J. (2019). «Efectos de la adopción del sello Rainforest Alliance en la competitividad del sector cacaotero en el mercado internacional». Tesis de mtría. Universidad Agustiniiana.
- Villamizar, R., J. Cruz y O. Ortiz (2016). «Fungicidal effect of silver nanoparticles on toxigenic fungi in cocoa». En: *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51, 1929-1936. Online: <https://n9.cl/poywh>.
- Zoe, L. y col. (2018). «Land-use heterogeneity by small-scale agriculture promotes amphibian diversity in montane agroforestry systems of northeast Colombia». En: *Agriculture, ecosystems y environment* 264, 15-23. Online: <https://n9.cl/wognr>.



EL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CONSERVACIÓN SOBRE LA VIABILIDAD DE LAS SEMILLAS DEL PIJÍO *CAVANILLESIA PLATANIFOLIA*

EFFECT OF CONSERVATION TEMPERATURE ON *CAVANILLESIA PLATANIFOLIA* SEED VIABILITY

Ricardo Villalba-Briones*¹, Edwin Rolando Jiménez¹, Allison Rezabala² y
Martín Aguirrebengoa³

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad Ciencias de la Vida, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

²Consultora Independiente.

³Universidad de Granada, Departamento de Zoología, Avenida de Fuente Nueva s/n, Granada, España.

*Autor para correspondencia: rvillalba@espol.edu.ec

Manuscrito recibido el 6 de abril de 2021. Aceptado, tras revisión, el 7 de marzo de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

Cavanillesia platanifolia es una especie de árbol distribuido en el ecosistema de bosque seco tropical que se encuentra amenazado por la fragmentación y pérdida de su hábitat. La reforestación es una actividad a considerar para su conservación, y para ello es clave optimizar la producción de individuos jóvenes *ex situ*. En el presente estudio comparamos la capacidad de reclutamiento en vivero de dos tratamientos de conservación de las semillas: conservación en frío vs. conservación a temperatura ambiente. La tasa de emergencia se incrementó y las plántulas crecieron más vigorosas en las semillas conservadas en frío. Además, mediante la conservación en frío de las semillas se redujo notablemente la mortalidad de las plántulas, lo cual creemos que es debido a una ralentización del envejecimiento de las semillas y a la disminución de la actividad patogénica. Esta fácilmente replicable y económica metodología de reproducción en vivero puede ser incorporada a los potenciales planes de reforestación de *C. platanifolia*, así como a otras especies vegetales amenazadas del neotrópico con semillas de similares características.

Palabras clave: Bosque seco tropical, conservación de semillas, Chocó-Darién, germinación de semillas, Malvaceae-Bombacaceae.

Abstract

Cavanillesia platanifolia is a tree species distributed in the tropical dry forest ecosystem threatened by the fragmentation and loss of its habitat. Reforestation is thus to be considered for its conservation. The *ex situ* production of young individuals is key for any reforestation plan. In this study, we compare the recruitment capacity in nursery of two seed conservation treatments: cold conservation *vs.* conservation at ambient temperature. The emergency rate increased and the seedlings grew more vigorous in cold-preserved seeds. In addition, seedling mortality was significantly reduced in cold-preserved seeds, which we believe is due to a slowdown in seed ageing and a decrease in pathogenic activity. This easily replicable and economic nursery cultivation methodology can be incorporated into the potential reforestation plans of *C. platanifolia*, as well as to other threatened plant species of the neotropic with seeds of similar characteristics.

Keywords: Tropical dry forest, seed conservation, Chocó-Darién, seedling recruitment, Malvaceae-Bombacaceae.

Forma sugerida de citar: Villalba-Briones, R., Jiménez, E. R., Rezabala, A. y Aguirrebengoa, M. (2024). El efecto de la temperatura de conservación sobre la viabilidad de las semillas del pijío *Cavanillesia platanifolia*. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):65-77. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.04>.

IDs Orcid:

Ricardo Villalba Briones: <https://orcid.org/0000-0002-5577-1705>

Edwin Rolando Jiménez: <https://orcid.org/0000-0001-7930-108>

Allison Rezabala Litardo: <https://orcid.org/0000-0002-4621-9695>

Martin Aguirrebengoa Barreña: <https://orcid.org/0000-0002-2019-790X>

1 Introducción

El bosque seco neotropical destaca por su extensión, biodiversidad y servicios ecosistémicos (Calvo-Rodríguez y col., 2017; Hubbell, 1979). Estos bosques han sufrido un alto impacto antropogénico en las últimas décadas (Aguirre y col., 2017). Particularmente en Ecuador, país del neotrópico con más especies vegetales catalogadas al menos como vulnerables (IUCN, 2019), se estima que al menos el 50% de la extensión de bosque seco ha desaparecido en las últimas décadas por la intervención humana (Aguirre, Kvist y Sánchez, 2005), principalmente debido a la deforestación y transformación del suelo a terreno agrícola y ganadero (Madriñán, 2014; Aguirre y col., 2017; Aguirre y Kvist, 2009). El impacto al que están sujetos estos bosques contrasta con que son de los ecosistemas menos estudiados en las diversas escalas ecológicas (Aguirre y col., 2017). Para identificar, establecer y mantener acciones para la restauración y conservación es por tanto necesario ampliar el conocimiento biológico de al menos las especies vegetales más relevantes (Aguirre, Kvist y Sánchez, 2006).

Una de las especies más relevantes del bosque seco de Ecuador es *Cavanillesia platanifolia* (Humb. y Bonpl.) Kunth (Aguirre y col., 2017; Espinosa y col., 2011), especie conocida comúnmente en América Central y del Sur como mocundo de Cartagena, bongo/a, macondo, cuipo, güipo, hameli, hamelí, pretino, pigio o pijío. Su distribución se ciñe principalmente a los bosques secos tropicales del corredor Chocó-Darién, desde Panamá hasta el norte de Perú, aunque está también presente en bosques húmedos.

Este árbol de la familia de las Malváceas-Bombacáceas puede superar los 40 metros de altura (Figura 1A), y destaca en Ecuador su rol como generador de hábitat, entre otros para la anidación del papagayo de Guayaquil *Ara ambigua guayaquilensis* (López-Lanús y Socola, 2000), y el aporte nutricional de su semilla, la cual es comestible y recurso de la fauna local (Adler, 1995; Madriñán, 2014). También cabe resaltar su trascendencia a nivel paisajístico y estructural (Aguirre, 2012). Es usada como recurso maderero por las comunidades locales en diversos países como Panamá (Correa, Galdames y De Stapf, 2004), pero no hay constancia de ello en Ecuador (Madriñán, 2014). La especie ha sido de-

clarada como amenazada globalmente en América Central (IUCN, 2019). En Colombia, donde ha sido indexada como una de las especies más importantes del bosque seco tropical (Ruiz y Saab, 2020), se considera en peligro (IUCN, 2019). Su distribución potencial en este país puede no estar severamente amenazada por el cambio climático, aunque sí se prevé que pueda diezmar sus poblaciones (Aguirre y col., 2017).

Muchas características son comunes entre las distintas especies del género, como la esciofilia; las plántulas (Figura 1B) y juveniles crecen en lugares donde la radiación solar es escasa (Vieira, Scariot y Holl, 2007; Montalvo, Rommel y Cevallos, 2013). Por lo general, estas especies se caracterizan por su baja densidad (Vieira y Scariot, 2006b; Vieira y col., 2008; Melo-Júnior y col., 2015), rápido crecimiento (Condit, Hubbell y Foster, 1993), y su tolerancia a la sequía durante la estación seca (Wolfe, 2017). En septiembre-octubre producen sus frutos grandes y carnosos, que contienen una semilla anémócora con cáscara externa que contiene blando mucílago (Vieira y Scariot, 2006b). Los rasgos de las semillas se han estudiado sobre todo en *C. arborea*. Las semillas de esta especie rondan los 8g de peso fresco, mientras que el peso seco es de alrededor de 1g (Vieira y Scariot, 2006b; Romero-Saritama, 2016). Las semillas con el tiempo pierden viabilidad (Walters, Wheeler y Grotenhuis, 2005) y son sensibles a la desecación (Vieira y Scariot, 2006b; Vieira, Scariot y Holl, 2007; Vieira y col., 2008; Lima y col., 2008). Como en gran parte de las especies del bosque tropical seco, la baja humedad mantiene en latencia las semillas, la cual puede interrumpirse durante la estación lluviosa que activa el embrión para su germinación (Debeaujon, Leon-Kloosterziel y Koornneef, 2000).

Cuando se han muestreado los individuos de *C. platanifolia* en los bosques secos de Ecuador para poner en marcha planes de conservación y restauración, el dato más relevante es la baja presencia de plántulas y juveniles, lo cual indica una muy baja tasa de regeneración natural (Villalba-Briones, observación personal). La ausencia de individuos jóvenes de *C. platanifolia* no solo ocurre en las proximidades de individuos adultos, lo cual muchas veces se relaciona con una alta mortalidad densodependiente debida a patógenos, depredadores de semillas y/o herbivoría que tiene lugar bajo la copa materna (Alvarez-Loayza y Terborgh, 2011; Comita

y col., 2014; Xu y col., 2015), sino que es constante a lo largo y ancho de los bosques. En otras especies de Malváceas-Bombacáceas del neotrópico como *Pachira quinata* (Jacq.) Alverson también se ha observado bajas tasas de regeneración natural, lo cual se debe a la disminución en la producción de frutos, a una intensa depredación de frutos y a la mortalidad de plántulas debido a patógenos (Castellanos y Stevenson, 2011).

En cuanto a la depredación de semillas, se conoce que en otras especies del género *Cavanillesia*, como *C. arborea* (Willd.) Schum. y *C. chicamocha* Alonso, sus semillas son intensamente depredadas tanto pre-dispersivamente (insectos varios y loros de la familia Psittacidae) como post-dispersivamente (roedores y otros mamíferos), y que la depredación de semillas puede incrementarse notablemen-

te con el silvopastoreo (Vieira y Scariot, 2006a; Vieira, Scariot y Holl, 2007; Díaz-Pérez, Puerto-Hurtado y Fernández-Alonso, 2011; Souza-Silva y col., 2015). Si bien la actividad silvopastoril no es tan intensa en los bosques secos de Ecuador (Aguirre, 2012), la tasa de depredación de semillas, particularmente por roedores, puede haber aumentado por la continua pérdida de mamíferos carnívoros (Catterall, 2018) y por la defaunación de grandes herbívoros debido a la presión que la caza ejerce (Rosin y Poulsen, 2016). De manera más importante, y al igual que se ha observado para *C. arborea* y *C. chicamocha*, otras actividades antrópicas como la fragmentación del bosque y la reconversión del suelo pueden estar disminuyendo la emergencia y el reclutamiento de las semillas de *C. platanifolia* (Vieira y Scariot, 2006b; Vieira, Scariot y Holl, 2007; Melo-Júnior y col., 2015; Souza-Silva y col., 2015).

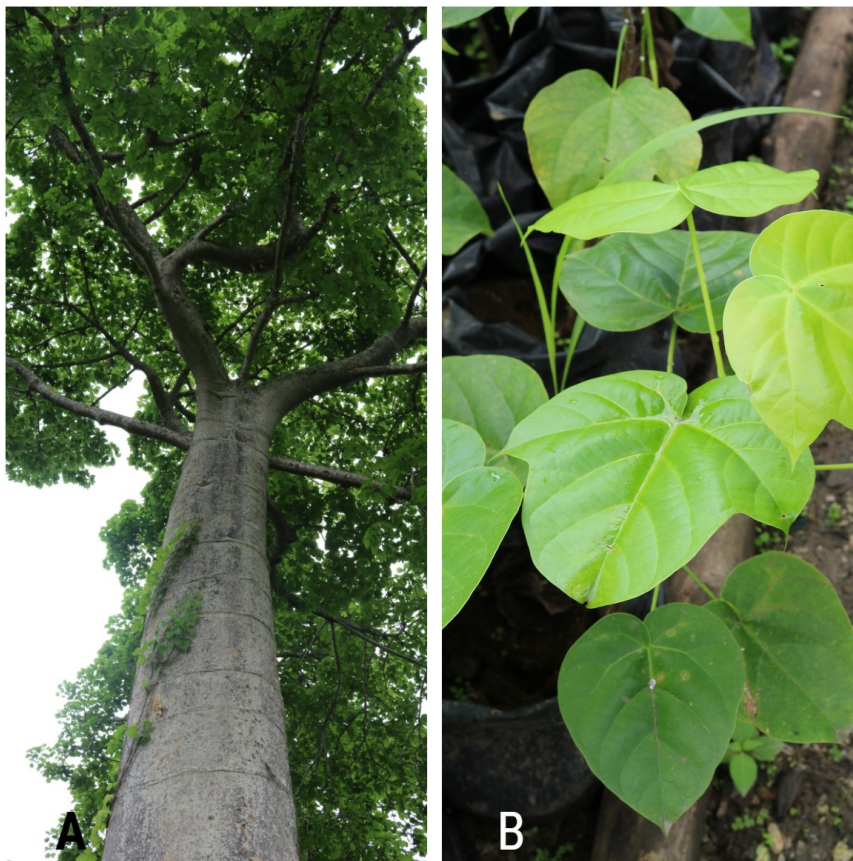


Figura 1. *Cavanillesia platanifolia* (Humb. & Bonpl.) Kunth (A) Ejemplar del punto de muestreo en la provincia del Guayas (Ecuador), con sus característicos anillos transversales en el tronco. (B) Plántula en vivero con sus hojas simples y trilobuladas.

Conocer aspectos básicos de la biología como la viabilidad de la semilla y su capacidad de reclutamiento son en sí mismos objeto de investigación necesarios para la conservación de cualquier especie. En las especies tropicales, las semillas son componentes críticos de la reproducción, y los factores que influyen en su persistencia, supervivencia y emergencia son determinantes para la producción de plántulas y árboles jóvenes en los que se basan los planes de restauración (Vieira y Scariot, 2006a; Sarmiento y col., 2017). Particularmente, es indispensable el éxito en la conservación de la semilla para planificar y desarrollar el cultivo de la especie en vivero como estrategia de conservación *ex situ* (Becerra-Vázquez y col., 2018). En el presente estudio evaluamos la posibilidad de que la conservación en frío de las semillas de *C. platanifolia* pudiera favorecer su emergencia, supervivencia y rendimiento.

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El bosque seco en Ecuador se encuentra en el flanco occidental de los Andes, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y de Loja (Aguirre y col., 2017). *Cavanillesia platanifolia* suele encontrarse en estos bosques por debajo de los 800

m s.n.m. (Jørgensen y León-Yanes, 1999; Aguirre, Kvist y Sánchez, 2006). Según Espinosa y col. (2011), se distribuye por las provincias de El Oro, Loja, Manabí, Guayas y en el bosque seco tumbesino, así como en la provincia de Esmeraldas (Aguirre y col., 2017).

Para el presente estudio, se recolectaron semillas de *C. platanifolia* en la Hacienda Pabeclar, ubicada en el Bosque Protector Chongón ($2^{\circ} 7' 13.97''\text{S}$, $80^{\circ} 4' 57.78''\text{O}$; provincia de Guayas, Figura 2). Esta región, limitante con la cordillera Chongón-Colonche y que es parte del corredor Chocó-Darién de la costa de Ecuador, es objeto prioritario de conservación (Mittermeier y col., 2011). En el área forestal en cuestión la actividad agrícola va en aumento, principalmente debido a la creciente extensión de los cultivos de maíz (Figura 2). La recolección de semillas se realizó en noviembre del 2017, en un área de aproximadamente 6000 m^2 , seleccionando aquellas del suelo que no presentaban ningún signo de depredación (Bonfil-Sanders, Cajero-Lázaro y Evans, 2008; Orantes-García y col., 2013). Dentro del área de recogida se caracterizaron los individuos ($N=6$) de *C. platanifolia*, que en esta zona tenían una circunferencia a la altura del pecho (CAP) a 1.30 m del suelo de 321 cm a 570 cm y una altura de 25 a 37 m, medidas mediante la técnica Range Finder (Wing, Solmie y Kellogg, 2004).

2.2 Metodología de conservación, metodología de vivero, siembra de las semillas, y seguimiento de la emergencia y rendimiento de las plántulas

2.2.1 Ensayo piloto

Se realizó un ensayo piloto en invernadero con 187 semillas (iniciando la hidratación de la semilla el 28 de febrero del 2018), para comprobar la viabilidad de las semillas recolectadas. Previo a la siembra, desde la recolección previamente mencionada, las semillas se almacenaron en un espacio cerrado, en oscuridad y temperatura ambiente ($21,3^{\circ}\text{C}$ – $26,8^{\circ}\text{C}$) durante 3 meses. Después, las semillas se sometieron al proceso de escarificación física, y posteriormente se dejaron en remojo durante 48 horas. Según Trujillo (1995), esta hidratación no debe ser inferior a dos horas, pero tampoco superior a las 48 para evitar posibles fermentaciones. Tras la hidratación,

las semillas fueron dispuestas en cuadros de $1\text{ m}^2 \times 30\text{ cm}$ de alto con 2 cm de distancia entre ellas. Debido a la alta mortalidad de las plántulas de *C. platanifolia* a causa de patógenos (Villalba-Briones et al., observación personal), se utilizó un sustrato de arena con alto contenido en sílice, el cual tiene efecto fungicida. Los cuadros se dispusieron en un vivero (invernadero) con malla sarán, la cual reduce la radiación solar en un 80% y favorece la emergencia de las semillas de otras especies del género (Vieira y col., 2008). A partir de entonces, los cuadros se regaron en el vivero 5 días a la semana durante 10 minutos por nebulización. Desde el momento de la siembra, y a lo largo de 1 mes, se midió la tasa de emergencia acumulada, la cual fue de un 89.3%.

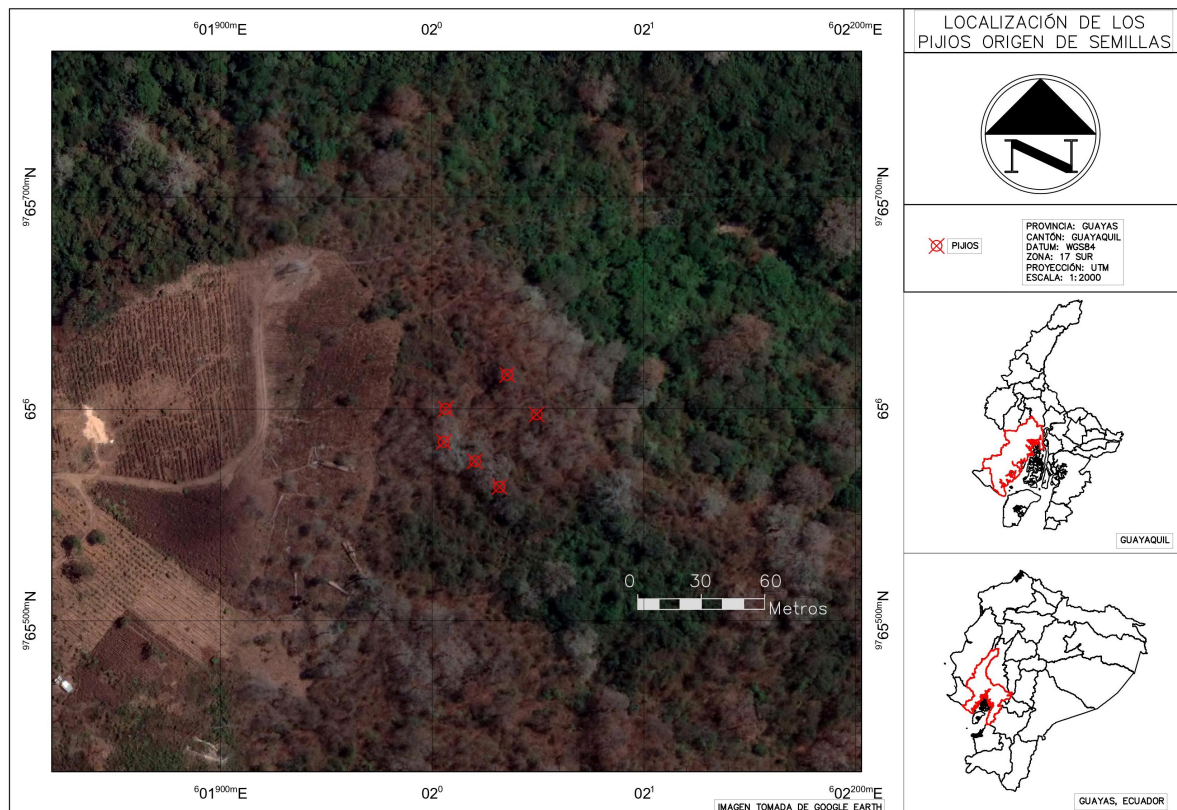


Figura 2. Mapa representando el área de recolección de las semillas de *Cavanillesia platanifolia* en la provincia del Guayas (Ecuador) marcando la localización de los árboles caracterizados. Mapa desarrollado mediante ArcGIS 10.3.

2.2.2 Ensayo de respuesta a condiciones de conservación

Con semillas del mismo origen y fecha de recolección, procedimos con el ensayo experimental, con un tiempo de almacenamiento más prolongado que en el ensayo piloto. Para este ensayo, primero las semillas recolectadas de *C. platanifolia* se almacenaron en seco en un espacio cerrado salvaguardado de los elementos externos ambientales por un total de 3 meses (noviembre del 2017 a febrero del 2018), tras los cuales fueron aleatoriamente asignados a 2 tratamientos con 55 semillas por tratamiento. Para el primer tratamiento, las semillas se mantuvieron almacenadas durante 6 meses más a temperatura ambiente (21,3- 26,8°C) y oscuridad. Para el segundo tratamiento, las semillas se almacenaron en un refrigerador (4,3-7,6 °C) por el mismo tiempo. Mediante el tratamiento de conservación en frío la intención era comprobar si la conservación favorece las semillas manteniendo su viabilidad. Este hecho ha

sido sugerido por varios autores (Becerra-Vázquez y col., 2018; Li y Pritchard, 2009), aunque también se ha observado una alta variabilidad intraespecífica (Posada, Ocampo y Santos, 2014; Trujillo, 1995).

Esta observada variabilidad intraespecífica se debe en gran parte a las características morfológicas y fisiológicas de las semillas, como su contenido hídrico y termotolerancia (Kranner y col., 2010; Sasaki, 2008). Para nuestro ensayo experimental optamos por la conservación en refrigerador por ser económica y fácilmente reproducible, en vista de que la conservación en nitrógeno líquido (-196°C) no incrementa significativamente la emergencia en otras especies como *C. arborea* (Lima y col., 2008). Tras los 6 meses de tratamiento y previo a la siembra, las semillas se sometieron al proceso de escarificación física, y posteriormente se dejaron en remojo durante 24 horas. Tras la hidratación, procedimos a la siembra y cultivo en vivero (invernadero) de igual manera a lo descrito para el ensayo piloto. Al mis-

mo tiempo, la progresión de desarrollo de la semilla fue registrada fotográficamente en un recipiente de vidrio adaptado para la recolección de imágenes (Figura 3). Desde el momento de la siembra, y a lo largo de 1 mes, medimos la tasa de emergencia acumulada y mortalidad de las plántulas emergidas.

A partir de estas variables también estimamos el éxito de reclutamiento (emergencia + supervivencia). A su vez, medimos el crecimiento (altura) de las plántulas a los 14 y a los 25 días de la siembra

(ver ejemplo de plántula en la Figura 4). Durante todo el proceso se midieron los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y punto de rocío. Las mediciones se realizaron con un termohigrómetro, tomando 3 medidas por cuadro/día para hacer la media diaria. Las medidas fueron homogéneas a lo largo del tiempo, con una variación de 3°C en temperatura (27,3- 30,3°C) y de 2,8°C en punto de rocío (21,7- 24,5°C). En cuanto a la humedad relativa, no osciló más allá del 25% entre las distintas mediciones (65,1- 85,3%).

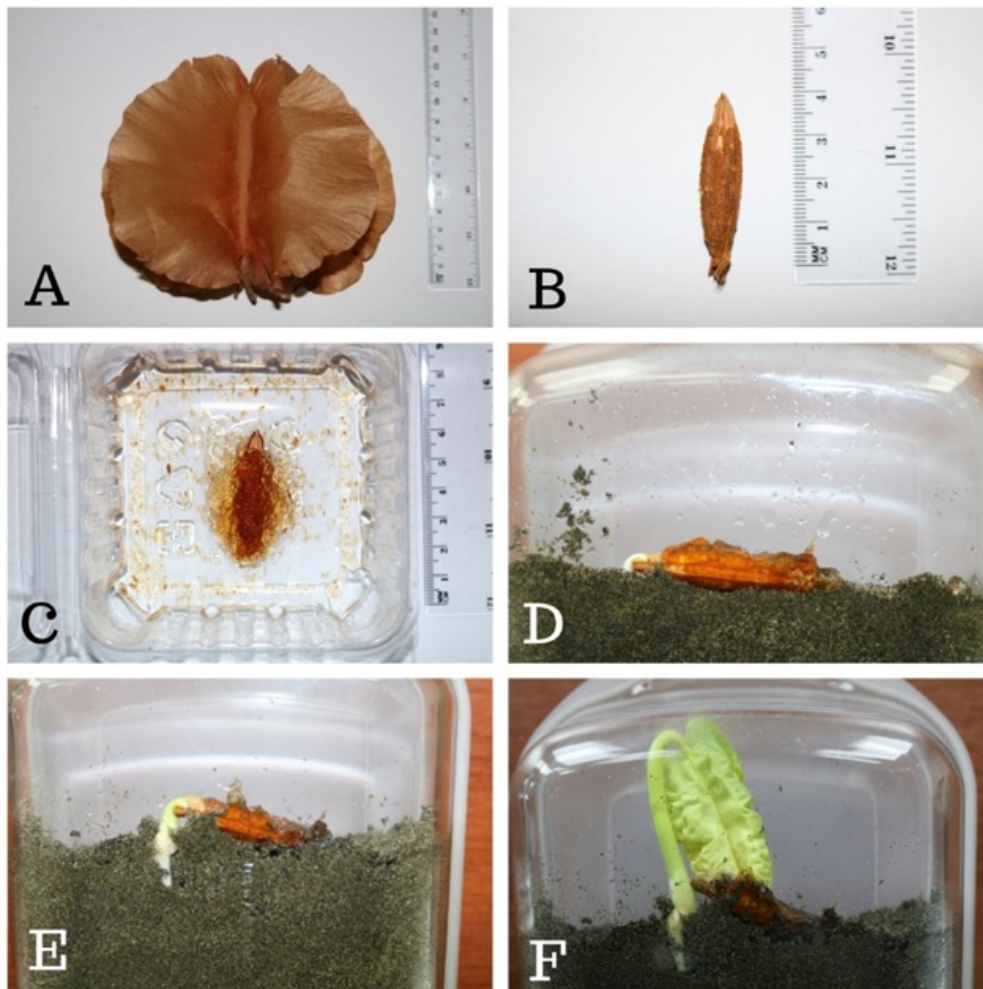


Figura 3. *Cavanillesia platanifolia* (Humb. & Bonpl.) Kunth (A) Semilla recolectada con sus 4 alerones para ser dispersada anemócoramente. (B) Semilla una vez descascarillada. (C) Semilla hidratada a las 24 horas. (D) Posicionamiento en arena de una semilla para su germinación. (E) Semilla germinando a las 48 horas. (F) Emergencia de la plántula.

2.3 Análisis estadístico

Analizamos el efecto de ambos tratamientos (conservación en frío vs. conservación a temperatura ambiente) sobre la emergencia, mortalidad y éxito de reclutamiento de cada semilla con modelos lineales generalizados con distribución binomial. En cuanto al efecto de los tratamientos sobre el crecimiento (altura) de las plántulas en ambas mediciones temporales (a los 14 y a los 25 días de la siembra), evaluamos si se cumplían los parámetros de

normalidad. Los gráficos de Cuantil-Cuantil determinaron que los datos se ajustaban bien a una distribución normal, y el test de normalidad Shapiro-Wilk determinó que no se descartara la hipótesis nula de la asunción de normalidad en ambos casos. Por tanto, la altura de las plántulas pudo ser analizada por medio de un modelo lineal general (ANOVA de un factor). Los análisis se realizaron con el software estadístico R 3.5.2 (R Core Team, 2017), mediante los paquetes nlme (Pinheiro y col., 2011) y lme4 (Bates y col., 2014).



Figura 4. *Cavanillesia platanifolia* (Humb. & Bonpl.) Kunth. Raíz axonomorfa y hojas simples cuneiformes de plántula de cuatro días.

3 Resultados y Discusión

En el ensayo experimental, las semillas conservadas en frío tuvieron una tasa de emergencia 10% mayor que las conservadas a temperatura ambiente ($98,18 \pm 1,81$ vs. $89,09 \pm 4,24\%$, $\chi^2 = 4,20$, $P = 0,040$; Figura 5A) y, además, la tasa de mortalidad con la conservación en frío fue 317% menor una vez emergidas ($16,66 \pm 5,11$ vs. $71,42 \pm 6,52\%$, $\chi^2 = 33,30$, $P < 0,0001$; Figura 5B). La mortalidad estuvo severamente influenciada por infecciones bacterianas y sobre todo fúngicas que afectaron el endospermo y los cotiledones. El éxito de reclutamiento de las semillas, al considerar conjuntamente la emergencia y supervivencia, fue un 228% mayor en las semillas conservadas en frío respecto a las conservadas a temperatura ambiente ($81,81 \pm 5,24$ vs. $25,45 \pm$

$5,92\%$, $\chi^2 = 37,35$, $P < 0,0001$; Figura 5C).

Además de un mayor reclutamiento, las plántulas de semillas conservadas en frío mostraron un mayor rendimiento durante el seguimiento efectuado el mes siguiente de la siembra. Así, las plántulas emergidas de las semillas conservadas en frío resultaron ser un 45% más altas que las conservadas a temperatura ambiente a los catorce días ($8,60 \pm 0,42$ vs. $5,92 \pm 0,73$ cm, $F_{1,58} = 9,53$, $P = 0,003$; Figura 5D), y un 28% más altas a los veinticinco días ($17,10 \pm 0,55$ vs. $13,29 \pm 1,28$ cm, $F_{1,57} = 9,74$, $P = 0,002$; Figura 5D).

Diversos factores están diezmando las poblaciones de *Cavanillesia platanifolia* en el neotrópico. A la pérdida y fragmentación del área forestal y a su tala

se une la recientemente observada escasa regeneración natural en los bosques secos de Ecuador. Ello puede deberse a una disminución en el número de individuos y una menor producción de frutos y semillas, a una mayor tasa de depredación de semillas, a un incremento en la desecación de las semillas y/o en la mortalidad de las plántulas debido a factores ambientales. Así, el establecimiento de los individuos jóvenes puede estar viéndose comprometido por un creciente estrés fisiológico debido a las ca-

da vez mayores oscilaciones climáticas estacionales. Este hecho podría agravarse en el futuro, por lo que sería recomendable estudiar de manera completa el ciclo biológico de *C. platanifolia* hasta su etapa adulta, y determinar la influencia de los distintos factores bióticos y abióticos sobre su eficacia biológica. No puede obviarse que la viabilidad de las semillas también puede estar disminuyendo por menores tasas de polinización cruzada (Hamrick y Murawski, 1990).

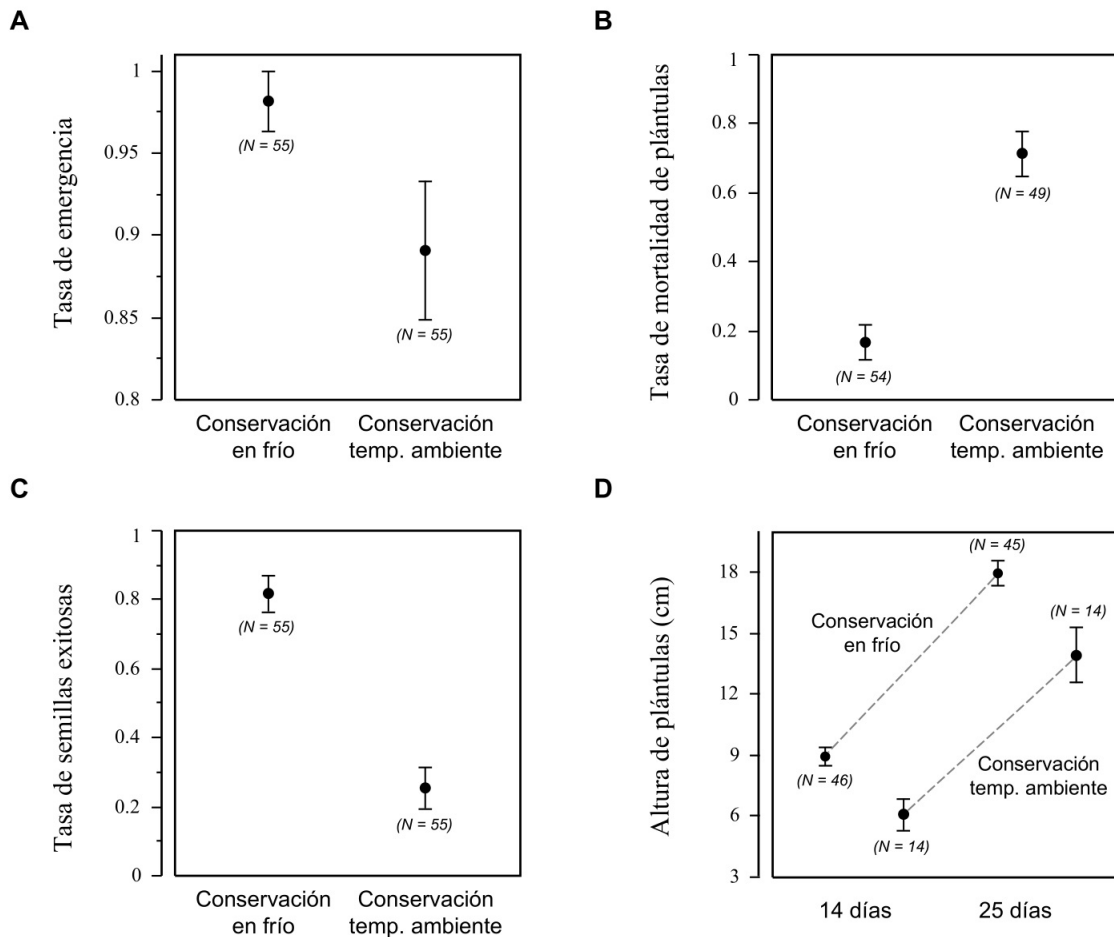


Figura 5. Efecto de la temperatura de conservación de las semillas de *Cavanillesia platanifolia* (Humb. & Bonpl.) Kunth. sobre las variables observadas. (A) Tasa de emergencia. (B) Tasa de mortalidad de plántulas. (C) Tasa de reclutamiento (semillas exitosas). (D) Altura de las plántulas con diferentes tratamientos a los 14 y a los 25 días de la siembra.

El presente estudio demuestra que la conservación en frío de las semillas durante seis meses permitió el mantenimiento de su viabilidad respecto a las semillas conservadas a temperatura am-

biente, incrementando la tasa de emergencia. La conservación en frío permitiría por tanto mantener la viabilidad de semillas sensibles a la desecación (Normah, Sulong y Reed, 2019), como es el caso

de *C. platanifolia*. Nuestro estudio demuestra que la conservación en frío de las semillas durante 6 meses mantuvo significativamente la viabilidad de las semillas. La emergencia de las semillas conservadas en frío durante seis meses (con tres meses previos de conservación a temperatura ambiente en un lugar cerrado) fue similar, y e incluso ligeramente superior a la emergencia observada en semillas de tres meses a temperatura ambiente en el mismo lugar cerrado (ensayo piloto), efecto posiblemente mediado por la interrupción de la dormancia debida al frío.

Además, es destacable que las plántulas provenientes del tratamiento de conservación en frío crecieron de manera más vigorosa. Este tipo de conservación limitaría los efectos adversos de las altas temperaturas y del déficit de agua sobre las semillas, disminuyendo su envejecimiento. Mediante el fenómeno multicausal del envejecimiento se reduce la calidad fisiológica de las semillas induciendo cambios estructurales, composicionales y funcionales, limitando su viabilidad y vigor (Kranner y col., 2010; Li y Pritchard, 2009). Sin embargo, el resultado más novedoso y destacable es que la mortalidad de estas plántulas se redujo considerablemente en las semillas conservadas en frío. La patogenicidad es un factor determinante en el reclutamiento de plántulas (Kranner y col., 2010), siendo una de las mayores causas de mortalidad de éstas durante su primer mes de vida en los bosques tropicales (Comita y col., 2014).

En estos bosques, el ataque de los patógenos suele tener efectos más agudos sobre aquellas plántulas que crecen en sombra (Augspurger y Kelly, 1984), como es el caso de *C. platanifolia*. La conservación en frío, por tanto, no sólo mantendría el vigor de las semillas, sino que también reduciría la actividad de los patógenos, limitando su impacto negativo sobre la fisiología de las semillas y el establecimiento de las plántulas. Es común en los bosques tropicales que la mortalidad de las plántulas debido a la acción patogénica también esté ligado a su densidad (Alvarez-Loayza y Terborgh, 2011; Augspurger y Kelly, 1984). Nuestra metodología muestra que pueden obtenerse bajas tasas de mortalidad aun realizando la siembra a altas densidades (~ 83 % de supervivencia en semillas conservadas en frío, habiendo 2 cm de distancia entre plántulas).

4 Conclusiones

Consideramos que la conservación en frío pudo disminuir la mortalidad tanto limitando el debilitamiento causado por el envejecimiento como ralentizando el crecimiento de los patógenos, conllevando a una menor probabilidad de infección letal. La fácilmente replicable y económica metodología de vivero utilizada en este estudio puede ser empleada para la producción de plántulas en los planes de reforestación de *C. platanifolia*. De esta forma, el vivero puede ser ocupado en diferentes tiempos de sembrado, planificando la activación y siembra de la semilla mantenida en frío según conveniencia, optimizando así la eficiencia en la producción de plántulas.

Esta metodología podría emplearse también en otras especies de Malváceas-Bombacáceas, pues casi la mitad de las especies de esta familia están catalogadas como al menos vulnerables (IUCN, 2019). La metodología podría igualmente testarse en otras especies importantes y amenazadas del Chocó-Darién con semillas de características similares, entre las que se encuentran *Quercus humboldtii* Bonpl. (Fagaceae), *Prioria copaifera* Griseb. (Fabaceae), *Caryocar amygdaliferum* Mutis (Caryocaraceae) y *Anacardium excelsum* (Bertero Balb. ex Kunth) Skeels (Anacardiaceae).

Contribución de los autores

R.V.B.: Conceptualización, visualización, investigación, recursos, metodología, análisis formal, administración de proyecto, recolección de datos, tratamiento de datos, supervisión, escritura- borrador original, escritura- revisión y edición. E.R.J.: Visualización, recursos, metodología, administración de proyecto, recolección de datos, supervisión, escritura- revisión y edición. A.R.L.: Investigación, metodología, recursos, validación. M.A.B.: Investigación, análisis formal, Curación de datos, validación, escritura- revisión y edición.

Referencias

Adler, G. (1995). «Fruit and seed exploitation by Central American spiny rats, *Proechimys semipinosus*». En: *Studies on Neotropical Fauna and*

- Environment* 30.4, 237-244. Online:https://n9.cl/0rkgb.
- Aguirre, N. y col. (2017). «Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador». En: *Neotropical Biodiversity* 3.1, 18-29. Online:https://n9.cl/1y8ld.
- Aguirre, Z. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Proyecto Manejo Forestal Sostenible Ante El Cambio Climático. MAE/FAO-Finlandia.
- Aguirre, Z. y L. Kvist (2009). «Composición florística y estructura de bosques estacionalmente secos en el sur-occidental de Ecuador, provincia de Loja, municipios de Macara y Zapotillo». En: *Arnaldoa* 16.2, 87-99. Online:https://n9.cl/x3kpd6.
- Aguirre, Z., L. Kvist y O. Sánchez (2005). «Floristic composition and conservation status of the dry forests in Ecuador». En: *Lyonia* 8.2, 41-67. Online:https://n9.cl/w36bx.
- (2006). «Bosques secos en Ecuador y su diversidad». En: *Botánica económica de los Andes Centrales*, 162-187. Online:https://n9.cl/n3ca4.
- Alvarez-Loayza, P. y J. Terborgh (2011). «Fates of seedling carpets in an Amazonian floodplain forest: intra-cohort competition or attack by enemies?» En: *Journal of Ecology* 99.4, 1045-1054. Online:https://n9.cl/jzg09.
- Augsburger, C. y C. Kelly (1984). «Pathogen mortality of tropical tree seedlings: experimental studies of the effects of dispersal distance, seedling density, and light conditions». En: *Oecologia* 61, 211-217. Online:https://n9.cl/j3zte5.
- Bates, D. y col. (2014). «Fitting linear mixed-effects models using lme4». En: *Stat. Soft* 67.1, 1-48. Online:https://n9.cl/vzmp8.
- Becerra-Vázquez, Á. y col. (2018). «Seed longevity of five tropical species from South-Eastern Mexico: Changes in seed germination during storage». En: *Tropical Conservation Science* 11, 1940082918779489. Online:https://n9.cl/0zcxb.
- Bonfil-Sanders, C., I. Cajero-Lázaro y R. Evans (2008). «Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México». En: *Agrociencia* 42.7, 827-834. Online:https://n9.cl/d0cjr.
- Calvo-Rodríguez, S. y col. (2017). «Assessing ecosystem services in Neotropical dry forests: a systematic review». En: *Environmental Conservation* 44.1, 34-43. Online:https://n9.cl/ksucm.
- Castellanos, M. y P. Stevenson (2011). «Phenology, seed dispersal and difficulties in natural recruitment of the canopy tree *Pachira quinata* (Malvaceae)». En: *Revista de Biología Tropical* 59.2, 921-933. Online:https://n9.cl/z31mf.
- Catterall, C. (2018). «Fauna as passengers and drivers in vegetation restoration: a synthesis of processes and evidence». En: *Ecological Management Restoration* 19, 54-62. Online:https://n9.cl/vy71i.
- Comita, L. y col. (2014). «Testing predictions of the Janzen-Connell hypothesis: a meta-analysis of experimental evidence for distance-and density-dependent seed and seedling survival». En: *Journal of Ecology* 102.4, 845-856. Online:https://n9.cl/izrr8.
- Condit, R., S. Hubbell y R. Foster (1993). «Identifying fast-growing native trees from the Neotropics using data from a large, permanent census plot». En: *Forest Ecology and Management* 62.1-4, 123-143. Online:https://n9.cl/zt3r6.
- Correa, M. D., C. Galdames y M. De Stapf (2004). *Catálogo de las plantas vasculares de Panamá*. Smithsonian Tropical Research Institute.
- Debeaujon, I., K. Leon-Kloosterziel y M. Koornneef (2000). «Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*». En: *Plant physiology* 122.2, 403-414. Online:https://n9.cl/iee3h.
- Díaz-Pérez, C., M. Puerto-Hurtado y J. Fernández-Alonso (2011). «Habitat evaluation, population and conservation status of the "Barrigón" (*Cavanillesia chicamochae*, Malvaceae-Bombacoideae)». En: *Caldasia* 33.1, 105-119. Online:https://n9.cl/2ezpc.
- Espinosa, C. y col. (2011). «What factors affect diversity and species composition of endangered Tumbesian dry forests in Southern Ecuador?» En: *Biotropica* 43.1, 15-22. Online:https://n9.cl/2jkh4.
- Hamrick, J. y D. Murawski (1990). «The breeding structure of tropical tree populations». En: *Plant species biology* 5.1, 157-165. Online:https://n9.cl/qdt6p.
- Hubbell, S. (1979). «Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest: That tropical trees are clumped, not spaced, alters conceptions of the organization and dynamics». En: *Science* 203.4387, 1299-1309. Online:https://n9.cl/ld9sg.

- IUCN (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3*.
- Jørgensen, P. y S. León-Yanes (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden Press St. Louis.
- Kranner, I. y col. (2010). «What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science». En: *New Phytologist* 188.3, 655-673. Online:https://n9.cl/viwig9.
- Li, D. y H. Pritchard (2009). «The science and economics of ex situ plant conservation». En: *Trends in plant science* 14.11, 614-621. Online:https://n9.cl/3hoqe.
- Lima, V. y col. (2008). «Germinação de espécies arbóreas de floresta estacional decidual do vale do rio Paranã em Goiás após três tipos de armazenamento por até 15 meses». En: *Biota Neotropica* 8, 89-97. Online:https://n9.cl/un3ln.
- López-Lanús, B. y J. Socola (2000). «Estudio y conservación del Ara ambigua en la Reserva Cerro Blanco, sudeste de Ecuador». En: *Cotinga* 14, 24-25. Online:https://n9.cl/83udhi.
- Madriñán, S. (2014). «Flora de Macondo». En: *Boletín Cultural y Bibliográfico* 48.85, 66-99. Online:https://n9.cl/js9tx.
- Melo-Júnior, A. y col. (2015). «Spatial genetic structure of Cavanillesia arborea K. Schum.(Malvaceae) in seasonally dry Tropical forest: Implications for conservation». En: *Biochemical Systematics and Ecology* 58, 114-119. Online:https://n9.cl/phe2g.
- Mittermeier, R. y col. (2011). «Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas». En: Springer. Cap. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots, págs. 3-22.
- Montalvo, J., M. Rommel y J. Cevallos (2013). «Prioridades de investigación genética y ecológica para la conservación de especies y bosques y el desarrollo forestal en Ecuador». En: *Primer encuentro nacional de bosques, recursos genéticos forestales y agroforestería*.
- Normah, M., N. Sulong y B. Reed (2019). «Cryopreservation of shoot tips of recalcitrant and tropical species: Advances and strategies». En: *Cryobiology* 87, 1-14. Online:https://n9.cl/dvu4j.
- Orantes-García, C. y col. (2013). «Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México». En: *Polibotánica* 36, 117-127. Online:https://n9.cl/uw8xy.
- Pinheiro, J. y col. (2011). *nlme: Linear and nonlinear mixed effects models*.
- Posada, P., J. Ocampo y L. Santos (2014). «Estudio del comportamiento fisiológico de la semilla de tres especies cultivadas de Passiflora L.(Passifloraceae) como una contribución para la conservación ex situ». En: *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8.1, 9-19. Online:https://n9.cl/gpmvt.
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Romero-Saritama, J. (2016). «Caracterización morfofisiológica de semillas de especies leñosas distribuidas en dos zonas secas presentes en el Sur del Ecuador». En: *Ecosistemas* 25.2, 93-100. Online:https://n9.cl/num316.
- Rosin, C. y J. Poulsen (2016). «Hunting-induced defaunation drives increased seed predation and decreased seedling establishment of commercially important tree species in an Afrotropical forest». En: *Forest Ecology and Management* 382, 206-213. Online:https://n9.cl/qltn42.
- Ruiz, R. y H. Saab (2020). «Floristic diversity of the tropical dry forest in the lower and middle Sinu subregion, Cordoba, Colombia». En: *Revista de Biología Tropical* 68, 167-179. Online:https://n9.cl/lrh13.
- Sarmiento, C. y col. (2017). «Soilborne fungi have host affinity and host-specific effects on seed germination and survival in a lowland tropical forest». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.43, 11458-11463. Online:https://n9.cl/9q1al7.
- Sasaki, S. (2008). «Physiological characteristics of tropical rain forest tree species: a basis for the development of silvicultural technology». En: *Proceedings of the Japan Academy, Series B* 84.2, 31-57. Online:https://bit.ly/3M9t1Xv.
- Souza-Silva, H. y col. (2015). «Consequences of habitat disturbance on seed fate of a Brazilian tropical dry forest tree Cavanillesia arborea (Malvaceae)». En: *Austral Ecology* 40.6, 726-732. Online:https://n9.cl/xg40y.
- Trujillo, E. (1995). *Manejo de semillas forestales: guía técnica para el extensionista forestal*. Inf. téc. International Cocoa Organization.
- Vieira, D. y A. Scariot (2006a). «Effects of logging, liana tangles and pasture on seed fate of dry forest tree species in Central Brazil». En: *Forest*

- Ecology and Management* 230.1-3, 197-205. Online: <https://n9.cl/52wxg>.
- (2006b). «Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration». En: *Restoration ecology* 14.1, 11-20. Online: <https://n9.cl/g8ple>.
- Vieira, D., A. Scariot y K. Holl (2007). «Effects of habitat, cattle grazing and selective logging on seedling survival and growth in dry forests of Central Brazil». En: *Biotropica* 39.2, 269-274. Online: <https://n9.cl/tcy0l>.
- Vieira, D. y col. (2008). «Consequences of dry-season seed dispersal on seedling establishment of dry forest trees: Should we store seeds until the rains?» En: *Forest Ecology and Management* 256.3, 471-481. Online: <https://n9.cl/irzk6>.
- Walters, C., L. Wheeler y J. Grotenhuis (2005). «Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics». En: *Seed Science Research* 15.1, 1-20. Online: <https://n9.cl/sg4pl>.
- Wing, M., D. Solmie y L. Kellogg (2004). «Comparing digital range finders for forestry applications». En: *Journal of forestry* 102.4, 16-20. Online: <https://n9.cl/docw7>.
- Wolfe, B. (2017). «Retention of stored water enables tropical tree saplings to survive extreme drought conditions». En: *Tree physiology* 37.4, 469-480. Online: <https://n9.cl/oww20>.
- Xu, M. y col. (2015). «Soil-borne pathogens restrict the recruitment of a subtropical tree: a distance-dependent effect». En: *Oecologia* 177, 723-732. Online: <https://n9.cl/0evh3a>.



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN URBANA POR EMISIONES SONORAS REGISTRADAS CON SONÓMETRO Y NODOS SENSORES

EVALUATION OF URBAN POLLUTION BY NOISE EMISSIONS REGISTERED WITH A SOUND LEVEL METER AND SENSOR NODES

Julia Martínez Gavilanes*, Omar Delgado Inga, Ismael Vanegas Galindo,
Darío Espinoza Saquicela y Francisco Salgado Castillo

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jumartinez@uazuay.edu.ec

Manuscrito recibido el 5 de enero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 7 de febrero 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

El incremento de las emisiones sonoras se asocia a la actividad antrópica y es el centro urbano en donde se presentan afectaciones a la población y al entorno. El presente estudio tuvo dos componentes, el primero abarcó la evaluación del comportamiento sonoro en el área urbana de Cuenca-2019, en donde se realizaron monitoreos en 31 puntos distribuidos en la ciudad en función del tráfico promedio diario, uso del suelo y dinámicas de la población; se tomó como referencia la norma ambiental nacional TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente). Los resultados mostraron que el ruido sobrepasa los límites de la norma en el 100% de las mediciones realizadas en la zona de equipamientos de servicios sociales (EQ1), 96% de las mediciones en la zona residencial (R1), 100% de las mediciones en la zona comercial (CM) y en el 72% de las mediciones de la zona industrial de mediano y alto impacto (ID3/ID4). En el segundo componente se compararon los datos levantados de manera simultánea con sensor y sonómetro, en seis nuevas estaciones de monitoreo establecidas sobre la base de las denuncias de ruido realizadas por la ciudadanía a la autoridad municipal de Cuenca y las condiciones de seguridad para la colocación de los equipos. Se obtuvo un alto coeficiente de correlación ($r = 0,8$) y de determinación ($R^2 > 0,6$), entre los datos levantados con sensor y sonómetro. Se resalta el uso del sonómetro calibrado cuando se realizan mediciones sonoras con diversos instrumentos, ya que permite verificar y validar los datos.

Palabras clave: ruido, sonómetro, nodos sensores, TULSMA

Abstract

The increase in noise emissions is associated with an increase in the population, with anthropic activities, and it is in urban centers where a series of effects on both the population and the environment occur. The present study covered the evaluation of the noise behavior in the city of Cuenca during 2019, for which monitoring was carried out in 31 points distributed in the city based on the average daily traffic, the ordinance of use and occupation of the land and the dynamics of the population. The national environmental standard TULSMA (Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment) was taken as a reference. To establish the comparison of the data collected with a (low-cost, noise level) sensor and a sound level meter, measurements were made in 6 monitoring stations established on the basis of noise complaints made by citizens to the autonomous decentralized municipal government of Cuenca (GAD) and the security conditions to place for the placement of the equipment. The results showed that noise, in the city of Cuenca during 2019, noise is above the TULSMA environmental standard in Zone EQ1 (100% of the measurements), Zone R1 (96% of the measurements), Zone CM (100% of the measurements) and in Zone ID3 / ID4 (72% of the measurements). There was a high correlation coefficient ($r = 0.8$) and determination coefficient ($R^2 > 0.6$), between the data collected with the sensor and the sound level meter. It is worth highlighting the use of the calibrated sound level meter when making sound measurements with various instruments, as it allows the data to be verified and validated.

Keywords: noise, sound level meter, sensor nodes, TULSMA.

Forma sugerida de citar: Martínez, J., Delgado, O., Vanegas, I., Espinoza, D., y Salgado, F. (2024). Evaluación de la contaminación urbana por emisiones sonoras registradas con sonómetro y nodos sensores. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):78-91. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.05>.

IDs Orcid:

Julia Martínez Gavilanes: <https://orcid.org/0000-0001-7043-1277>

Omar Delgado Inga: <https://orcid.org/0000-0001-7176-6490>

Ismael Vanegas Galindo: <https://orcid.org/0000-0002-4246-1986>

Darío Espinoza Saquicela: <https://orcid.org/0000-0001-5852-8455>

Francisco Salgado Castillo: <https://orcid.org/0000-0001-7380-0701>

1 Introducción

Al sonido se lo define como una onda sonora capaz de producir la sensación de sonido; y la sonoridad es la sensación subjetiva generada por variación de presión en el oído (Laforga, 2000). Para la física, “es una sensación percibida por el oído, debido a las diferencias de presión producidas por la vibración de un cuerpo” (Robles y Arias, 2015, p. 10), en tanto que al ruido se lo asocia con sonidos molestos, no deseados (García y Garrido, 2003; Robles y Arias, 2015), o “cualquier sonido que perturba al ser humano y el desarrollo de sus actividades” (Rodríguez, 2015, p. 3).

Los seres vivos desde su aparición en el planeta han sido receptores de variedad de sonidos provenientes del entorno, sin embargo, el sonido ambiental ha ido en incremento asociado a la actividad antrópica, en la actualidad se lo considera indeseable ya que afecta el equilibrio natural, perjudica a la población y se presenta como una importante fuente de contaminación de las ciudades (Alfie y Salinas, 2017) y un problema de salud pública (Fiedler y Zannin, 2015).

Las fuentes de ruido van desde el uso de vehículos a altas velocidades, sin revisión o mantenimiento, alzar la voz, entre otras; que provienen del actuar habitual de la población (García y Garrido, 2003), inclusive factores como la edad, nivel de estrés o aspectos como la calidad del aire pueden afectar la percepción sonora e influir en el paisaje sonoro de un territorio, de manera positiva o negativa (Mora-ga y col., 2017).

Las áreas urbanas presentan un crecimiento poblacional continuo que propician el ingreso de población por estudios, gestión, trabajo o residencia y acarrear un abandono de las periferias causando desequilibrios en el territorio (Gómez y Vallarino, 2010), que se derivan en alteraciones al entorno urbano como la congestión vehicular que emite a la atmósfera gases, material particulado y ruido; ocasionando pérdida de la calidad ambiental del centro urbano. Para establecer el impacto por ruido es necesario hacerlo en función de las afecciones que puede causar a la sociedad, sea fisiológica o psicossociológicamente; en tal razón, el ruido es estudiado por universidades, entidades públicas y privadas a nivel mundial; según Romo Orozco y Gómez Sán-

chez (2013), los altos niveles sonoros pueden afectar el órgano auditivo y los bajos la salud psicosomática.

Como lo expresa Burneo (2007a) la exposición continua y constante a sonidos con excesivos o altos niveles, inducen de manera lenta a la pérdida irreversible de la capacidad auditiva (Daiber y col., 2019), aumenta enfermedades cardio metabólicas, arritmia, diabetes mellitus y en función de las condiciones emocionales de las personas expuestas, se presentan casos de estrés que pueden desencadenar en vasoconstricción, variabilidad en la frecuencia cardíaca y coagulación (Daiber y col., 2019).

Grass y col. (2017, p. 5) expresa: “Ante la exposición a altos niveles de ruido de forma prolongada, el estómago puede segregar una sustancia ácida y una cantidad de hormonas suprarrenales; estos son los primeros síntomas de alarma ante el estrés agudo; también puede existir dificultad para concentrarse, que desencadena un descenso del nivel del rendimiento y aumenta el nivel de ansiedad en el profesional al sentirse incomunicado con su entorno, además de irritabilidad, trastorno del sueño, fatiga y depresión”, y grupos críticos como los infantes, niños, ancianos, enfermos y madres embarazadas son los que sufren más a causa del ruido (Burneo, 2007b).

La carga mundial de morbilidad ha cambiado como consecuencia de la industrialización y modernización, porque incorpora un factor de riesgo como el ruido que genera enfermedades crónicas (Daiber y col., 2019); no solamente de tipo físico sino también psíquico como estrés, interferencia con la comunicación del habla, pérdida de rendimiento, alteraciones que crecen cuando el sonido se incrementa, afectando la calidad de vida (Basner y col., 2014; Nazneen, Raza y Khan, 2020).

El nivel sonoro está en incremento, su conocimiento es necesario para delimitarlo, regularlo y combatirlo con políticas y legislación (García y Garrido, 2003), no es una actividad habitual porque ha sido considerado como un hecho común producto de la vida cotidiana, dando poca importancia a sus efectos (Bañuelos Castañeda, 2005). Para la sociedad, la contaminación son los efectos negativos sobre factores como el agua, suelo, aire, en tanto que al ruido se lo califica como “poco grave” (Zamorano

y col., 2015, p. 2). Para cuantificar el sonido inicialmente se lo realizó a través de la música, de manera cualitativa, es decir: fuerte, alto, etc., sin precisión científica, dependiente de la agudeza auditiva de la persona que lo percibe (Long, 2006). Luego de múltiples estudios experimentales Fletcher Munson (1933), Robinson y Dadson (1956), elaboraron las curvas con los niveles de sonoridad basados en juicios humanos sobre un tono percibido, en comparación con uno de referencia (Long, 2006); pero no pudieron ser usadas con un medidor de sonido analógico, por lo que se han desarrollado filtros de ponderación eléctrica que se aproximan a las curvas de Fletcher Munson las que se han denominado con letras del alfabeto A, B, C (Long, 2006).

Con el propósito de mostrar a la población información relacionada con el ruido, la Universidad del Azuay (UDA) desde el año 2009 monitorea estas emisiones en Cuenca con sonómetro certificado de manera anual y desde el año 2018 con nodos sensores en tiempo real de manera continua, contribuyendo al cumplimiento del Art. 14 de la Constitución de la República del Ecuador que estipula: “El derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kausay*...” (Asamblea Constituyente, 2008, p. 13). En la ciudad objeto de estudio se asienta aproximadamente el 66% de la población del cantón (INEC, 2010), con un total de 330.000 habitantes; dando como resultado zonas con contaminación acústica generalizada, fenómeno del cual no podemos estar indiferentes (García y Garrido, 2003).

A la par del crecimiento poblacional la evolución tecnológica permite un mejor desarrollo de las ciudades, formando lo que se denomina “ciudades inteligentes”, (UNRN, 2010), este concepto se relaciona con la infraestructura de comunicación para recolectar información y distribuirla a través de redes. Las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) han permitido mejorar la calidad de vida de la población, disminuyendo tiempo de gestión y de movilización, contribuyendo a la reducción de emisiones y contaminación ambiental (Lin y col., 2011).

Las redes de sensores inalámbricas están formadas por una red de adquisición y otra de distribución de datos, son controladas y monitoreadas por

un centro de gestión (Lewis, 2004); esta red está formada por nodos generadores y retransmisores de datos, un microprocesador y un transceptor (Akylidiz y Vuran, 2010). Su aplicabilidad es amplia, los datos captados pueden ser variables ambientales como datos meteorológicos, emisiones sonoras, calidad del agua, monitoreo ambiental, con la capacidad de transmisión en tiempo real (Cuenca y col., 2017).

En ciudades del Ecuador se monitorean las emisiones acústicas, en Guayaquil en el marco del diseño de una red de monitoreo de calidad del aire, se ha estudiado los niveles de ruido provenientes de fuentes fijas y móviles, determinando la presión sonora equivalente (NPSeq) en decibeles dB (IDYC, 2016). Quito y el Centro Histórico de Cuenca han utilizado herramientas como el software Cadna A y el modelo de predicción-propagación “HARMONOISE P2P” respectivamente, para elaborar mapas que representan el estado del ruido en sectores de la urbe (Bravo Moncayo, 2019; Armijos-Arcos, 2018).

La investigación realizada abarcó la evaluación del comportamiento sonoro en Cuenca al 2019 en 31 puntos preestablecidos, datos levantados con sonómetro. Adicionalmente se realizaron mediciones de manera simultánea con sonómetro y sensores de ruido en seis nuevos puntos de monitoreo con el propósito de establecer el grado de precisión en la toma de datos, los valores permitieron realizar el análisis comparativo.

2 Materiales y métodos

El proyecto se desarrolló en el área urbana de Cuenca, provincia del Azuay, ubicada a 2550 m.s.n.m., con 331.888 hab. (INEC, 2010), en una superficie de 79,59 km².

2.1 Equipos

El levantamiento de información se realizó con Sonómetro modelo SOUNDPRO DL-2-1/3 SLM, serie BCQ120001, Clase 1 integrador y debidamente certificado que permite obtener el nivel promedio equivalente de manera automática sobre la base de todas las muestras que se registren en el período determinado (15 minutos). El dato levantado por cada punto de monitoreo fue el nivel de sonido equiva-

lente (Leq) con escala A/C, recomendado para monitoreo de ruido ambiental (Long, 2006). El (Leq) mide “el nivel constante de ruido con el mismo con-

tenido de energía, que la variación acústica de la señal sonora calculada” (Aagesen, 2002, p. 57).

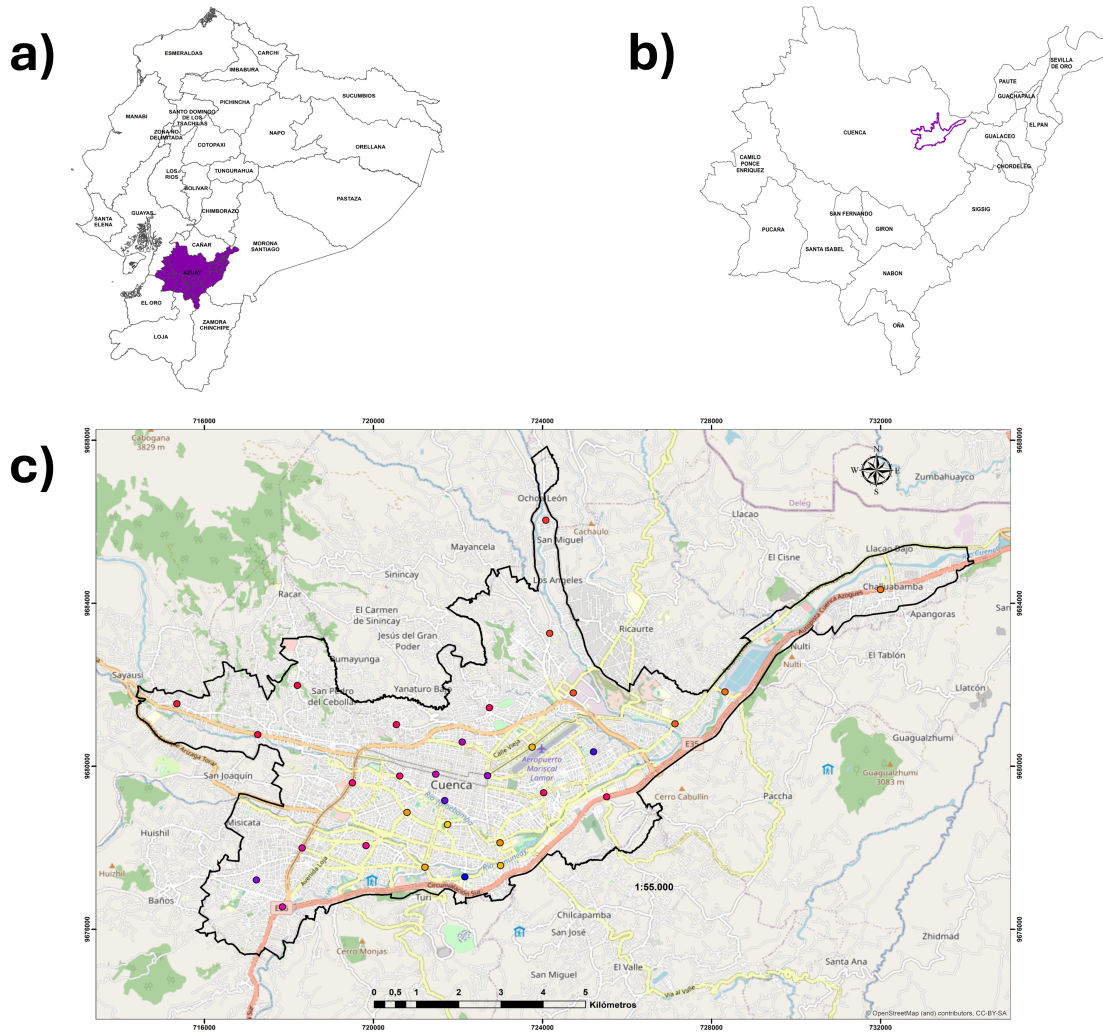


Figura 1. Mapas de ubicación del proyecto: a) Localización provincia del Azuay. b) Localización de la ciudad de Cuenca. c) Zona del proyecto. Elaboración a partir de la información del INEC, 2010 y del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador IERSE-UDA, 2019.

Para los sensores de ruido la tecnología utilizada se basa en el modelo de internet de las cosas, y está constituida por un conjunto de nodos sensores inalámbricos que forman una red; estos dispositivos tienen la capacidad de procesamiento, almacenamiento y comunicación; dotados de una batería que les provee de energía, como se ve en la Figura 2 (Salgado y Carranco, 2017). Los nodos sensores

referenciales se denominan “Waspmote plug sense”; constan de un empaquetado resistente al agua (IP65) con sockets para la conexión de sensores, panel solar, antena y un terminal para la programación del nodo. El modelo utilizado es: *Smart Cities PRO (SC_NODE)* (Salgado y Carranco, 2017).

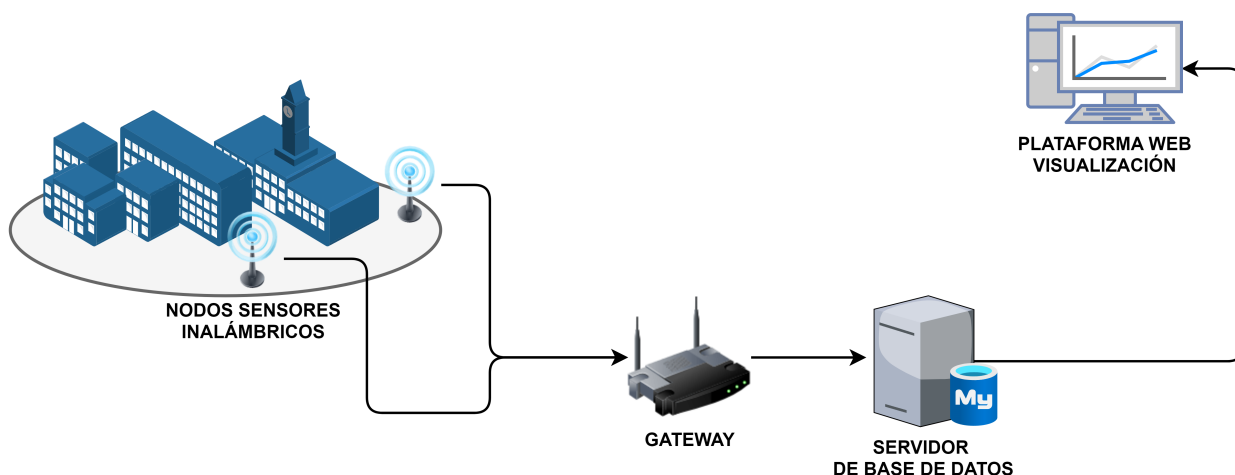


Figura 2. Esquema del funcionamiento de la red de sensores inalámbricos y transmisión de datos. Figura elaborada por Darío Espinoza.

El presente estudio es de naturaleza empírica con enfoque cuantitativo y los datos fueron levantados entre marzo y abril de 2019. La investigación partió del levantamiento de datos in situ tanto con sonómetro como con sensor, la información recopilada se comparó con los estándares establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del (Ministerio de Ambiente, 2019), luego se correlacionaron los datos obtenidos con sensor y sonómetro.

2.2 Monitoreo con sonómetro

Se cuenta con una red de 31 puntos de monitoreo (Figura 3), para su ubicación se consideraron tres criterios: densidad de tráfico, uso y ocupación del suelo y dinámicas de la población. La medición se realizó en seis horarios, correspondientes a las horas pico de flujo vehicular en la ciudad de Cuenca: 7h01, 13h00 y 18h00, y horas valle 10h00 y 15h00; adicionalmente se incorporó el horario nocturno de las 21h01. Estos horarios se establecieron en función del estudio realizado por el GAD de Cuenca, que determinó las horas de mayor y menor ingreso y salida de vehículos del centro de la ciudad (GAD Cuenca, 2007). El período de monitoreo por punto fue de 15 minutos en cada horario, cumpliendo con lo establecido en el Anexo V del TULSMA, el que recomienda un período de monitoreo de 10 minutos como mínimo (Ministerio de Ambiente, 2019).

2.3 Monitoreo con nodos sensores

Se establecieron seis puntos de monitoreo (Figura 4); para su ubicación se consideraron las denuncias por exceso de ruido recibidas en el Municipio de Cuenca, inspecciones a los sitios reportados como generadores de ruido y las condiciones logísticas como requerimientos de energía, cámaras de video, seguridad de los equipos.

La información de los nodos sensores son captados de manera continua y en tiempo real desde octubre de 2018; los datos se presentan en períodos de 12,25 min en el sitio web de la UDA; para el presente proyecto se utilizó la información reportada entre el 18 de marzo y 15 de abril de 2019, se unificó el horario de los sensores con los del sonómetro, es decir, se determinó el nivel de sonido equivalente (L_{eq}) para las 7h01, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h01.

Este cálculo se realizó con los datos reportados por el sensor por una hora. Los valores obtenidos son el resultado del promedio automático de todas las muestras captadas durante una hora, la escala de ponderación de los sensores es (A) y los promedios en este período fueron aritméticos. Los datos obtenidos con sonómetro fueron medidos por un período de 15 minutos en cada horario en cada punto de monitoreo.

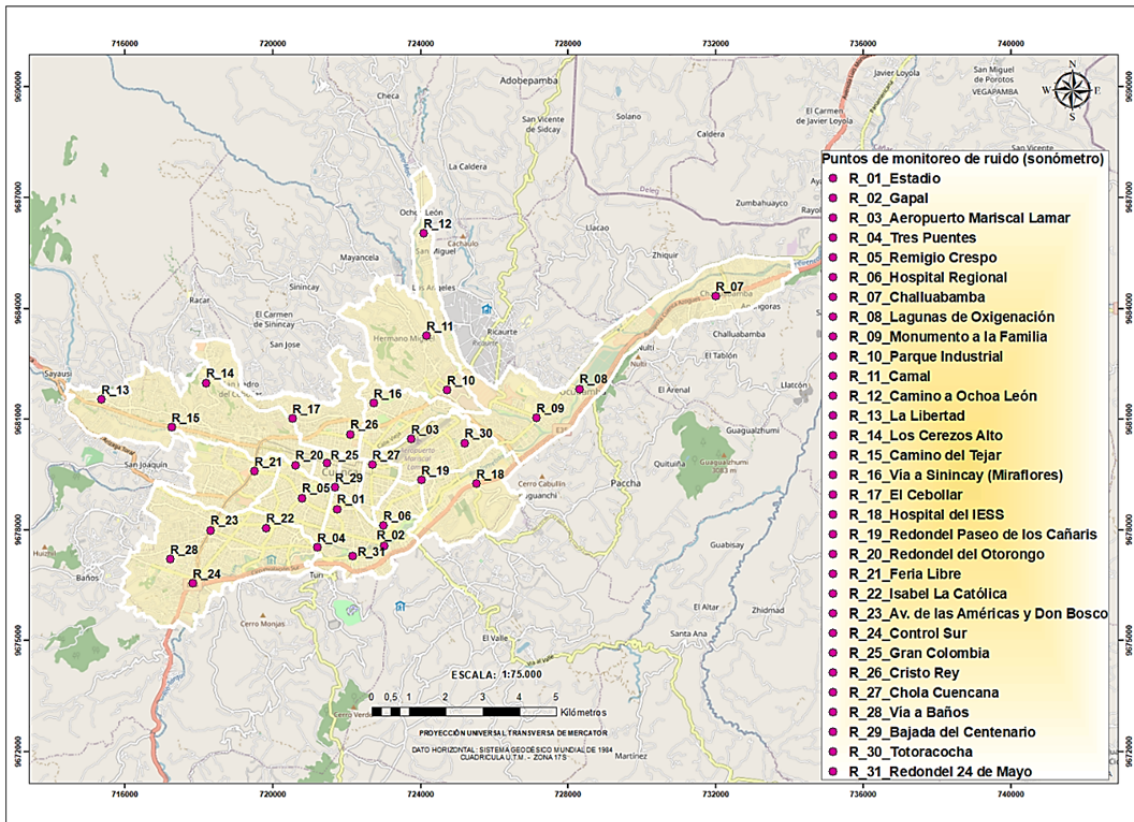


Figura 3. Ubicación de los sitios de monitoreo con sonómetro.

Tabla 1. Ubicación de los sensores de ruido en 2019.

Código	Sector	Calle Primaria	Calle Secundaria
SCP-04	Escalinata Juana de Oro	Calle Larga	Escalinata
SCP-05	Presidente Córdova	Presidente Córdova	Vargas Machuca
SCP-06	Remigio Crespo	Remigio Crespo	Agustín Cueva
SCP-07	Estadio Serrano Aguilar	Av. del Estadio	Av. Manuel J. Calle
SCP-08	Mercado El Arenal	Av. de las Américas	Av. Remigio Crespo
SCP-09	Parque Industrial	Paseo Río Machángara	Av. Octavio Chacón Moscoso

Tabla 2. Límites permisibles de ruido de acuerdo con TULS-MA, (2019).

Uso del suelo	Lkeq (dB)	
	Período diurno 07:01 a 21:00h	Período nocturno 21:01 a 07:00h
R1	55	45
EQ1	55	45
CM	60	50
ID3 / ID4	70	65

2.4 Evaluación del ruido en la ciudad

Para establecer el comportamiento sonoro al 2019 se tomó como referencia el Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del (Ministerio de Ambiente, 2019) de la Tabla 2. Los 31 puntos de monitoreo con sonómetro se describen en la Tabla 3. Mientras que, los seis puntos en donde se realizaron monitoreos de manera simultánea se describen en la Tabla 4.

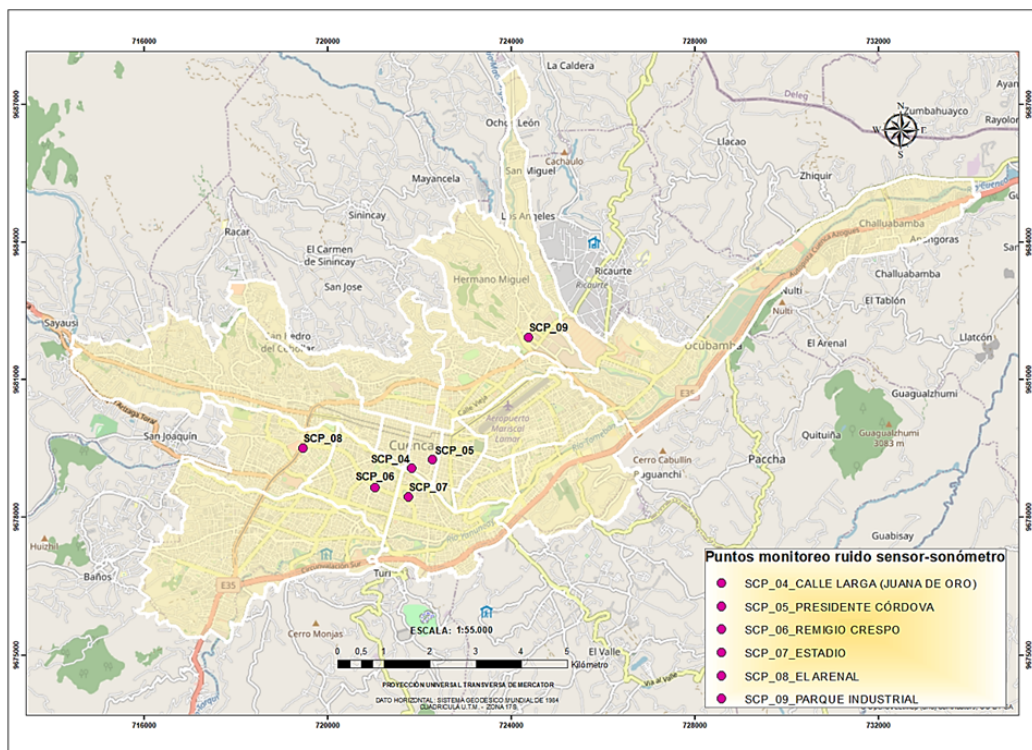


Figura 4. Ubicación de los sitios de monitoreo con sensores tipo 2019.

3 Resultados y discusión

3.1 Emisiones de ruido en Cuenca con sonómetro 2019

El análisis de los datos recolectados con sonómetro y evaluados con base al TULSMA (2019), se representan en la Figura 5. Los datos de ruido obtenidos para todas las zonas de estudio están sobre los límites establecidos en la norma ambiental- TULSMA, en todos los horarios de muestreo (Ver Tabla 2).

En la zona de equipamientos de servicios sociales (EQ1) las medianas en todos los horarios están entre los 68 dB y 72,3 dB. En los horarios de las 7h01, 13h00, 15h00 y 18h00, la mayoría de datos están sobre los 70dB.

La zona residencial (R1) cuenta con mayor número de monitoreos, las medianas en los distintos horarios oscilan entre los 68,2 dB y 72,4 dB. El menor valor se dio en el horario de las 15h00 con 54,3 dB. En la zona comercial (CM) los valores de las medianas están entre 68,2 dB y 72,4 dB y en los ho-

rarios de las 7h01, 13h00, 18h00 y 21h01, los datos obtenidos están en su mayoría sobre la mediana y a las 10h00 y 15h00 están por debajo de la mediana.

En la zona industrial (ID3/ID4), la mediana oscila entre 64,7 dB y los 70,4 dB, en los horarios 7h01, 10h00, 13h00, 18h00 y 21h01; los datos obtenidos en su mayoría están sobre la mediana; existe un sólo valor de 64,3 dB en el horario de las 21h01 que está por debajo de la norma TULSMA (2019); todos los restantes valores en los distintos horarios están sobre la citada norma.

Los valores de ruido en la ciudad de Cuenca para el año 2019 están sobre la legislación establecida en todos los horarios monitoreados y en todas las zonas de uso y ocupación del suelo. Los datos levantados que están sobre la norma TULSMA son: Zona EQ1 (100%), Zona R1 (96%), Zona CM (100%) y en la Zona ID3/ID4 (72%) del total de mediciones realizadas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que los valores de ruido por circulación vehicular están alrededor de los (70) dB, por lo que, al ser

el monitoreo en Cuenca realizado en puntos críticos, en las vías de mayor tráfico vehicular, se observa que los datos obtenidos están en correspondencia con lo establecido por la OMS (Berlung, Lindvall y Schwela, 1999).

Tabla 3. Puntos de monitoreo con sonómetro por uso del suelo.

No.	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA 2019)
R_02	Gapal	Residencial
R_04	Tres Puentes	
R_07	Challuabamba	
R_08	Lagunas de oxigenación	
R_09	Monumento a la Familia	
R_12	Camino a Ochoa León	
R_13	La Libertad	
R_15	Camino al Tejar	
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	
R_17	El Cebollar	
R_26	Cristo Rey	
R_28	Vía a Baños	
R_30	Totoracocha	
R_01	Estadio	Comercial
R_03	Aeropuerto Mariscal Lamar	
R_05	Remigio Crespo	
R_19	Redondel Paseo de los Cañaris	
R_21	Feria Libre	
R_23	Av. de las Américas y Don Bosco	
R_24	Control Sur	
R_25	Gran Colombia	
R_27	Chola Cuencana	
R_29	Bajada del Centenario	
R_06	Hospital Regional	Equipamientos de servicios sociales
R_18	Hospital del IESS	
R_20	Redondel del Otorongo	
R_22	Isabel La Católica	
R-31	Redondel 24 de Mayo	Industrial
R_10	Parque Industrial	
R_11	Camal	
R_14	Los Cerezos Alto	

Tabla 4. Puntos de monitoreo con sensor y sonómetro por uso del suelo.

No.	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA, 2019)
SCP-04	Calle Larga (Escalinata Juana de Oro)	
SCP-05	Presidente Córdova	Comercial
SCP-06	Remigio Crespo	
SCP-07	Estadio Serrano Aguilar	
SCP-08	Mercado El Arenal	
SCP-09	Parque Industrial	Industrial

3.2 Emisiones de ruido con nodos sensores vs. sonómetro

Con el propósito de establecer una comparación, se realizaron mediciones con sensor y sonómetro en los seis puntos establecidos en la Figura 4; y los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 5.

Por otro lado, la Figura 6 indica las diferencias presentadas entre las mediciones realizadas con sensor y sonómetro, por cada uno de los puntos de medición. En la estación “Calle Larga”, la diferencia de medición sonora entre sonómetro y sensor está entre 2,5 dB y 3 dB. En la estación “Calle Presidente Córdova”, la diferencia de valor medido con sensor y sonómetro varía entre 2,9 dB y 5,1 dB. Las mayores diferencias se presentan en la estación “Av. Remigio Crespo”, las que varían entre 1,3 dB y 9 dB. En la estación “Sector Estadio Serrano Aguilar”, las variaciones oscilan entre 0,0 dB y 2,9 dB, los cuales se dan en el horario comprendido entre las 15h00 y 21h00; en tanto que, en los otros horarios de medición, las diferencias son mínimas. Los datos levantados en la estación “Sector Mercado El Arenal”, presentan una variación menor al 1 dB. Las emisiones sonoras presentadas en la estación “Parque Industrial”, varían entre 3 dB y 6,3 dB.

De los datos obtenidos con sensor vs. sonómetro se analizó principalmente la correlación. Los resultados se detallan en la Tabla 6. Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson (r) y de Spearman (ρ) además de sus valores p de significancia en donde los datos más representativos se resaltan en la Tabla 6.

Tabla 5. Emisiones sonoras con sensor y sonómetro.

Horario	07:01	10:00	13:00	15:00	18:00	21:01
Ruido sensor						
SCP-04	68,8	68,2	68,7	68,0	68,5	65,0
SCP-05	72,6	71,9	73,3	71,7	72,0	66,2
SCP-06	63,5	66,5	65,9	65,6	66,0	61,3
SCP-07	66,9	68,0	67,5	68,0	67,9	62,9
SCP-08	69,9	69,7	69,4	70,0	70,2	67,1
SCP-09	73,1	72,3	72,3	72,8	71,8	67,6
Ruido sonómetro						
SCP-04	71,8	70,5	71,1	70,7	70,9	67,4
SCP-05	76,1	75,8	76,2	75,9	75	71,3
SCP-06	70,4	67,8	70,8	70,7	69,3	70,3
SCP-07	67,1	68	67,4	68,3	70	65,8
SCP-08	70,8	70,3	69,6	69,5	70,3	67
SCP-09	76,1	76,5	78,6	76,2	75	72,6

El coeficiente r en los sitios de monitoreo: Calle Larga, Presidente Córdova, El Arenal y el Parque Industrial, presentan valores comprendidos entre 0,8 a 0,99, que muestran alta correlación entre los datos obtenidos con sensor y sonómetro; en el sector del Estadio Serrano Aguilar, aplica el coeficiente rho (por la no normalidad de los datos) con un valor de 0,81. La calle Remigio Crespo presenta valores erróneos, lo que indica que hay algún problema con este nodo sensor. Los indicadores estadísticos muestran que en zonas como el Parque Industrial y el Estadio Serrano Aguilar, hay variabilidad de los datos; en tanto que, en la calle Remigio Crespo se presentaron errores en la medición, que denotan la posibilidad de fallas cuando se emplean nodos sensores.

Como se observa en este acápite se analizaron los datos levantados en los seis puntos de monitoreo con sensor, sitios en los cuales de manera simultánea se levantaron datos con el sonómetro. Los datos de ruido obtenidos con los dos equipos están sobre los límites establecidos en la norma ambiental (Ministerio de Ambiente, 2019).

Adicionalmente entre los datos levantados se pueden observar que existen diferencias en todos los puntos de monitoreo. Entre las causas de la diferencia, se pueden mencionar: El filtro de ponderación en el que mide el sensor es "A", en tanto que con el sonómetro es A/C; el rango óptimo de medición del sensor es "50 dB – 100 dB", el sonómetro, al estar configurado simultáneamente en ponderación

A/C, cuenta con un rango mayor de medición que le permite percibir frecuencias bajas y altas (Salgado y Carranco, 2017).

Otro elemento analizado es la altura de toma de datos, los sensores fueron ubicados en los postes en donde se cumplían las condiciones logísticas necesarias; pero la altura de colocación depende de la ubicación en la cual están las cámaras de vigilancia del ECU 911.

La altura aproximada fue de 4 m sobre el nivel del piso y cada sensor se ubicó en distinta altura, razón por la cual imposibilita establecer una correlación que permita una generalización de comportamiento. Según los resultados obtenidos los valores captados por los sensores son menores a los del sonómetro, debido a la diferencia de altura de captación del dato, ya que el sonómetro monitorea el ruido a 1,80 m. sobre el nivel de piso y los sensores están sobre los 4m del nivel del piso.

Otras experiencias como en Quito que cuenta con un mapa de ruido para el día y otro para la noche (Bravo Moncayo, 2019). Para la toma de datos la ciudad ha sido dividida por sectores (32), identificando información como: nombre del sector, emisiones sonoras (dB), población potencial y altamente molesta. Para determinar la contaminación acústica utilizan el software CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) que modela el ruido en función del tráfico vehicular y las características viales como ancho de carriles, capa de rodadura,

velocidad de circulación, IMD, etc. De manera aleatoria realizan la validación de datos con el uso de un sonómetro calibrado (Bravo Moncayo, 2019).

61,90 dB en el sector El Condado; hasta 72,70 dB en el Centro Histórico, durante el día; y, por la noche los valores disminuyen a 54,80 dB en el sector El Condado y hasta 67,40 dB en el sector La Libertad (Bravo Moncayo, 2019).

Los resultados muestran niveles de ruido entre

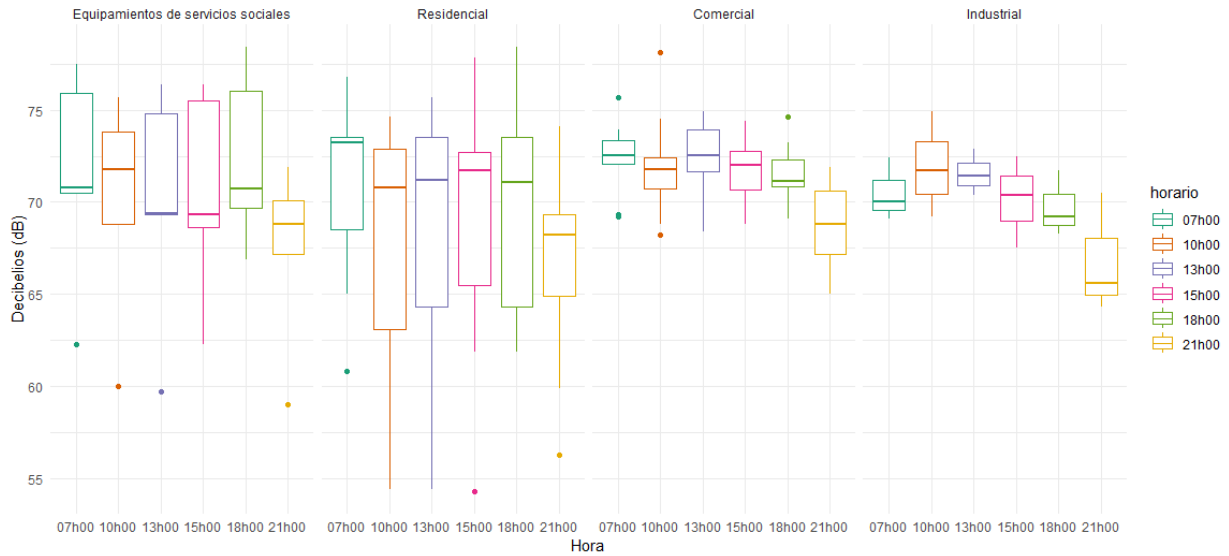


Figura 5. Gráfico de la medición de ruido con sonómetro, clasificado por uso del suelo de Cuenca, 2019.

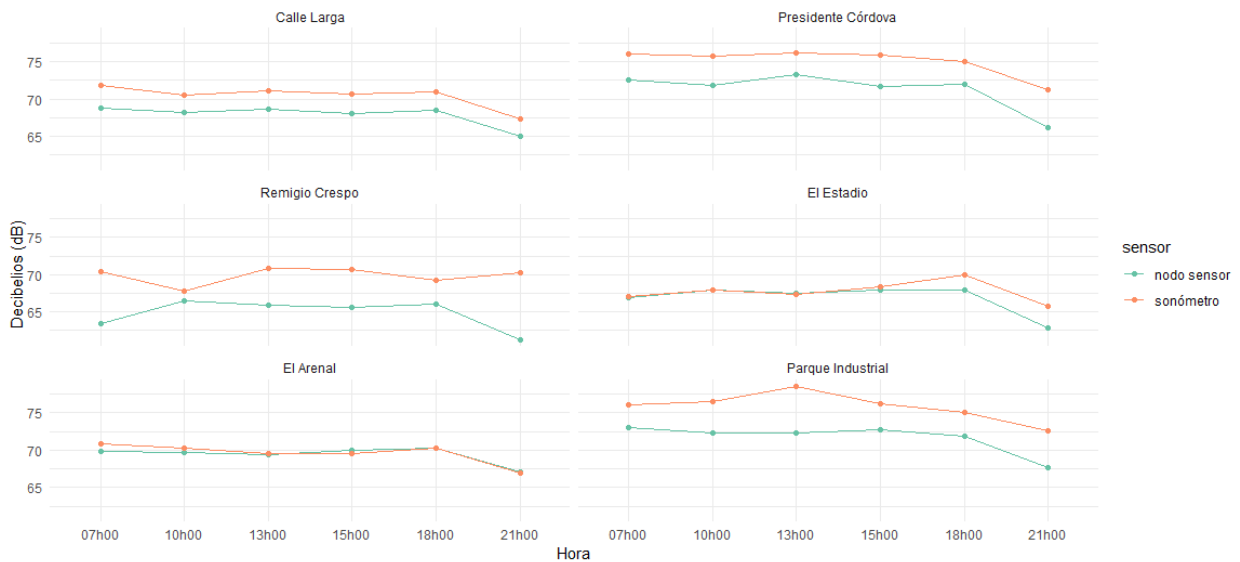


Figura 6. Comparación de las emisiones realizadas con sensor y sonómetro.

El ruido en el Centro Histórico de Cuenca ha sido estudiado por la Universidad Politécnica Salesiana (Armijos-Arcos, 2018), específicamente en un área de 250 m. alrededor de un punto de monitoreo ubicado en las calles Gran Colombia y Tarqui. A través de la utilización del modelo de predicción - propagación "HARMONOISE P2P" elaboran un mapa del ruido generado por el tráfico vehicular, utilizan un sonómetro para validar los datos.

Con el modelo de predicción obtienen un promedio de 68,58 dB, con el sonómetro el valor es 71,84 dB la diferencia es de -3,26 dB, concluyen que el modelo de propagación es adecuado (Armijos-Arcos, 2018). Guayaquil monitorea el ruido utilizando un sonómetro que monitorea 52 puntos preestablecidos en función del tráfico de los vehículos, en períodos de 12 min. Los valores obtenidos están sobre los 70 dB (IDYC, 2016).

Tabla 6. Correlación de los datos.

Índices de desempeño		Comparación entre sonómetro y sensor					
Índice	Símbolo	Calle Larga	Presidente Córdova	Remigio Crespo	Estadio Serrano Aguilar	El Arenal	Parque Industrial
Error cuadrático medio	RMSE	2,54	3,84	5,65	1,47	0,5	4,34
Desviación estándar	rSD	0,93	1,36	1,74	1,42	0,85	1,03
Coefficiente de correlación de Pearson (-1<= r<=1)	r	0,99 (valor-p = 0,0003)	0,98 (valor-p = 0,0008)	-0,41 (valor-p = 0,6034)	0,77 (valor-p = 0,0724)	0,93 (valor-p = 0,0064)	0,8 (valor-p = 0,0571)
Coefficiente de correlación de Spearman (-1<= rho<=1)	rho	0,94 (valor-p = 0,0167)	0,77 (valor-p = 0,1028)	-0,43 (valor-p = 0,4194)	0,81 (valor-p = 0,04989)	0,46 (valor-p = 0,3542)	0,46 (valor-p = 0,3542)
Coefficiente de determinación (0 <= R2 <= 1)	R2	0,97	0,95	0,17	0,6	0,87	0,64
Coefficiente de regresión (0 <= bR2 <= 1)	bR2	0,94	0,91	0,15	0,59	0,87	0,6

4 Conclusiones

La metodología planteada permitió contar con un conjunto de puntos de monitoreo de ruido distribuidos en la ciudad y al tomar como criterio para su ubicación la densidad de tránsito vehicular, los datos levantados presentan mayor intensidad acústica siendo los más desfavorables para la población. El período de levantamiento de emisiones sonoras por 15 minutos permitió cumplir con el método de muestreo vigente en la ley (Ministerio de Ambiente, 2019) y establecer un diagnóstico.

Las emisiones medidas con sonómetro en los 31 puntos están sobre la norma ambiental, se explica porque el monitoreo fue en sitios con alta intensidad de circulación vehicular y no al interior de las edificaciones. Los datos obtenidos en seis sitios de monitoreo simultáneo con sensor y sonómetro incumplen también el TULSMA, en este caso los puntos fueron escogidos en función de las denuncias de molestias por ruidos excesivos y periódicos.

Otras experiencias en ciudades como Quito y Guayaquil muestran resultados de emisiones similares a los obtenidos en Cuenca y sobrepasan los límites de la norma legal. Es de resaltar el uso del sonómetro calibrado porque es un referente para mediciones realizadas con otros dispositivos o herramientas ya sean de simulación, predicción o nodos sensores que han requerido validación de manera aleatoria.

Los datos que se levantaron con sensor y sonómetro de manera simultánea en los sectores: Calle Larga, Presidente Córdova, Estadio Serrano Aguilar, Mercado El Arenal y Parque Industrial, guardan una correlación entre (0,81 a 0,99) y en el sector Av. Remigio Crespo Toral se obtuvo (- 0,41) por error en la medición del nodo sensor, dificultando la determinación de un factor de corrección entre dicho sensor y sonómetro para este punto. Sin embargo, es importante presentar este resultado ya que evidencia un riesgo que se puede tener al usar nodos sensores. Adicionalmente se calcularon los coeficientes de determinación (R2) y de regresión (bR2)

cuyos resultados ratifican la alteración de los datos captados con el sensor (SCP-06). Para monitoreos posteriores se deberá revisar la existencia de anomalías en el equipo o factores como la presencia de campos magnéticos o un transformador eléctrico que perturbe el normal funcionamiento del sensor.

Para el análisis de los datos de ruido se utilizó el Nivel equivalente continuo (Leq) captado en los distintos horarios, el (Leq) programado del sensor fue aritmético y en banda (A) y del sonómetro el promedio es logarítmico y en banda (A/C), factores que influyeron en los resultados obtenidos.

Contribución de los autores

J.M.G.: Conceptualización, análisis formal, metodología, administración de proyectos, supervisión, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición; O.D.I.: Conceptualización, metodología, validación; I.V.G.: Curación de datos, análisis formal, investigación; D.E.S.: Curación de datos, Software, investigación; F.S.C.: Análisis formal.

Referencias







- Aagesen, H. (2002). «Índices basados en Leq». En: *Jornadas internacionales sobre contaminación acústica*.
- Akyildiz, I. y M. Vuran (2010). *Wireless Sensor Networks*. Vol. 4. John Wiley y Sons.
- Alfie, M. y O. Salinas (2017). «Noise in the city. Acoustic pollution and the walkable city». En: *Estudios demográficos y urbanos* 32.1, 65-96. Online: <https://bit.ly/3RhuhYY>.
- Armijos-Arcos, F. (2018). «Predicción de ruido por tráfico vehicular y elaboración del mapa de ruido utilizando el modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca». Tesis de maestría. Universidad Politécnica Salesiana.
- Asamblea Constituyente (2008). *Constitución de la República del Ecuador. Registro oficial 449*. Inf. téc. Asamblea Constituyente.
- Bañuelos Castañeda, M. (2005). «Análisis de los niveles de ruido ambiental por tráfico vehicular en puntos críticos de la Zona Metropolitana de Guadalajara y actualización del mapa de ruido». Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara.
- Basner, M. y col. (2014). «Auditory and non-auditory effects of noise on health». En: *The lancet* 383.9925, 1325-1332. Online: <https://bit.ly/3dALjmQ>.
- Berlung, B., T. Lindvall y D. Schwela (1999). *Guías para el ruido urbano*. Inf. téc. OMS.
- Bravo Moncayo, L. (2019). *Investigadores de la UDLA publican el primer mapa de ruido de Quito*.
- Burneo, A. (2007a). «Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador». En: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cap. El ruido, un criminal sigiloso, págs. 30-38.
- (2007b). «Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador». En: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cap. Ruido y contaminación ambiental en Quito.
- Cuenca, M. Quiñones y col. (2017). «Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas». En: *Enfoque UTE* 8.1. Online: <https://bit.ly/4cEjDXe>, 329-343.
- Daiber, A. y col. (2019). «Environmental noise induces the release of stress hormones and inflammatory signaling molecules leading to oxidative stress and vascular dysfunction-Signatures of the internal exposome». En: *Biofactors* 45.4, 495-506. Online: <https://bit.ly/3r1s3Sv>.
- Fiedler, P. y P. Zannin (2015). «Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs-Noise maps and measurements». En: *Environmental Impact Assessment Review* 51, 1-9. Online: <https://bit.ly/3RbdmXE>.
- García, B. y F. Garrido (2003). *La contaminación acústica en nuestras ciudades*. Fundación La Caixa.
- Gómez, D. y T. Vallarino (2010). *Evaluación de impacto ambiental*. M. Prensa.
- Grass, Y. y col. (2017). «Noise in the stomatological working environment». En: *MediSan* 21.05, 527-533. Online: <https://bit.ly/3r2Yikp>.
- IDYC (2016). *Análisis de la situación actual de ruido*. Inf. téc. Guayaquil - Ecuador: IDYC.
- INEC (2010). *Censo de población y vivienda*.
- Laforga, P. (2000). «Conceptos físicos de las ondas sonoras». En: *Física y Sociedad* 11. Online: <https://bit.ly/3C5VdGz>.
- Lin, Chih-Kuang y col. (2011). «A Distributed and Scalable Time Slot Allocation Protocol for Wireless Sensor Networks». En: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 10.4. Online: <https://bit.ly/3zsGkPz>, págs. 505-518.
- Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. Elsevier.

- Ministerio de Ambiente (2019). *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. Ecuador*. Inf. téc. MAE.
- Moraga, P. y col. (2017). «Sonidos naturales y entorno urbano. ¿Son compatibles?» En: *ACOUSTICS 48o CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA*, págs. 446-455.
- Nazneen, S., A. Raza y S. Khan (2020). «Assessment of noise pollution and associated subjective health complaints and psychological symptoms: analysis through structure equation model». En: *Environmental Science and Pollution Research* 27.17, 21570-21580. Online:<https://bit.ly/3Se3vle>.
- Robles, A. y E. Arias (2015). *Metodologías de Evaluación: Exposición Ocupacional a Ruido y casos de análisis en agentes ambientales físicos; módulo exposición ocupacional a ruido*. Inf. téc. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
- Rodríguez, F. (2015). «Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la Ciudad de México». En: *Razón y Palabra* 19.91. Online:<https://bit.ly/3dABLbL>.
- Romo Orozco, J. M. y A. Gómez Sánchez (2013). «Ordenamiento territorial y participación social». En: Instituto Nacional de Ecología. Cap. La percepción social del ruido como contaminante, págs. 271-293.
- Salgado, F. y S. Carranco (2017). «Sistema de monitoreo de calidad del aire y ruido ambiental para la determinación de índices de contaminación basado en redes inalámbricas de sensores». Tesis de pregrado. Universidad del Azuay.
- UNRN (2010). *Laboratorio de Informática Aplicada de la Universidad Nacional de Río Negro*. Inf. téc. Universidad Nacional de Río Negro, Argentina.
- Zamorano, B. y col. (2015). «Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros». En: *Acta universitaria* 25.5, 20-27. Online:<https://bit.ly/3SiBgIK>.



IMPACTO EN LA INCORPORACIÓN DE METALES EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y ANTIMICROBIANAS EN PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN DE ARRURRUZ

IMPACT ON THE INCORPORATION OF METALS IN PHYSICOCHEMICAL AND ANTIMICROBIAL PROPERTIES IN FILMS BASED ON ARROWROOT STARCH

Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho*^{1,2} , Carlos Frederico de Souza Castro² , Rogério Favareto³ , Matheus Vinicius Abadia Ventura⁴ , Marconi Batista Teixeira¹  y Frederico Antônio Loureiro Soares¹ 

¹Laboratory of Irrigation and Hydraulics and Technological Chemistry, Goiano Federal Institute, Zip Code 75901-970, Rio Verde, Goiás, Brazil.

²Technological Chemistry Laboratory, Goiano Federal Institute, Zip Code 75901-970, Rio Verde, Goiás, Brazil.

³Transport Phenomena Laboratory, Goiano Federal Institute, Zip Code 75901-970, Rio Verde, Goiás, Brazil.

⁴Agricultural Microbiology Laboratory, Goiano Federal Institute, Zip Code 75901-970, Rio Verde, Goiás, Brazil.

*Autor para correspondencia: antonio.menezes@estudante.ifgoiano.edu.br

Manuscrito recibido el 26 de junio de 2023. Aceptado, tras revisión, el 10 de noviembre de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

Se han desarrollado nuevos embalajes biodegradables de fuentes renovables principalmente de origen vegetal. El almidón de arrurruz se ha usado en la producción de películas biodegradables de alta calidad, capaces de tener un buen comportamiento al incorporar aceites, extractos, metales y nanocompuestos metálicos. El estudio tiene como objetivo verificar el impacto de la incorporación de metales en las formas de sulfato y cloruro en una matriz biopolimérica de almidón de arrurruz en términos de biodegradabilidad, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se produjeron diferentes películas de arrurruz con soluciones a una concentración de 1 Mol L⁻¹ de metales sulfato y cloruro. La acción de biodegradabilidad en el suelo, transmitancia UV y luz visible se observó en espectrofotometría UV-Vis, y acción antimicrobiana sobre *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella serovar Typhimurium* y *Salmonella serovar Enteritidis*. Se obtuvieron buenos resultados, como tiempo de biodegradabilidad entre 81,70 a 100% (30 días), baja tasa de transmisión de radiación UV y luz visible entre 250 a 890 nm, alta capacidad de inhibición bacteriana entre 22,08 a 10,05 mm para *E. coli*, entre 25,59 a 11,10 mm para *S. aureus*, entre 22,14 a 11,66 mm para *S. serovar Typhimurium* y entre 21,11 a 8,26 mm para *S. serovar Enteritidis*. Se concluye que las películas biodegradables de almidón de arrurruz incorporadas con metales mostraron potencial en todas las pruebas evaluadas, caracterizando así posibles nuevos productos para diferentes usos, tales como bajo tiempo disponible en el ambiente, preservación de las características de productos especiales y capacidad antimicrobiana.

Palabras clave: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Enterococcus*, Embalaje biodegradable, Actividad antibacteriana.

Abstract

New biodegradable packaging has been developed from renewable sources, mainly of vegetable origin. Arrowroot starch has been recently used to produce high-quality biodegradable films capable of behaving well when incorporating oils, extracts, metal, and metal nanocomposites. The study aimed to verify the impact of incorporating metals in the sulfate and chloride forms in a biopolymeric matrix from arrowroot starch in terms of biodegradability, physicochemical and microbiological parameters. Different arrowroot films were produced to incorporate solutions with a concentration of 1 Mol L⁻¹ of sulfate and chloride metals. The action of biodegradability in soil, UV transmittance, and visible light were observed in UV-Vis spectrophotometry and antimicrobial action on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella serovar Typhimurium*, and *Salmonella serovar Enteritidis*. Good results were obtained, such as biodegradability time between 81.70 to 100% (30 days), a low transmission rate of UV radiation and visible light between 250 to 890 nm, high capacity for bacterial inhibition between 22.08 to 10.05 mm for *E. coli*, among 25.59 to 11.10 mm for *S. aureus*, between 22.14 to 11.66 mm for *S. serovar Typhimurium* and between 21.11 to 8.26 mm for *S. serovar Enteritidis*. It is concluded that the biodegradable films of arrowroot starch incorporated with metals showed potential in all the evaluated tests, thus characterizing possible new products for different uses, such as low time available in the environment, preservation of the characteristics of special products, and antimicrobial capacity.

Keywords: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Enterococcus*, Biodegradable packaging, Antimicrobial activity.

Forma sugerida de citar: Pereira de Menezes, A.C., De Souza Castro, C.F., Favareto, R., Abadia Ventura, M. V., Teixeira, M.B. y Loureiro Soares, F.A. (2024). Impacto en la incorporación de metales en las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas en películas a base de almidón de arrurruz. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):92-99. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.06>.

IDs Orcid:

Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho: <https://orcid.org/0000-0003-3443-4205>

Carlos Frederico de Souza Castro: <https://orcid.org/0000-0002-9273-7266>

Rogério Favareto: <https://orcid.org/0000-0001-5293-0451>

Matheus Vinicius Abadia Ventura: <https://orcid.org/0000-0001-9114-121X>

Marconi Batista Teixeira: <https://orcid.org/0000-0002-0152-256X>

Frederico Antônio Loureiro Soares: <https://orcid.org/0000-0002-4152-5087>

1 Introducción

Los primeros envases del mercado se fabricaron con polímeros sintéticos de aceite procesado. Actualmente, existe una gran variedad de envases para diferentes fines, aunque su uso está destinado a preservar el producto durante el transporte, el almacenamiento y la protección contra golpes con el fin de lograr la viabilidad del uso del producto por parte del consumidor (Kubowicz y Booth, 2017; Santos y col., 2021).

El uso indiscriminado de plásticos con un tiempo de degradación prolongado, que puede alcanzar los 500 años, presenta graves problemas ambientales y de salud. Los polímeros plásticos sufren abrasión con el tiempo, formando microplásticos que son absorbidos en el proceso de alimentación de los animales marinos y el hombre (Sobral, Frias y Martins, 2011; Olivatto y col., 2018; Haider y col., 2019).

Muchos países han estado promoviendo el desarrollo de medios capaces de mitigar este escenario catastrófico provocado por el exceso de envases de plástico. Varios investigadores enfocados en la ecología y cambio ambiental han estado desarrollando nuevos polímeros biodegradables a partir de fuentes naturales renovables como el almidón, las grasas, el quitosano y la metilcelulosa (Brito y col., 2011). Según Cheviron, Gouanvé y Espuche (2014) y Farias y col. (2016), las fuentes renovables de polímeros son una alternativa para mantener el desarrollo sostenible de la tecnología, de tal forma que sea económica y ecológicamente atractiva. Los polímeros naturales tienen características biológicas, fisicoquímicas, mecánicas y morfológicas comparables a los polímeros sintéticos (Pitt, Boing y Barros, 2011; Akter y col., 2012).

Una rama de esta área de polímeros naturales se concentra en la incorporación de metales, nanocompuestos, extractos de plantas, aceites fijos y esenciales capaces de promover numerosas funciones activas e inteligentes a estos polímeros biodegradables. Varios estudios evalúan la biodegradabilidad estructural del polímero natural con materiales incorporados, comprobando su capacidad armónica para promover un producto resistente capaz de ser utilizado en diferentes procesos de la cadena productiva (Gómez-Estaca y col., 2010; Nor Adilah y col., 2018; Youssef y col., 2019).

Se han probado varios envases biodegradables con resultados positivos a partir del almidón de diferentes fuentes vegetales como el arrurruz. La *Maranta arundinacea* (arrurruz) pertenece a la familia de las Marantaceae, que cuenta con rizomas ricos en

almidón (>85%), y características específicas que son diferentes a otras fuentes de almidones naturales y que se utilizan con fines terapéuticos (Madineni y col., 2012). Varios estudios evalúan esta nueva fuente de almidón natural capaz de promover el desarrollo de películas biodegradables de alta calidad, además de proporcionar estabilidad de soporte de interacción, como por ejemplo con soluciones metálicas (Yin y col., 2009; Cruz y col., 2020; Nogueira, Fakhouri y Oliveira, 2018; Valadares y col., 2020).

Varios metales en forma de sulfatos, cloruros o nanocompuestos tienen características estructurales con una actividad potencial como agente antibacteriano. En sí mismo, el biopolímero de almidón de arrurruz no inhibe el desarrollo de bacterias por ser una fuente de hidratos de carbono, pero cuando se incorpora con metales que presentan esta acción las películas promueven una acción activa en la conservación del producto, tales como en los alimentos (Cruz y col., 2020; Shafiei Shafiei y col., 2021).

De esta forma, el objetivo de este estudio es producir películas biodegradables a partir de almidón de arrurruz mezclado con metales (sulfatos y cloruros), con el fin de verificar el impacto de estos metales en algunas características como el tiempo de biodegradabilidad, la transmisión de la radiación UV, la luz visible, y la aptitud como fuente antibacteriana.

2 Materiales y métodos

2.1 Producción de películas biodegradables mezclada con metales

Las películas biodegradables mezcladas con metales se obtuvieron utilizando la técnica de Casting descrita y modificada por Issa, Ibrahim y Tahergorabi (2017). Para la producción de todas las películas se utilizaron 5 g de almidón de arrurruz comercial disuelto en 100 mL de agua destilada. A continuación, se agitó moderadamente la solución formadora de la película a una temperatura ambiente de 25°C durante 5 min. Luego, la solución se calentó a 70 °C, con agitación mecánica constante durante 30 min. Tras la gelatinización del almidón, se añadió glicerol como plastificante al 30% (p/p), y se volvió a agitar la emulsión durante otros 10 min. Cuando las emulsiones alcanzaron los 30°C, se mezclaron con diferentes soluciones metálicas como se describe en la Tabla 1. Todas las soluciones se vertieron sobre placas de poliestireno y se secaron en una estufa de circulación de aire a 35°C durante 48 h.

Tabla 1. Fórmulas (películas) de almidón de arrurruz en diferentes soluciones de metales.

Películas	Metales
1 control	5 g almidón + 1.5 g glicerol
2	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Sulfato de Hierro II 1 Mol L ⁻¹
3	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Sulfato de Níquel 1 Mol L ⁻¹
4	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Sulfato de Manganeso 1 Mol L ⁻¹
5	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Cloruro de Cobalto 1 Mol L ⁻¹
6	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Cloruro de Hierro II 1 Mol L ⁻¹
7	5 g almidón + 1.5 g glicerol + 1000 μ L Cloruro de Cobre II 1 Mol L ⁻¹

2.2 Determinación del tiempo de biodegradabilidad y de la transmisión de la luz

La biodegradabilidad se llevó a cabo mediante la metodología descrita por Martucci y Ruseckaitė (2009), con modificaciones. Las muestras de películas ($2 \times 2 \text{ cm}^2$) se secaron hasta determinar el peso constante (Mi). A continuación, las muestras se colocaron en envases abiertos de polietileno para que los microorganismos y la humedad pudieran acceder al 40%. Después, se enterraron en el suelo a humedad constante, temperatura ambiente, y luminosidad natural. Luego de tres, diez, quince y treinta días de instalado el experimento, el embalaje artificial con las muestras se retiró del suelo, se lavó con agua destilada y se secó hasta obtener un peso constante (Mf). El tiempo de biodegradabilidad se calculó usando la ecuación [1]. La transmisión de la luz ultravioleta-visible (UV-Vis) de las muestras se colocó en una cubeta de cuarzo y se midió la transmitancia a longitudes de onda que oscilaban entre 900-200 nm, de acuerdo con Santos y col. (2021).

$$\text{Bio}(\%) = (Mf - Mi) / Mi * 100 \quad (1)$$

2.3 Actividad antibacteriana

El ensayo antibacteriano se evaluó *in vitro* usando cuatro bacterias *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella serovar Thyphimurium* (ATCC 14028) y *Salmonella serovar Enteritidis* (ATCC 13076) adquiridas comercialmente y preservadas en el banco bacteriológico del primer autor. Brevemente, se cultivaron 150 μL de cultivo bacteriano 1×10^4 células

mL^{-1} en placas de Petri con agar tripton dextrosa (DTA) y 150 μL de suspensión de esporas 1×10^8 UFC mL^{-1} en placas de Petri con agar recuento de plantas (PCA). A continuación, las láminas se colocaron (7 mm de diámetro) en la superficie del agar y se incubaron a 36°C durante 36 h. Se midió el diámetro de la zona de inhibición con un calibre digital. Como control positivo, se utilizaron discos de azitromicina (disco de 15 μg) y cefalexina (disco de 30 μg) y como control negativo los discos de películas de almidón. El diámetro mínimo aceptable fue de 5 mm. El ensayo se realizó por triplicado según lo descrito por Valadares y col. (2020).

2.4 Análisis estadístico

El programa estadístico utilizado fue PAST 3 (versión 2019). Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA), y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

3 Resultados

Las películas biodegradables a partir de biopolímeros como el arrurruz mostraron una alta tasa de biodegradabilidad *in vitro*, como se observa en la Figura 1. Se observaron diferencias estadísticas en las películas mezcladas en comparación con el estándar, excepto en las películas mezcladas con sulfato de hierro II = 94%, sulfato de manganeso = 94%, cloruro de hierro II = 93%, y cloruro de cobre II = 91%.

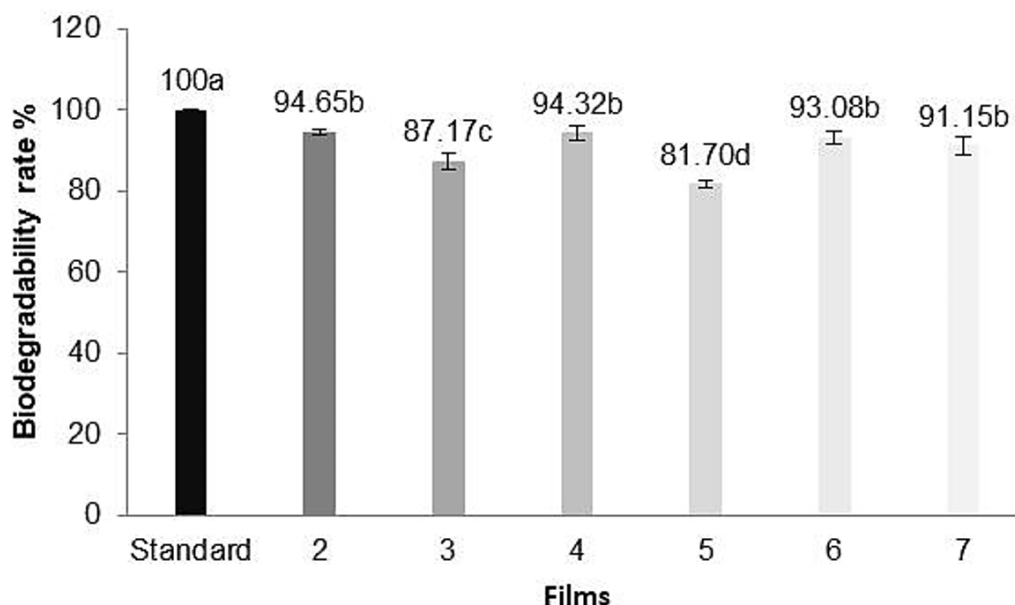


Figura 1. Tiempo de biodegradabilidad de las películas de almidón de arrurruz mezcladas con metales. 1. Estándar, 2. Sulfato de hierro II, 3. Sulfato de níquel, 4. Sulfato de manganeso, 5. Cloruro de cobalto, 6. Cloruro de hierro II, 7. Cloruro de cobre II. Letras iguales entre las medias de cada película biodegradable mezclada con metales no muestran una diferencia significativa usando la prueba de Tukey 5%.

La Figura 2 muestra siete imágenes fotográficas de películas producidas con almidón de arrurruz mezclado con metales: (A) Película estándar, (B) Película de sulfato de hierro II, (C) Película de sulfato de níquel, (D) Película de sulfato de manganeso, (E) Película de cloruro de cobalto, (F) Película de cloruro de hierro II y (G) Cloruro de cobre II.

En cuanto a los colores de las películas, los resultados muestran una disminución de las tasas de transmisión de luz en las películas que mezclan diferentes metales en la región visible (de 250 a 890 nm). La máxima tasa de transmisión de luz para la película estándar fue de 69,36 T%, en la película de sulfato de hierro II fue de 68,22 T%, en la película de sulfato de níquel fue de 59,10 T%, en la película de sulfato de manganeso fue de 30,85 T%, en la película de cloruro de cobalto fue de 65,68 y 17,45 T%, en la película de cloruro de hierro II fue de 78,82 T% y en la película de cloruro de cobre II fue de 62,94 T% (Figura 3).

La actividad antibacteriana en todas las películas mezcladas

con metales muestra una actividad inhibitoria potencial en comparación con los antibióticos de referencia Azitromicina y Cefalexina (Tabla 1). Se observó una diferencia estadística del 5% en *E. coli* según la prueba de Tukey para todas las películas metálicas, excepto en la película de sulfato de níquel y cloruro de cobalto, ambas con un área de inhibición = 22 mm, y sulfato de manganeso = 10 mm, y cloruro de hierro II = 13 mm. En *S. aureus* se observó una diferencia del 5% sólo para las películas de cloruro de cobalto = 25 mm, y el cloruro de hierro II = 13 mm de acuerdo con la prueba de Tukey. *S. serovar Typhimurium* mostró una diferencia estadística de 5% según la prueba de Tukey en las películas metálicas mezcladas con sulfato de manganeso = 14 mm, y cloruro de cobalto = 22 mm. De igual forma, se observó una diferencia significativa en *S. serovar Enteritidis* según la prueba de Tukey al 5% para las películas mezcladas con sulfato de manganeso = 8 mm, cloruro de hierro II = 15 mm, y cloruro de cobre II = 19 mm. Las películas de control no mostraron ninguna actividad inhibitoria en las cepas bacterianas evaluadas.

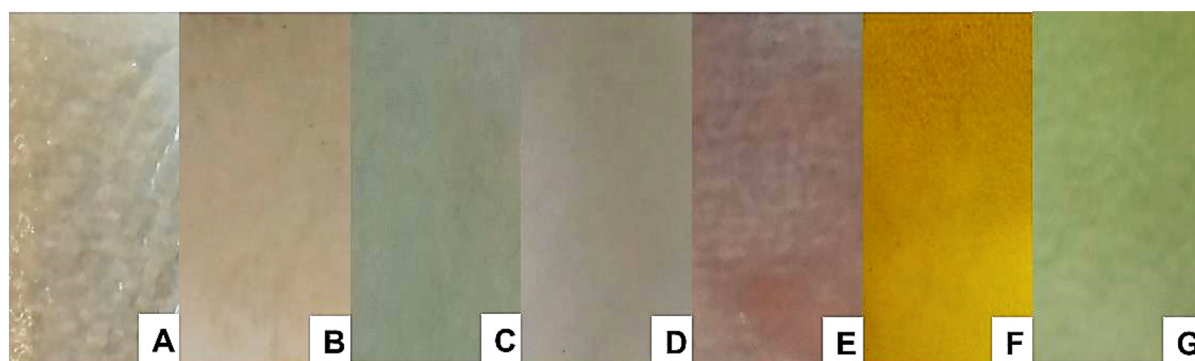


Figura 2. (A) Película estándar, (B) Película de sulfato de hierro II, (C) Película de sulfato de níquel, (D) Película de sulfato de manganeso, (E) Película de cloruro de cobalto, (F) Película de cloruro de hierro II y (G) Cloruro de cobre II.

Tabla 2. Actividad antibacteriana de las películas biodegradables de arrurruz mezcladas con diferentes metales.

Películas	Área de inhibición (mm)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>S. serovar Typhimurium</i>	<i>S. serovar Enteritidis</i>
1 Control	0,00±0,00f	0,00±0,00e	0,00±0,00f	0,00±0,00g
2	19,35±0,012c	20,11±0,19b	17,03±0,21c	21,11±0,06b
3	22,06±0,09b	20,35±0,10b	18,12±0,33c	13,67±0,17ed
4	10,05±0,21e	11,10±0,30dc	14,82±0,05d	8,26±0,66f
5	22,08±1,12b	25,59±0,08a	22,14±0,94b	21,02±1,66b
6	13,07±0,08e	13,90±1,14c	11,66±0,05de	15,09±0,96d
7	17,33±0,67d	20,15±1,02b	16,55±0,18c	19,13±0,27c
Referencias antibacteriales^{a/b}	27,60±0,17^ba	23,68±0,06^ab	28,12±0,11^aa	28,36±0,83^aa

1. Película estándar, 2. Película de sulfato de hierro II, 3. Película de sulfato de níquel, 4. Película de sulfato de manganeso, 5. Película de cloruro de cobalto, 6. Película de cloruro de hierro II y 7. Cloruro de cobre II.

^aCefalexina y ^bAzitromicina.

Las letras minúsculas iguales en la misma columna no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p < 0,05$); letras mayúsculas iguales en la misma línea no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey 5%.

4 Discusión

El uso de metales en una matriz polimérica biodegradable presenta resultados satisfactorios de biodegradabilidad y de aspectos morfológicos visuales y ultraestructurales tanto mecánicos como térmicos. El almidón presentó buena aptitud durante la incorporación de metales en forma de sulfatos y cloruros, de igual forma mostró plasticidad con el glicerol. Se observa una buena interacción entre los componentes de la matriz, promoviendo películas resistentes y una interacción intermolecular específica. Aunque se trata de un estudio pionero y diferente al observado (que incluye nanocompuestos metálicos), resulta necesario evaluar esta interacción en otros ensayos.

Los ensayos evaluados en este estudio demostraron que el

almidón de arrurruz es un polímero biodegradable que se puede comparar con polímeros que han sido estudiados durante mucho tiempo. La biodegradabilidad es uno de los principales factores a la hora de elegir un biopolímero, debido a que a menor exposición en el medio ambiente, más atractivo será su fuente de producción. En este estudio, se observó que la mayoría de las películas de arrurruz mezcladas con metales tenían una alta tasa de biodegradación en el suelo (90%).

Todos los metales, excepto el sulfato de níquel y el cloruro de cobalto, no interfirieron negativamente durante la actividad microbiana natural. Aunque el objetivo de este estudio no era evaluar el comportamiento del metal respecto a su toxicidad en la microbiota, el análisis organoléptico visual fue satisfactorio.

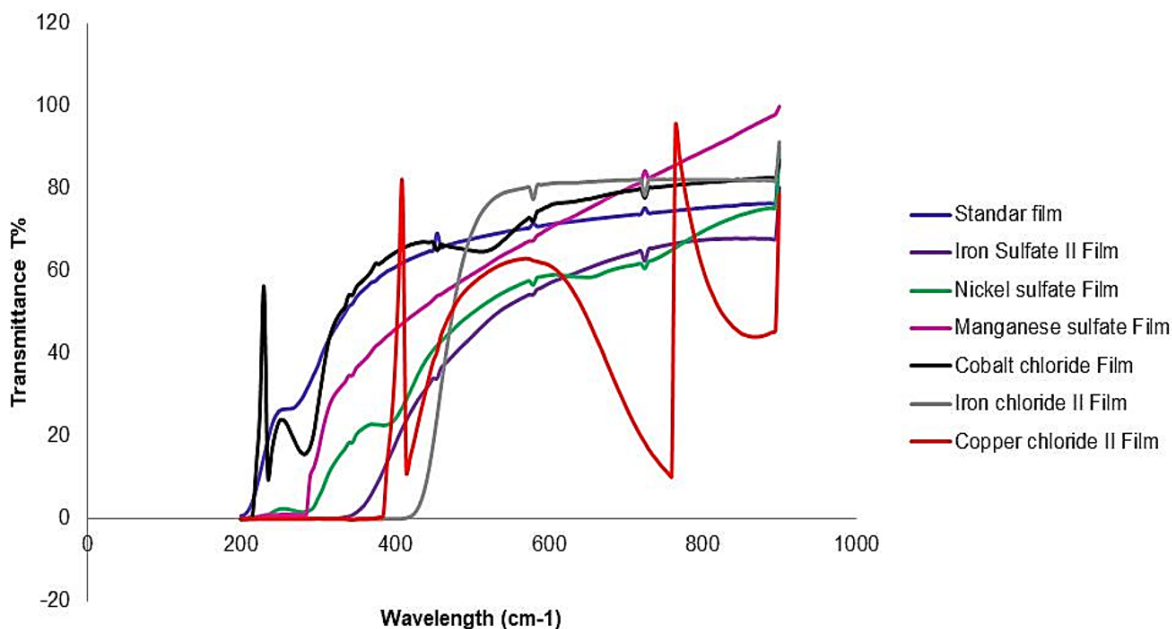


Figura 3. Tasa de transmisión de luz UV-Vis en películas de arrurruz que mezclan diferentes metales.

Por lo tanto, esta evaluación sirve para llevar a cabo futuros estudios y evaluar todos los metales, especialmente el Cobalto, en la bioacumulación de los organismos que viven en el suelo. Algunos metales forman parte del desarrollo de diversas formas de vida en el suelo, supliendo las necesidades a lo largo del proceso de desarrollo. Sin embargo, algunos metales tienen un grado de toxicidad en algunos grupos de microorganismos. Saral Sarojini, Indumathi y Rajarajeswari (2019) obtuvieron un tiempo variable durante la prueba de biodegradabilidad de películas a base de quitosano con nanopartículas de óxido de zinc (Zn-NP), aunque todas las películas tuvieron una buena tasa de degradabilidad de 28 días con una mediana máxima del 95%.

La transmisión de los rayos ultravioleta y de la luz visible influye negativamente en los productos, especialmente en los alimentos y en las soluciones fotosensibles. La acción provocada por la luz visible y ultravioleta puede causar la oxidación de los

lípidos en los alimentos con alto contenido de grasa, como la carne (Hosseini y col., 2015; Fathi, Almasi y Pirouzifard, 2018). Los envases biodegradables mezclados con metales tienen una baja tasa de transmisión o absorción de luz UV y visible, favoreciendo así el mantenimiento del producto a almacenar sin modificar sus características. Las películas incorporadas con metales presentadas en este estudio demostraron ser alternativas viables para el mantenimiento de diversos productos, observando el metal deseado y, por supuesto, su concentración para un uso determinado. Todas las películas incorporadas promovieron la baja transmisión de la luz UV y visible.

Varios estudios utilizaron biopolímeros mezclados con metales, como Pagno y col. (2015), quienes evaluaron la tasa de transmisión de la radiación UV en películas biodegradables de almidón de quinoa mezcladas con nanocompuestos (NPs) de oro (Au), y obtuvieron una alta tasa de absorción de la radiación.

Hasheniny et al. (2018) usaron carboximetilcelulosa con NPs de óxido de cobre (CuO). Las altas concentraciones de NPs de CuO dieron lugar a una disminución significativa de la transmisión de luz entre los rangos UV (200-400 nm) y visible (400-800 nm). De igual forma, Arfat y col. (2017) utilizaron gelatina de piel de pescado mezclada con NPs de Ag-Cu, donde a mayor concentración de NPs, menor es la tasa de transmisión de luz UV y visible. Las películas de sémola incorporadas con ZnO también mostraron una baja transmisión de luz UV y visible en el estudio de Jafarzadeh y col. (2017).

Los metales usados en la matriz de biopolímeros de arrurruz presentaron gran potencial en la capacidad de inhibición bacteriana en comparación con las bacterias grampositivas y gramnegativas, demostrando que son nuevas opciones para películas biodegradables activas con capacidad antimicrobiana. Muchos estudios con metales, sus cationes, aniones u óxidos incorporados en matrices poliméricas (fibras de gelatina/Ce3+) presentan una actividad de inhibición bacteriana para *S. aureus* y *E. coli* (Yin y col., 2009), preparadas a partir de TiO₂ mezclado con CeO₂, donde se observa el 95% de inhibición en bacterias reductoras de sulfato (Wang y col., 2010).

Las películas de carboximetilcelulosa con zeolita modificada que utilizan partículas de plata (Ag+) y oro (Au+3) presentaron efectos potenciales bacteriostáticos (*S. aureus* y *E. coli*) y fungistáticos (*Candida albicans* y *Aspergillus niger*) en el estudio de Youssef y col. (2019). Cruz y col. (2020) encontraron en dos complejos de Cobalto I/II una elevada actividad de inhibición para *E. coli* de 22,66 y 20,66 mm, respectivamente. Estos resultados son similares a los observados en este estudio para la película biodegradable que contiene cloruro de Cobalto en *E. coli*.

5 Conclusiones

Este estudio propone el desarrollo de seis nuevos envases biodegradables (films) mezclados con diferentes metales en forma de sulfatos o cloruros, incidiendo directamente en la biodegradabilidad, la transmisión de rayos UV y luz visible, pues funciona como un agente antibacteriano eficaz a partir del biopolímero del almidón de arrurruz, el cual posee características que permiten la mezcla de materiales sin perder la capacidad de formar una película activa resistente.

Los resultados obtenidos demuestran que las películas de arrurruz mezcladas con metales resultaron ser excelentes opciones, apuntando a un sistema ecológico complejo que alinea la biodegradabilidad con las características físico-químicas en la disminución de la tasa de transmisión de los rayos UV o de la luz visible, y también microbiológicas con el uso activo de productos capaces de actuar bajo la acción antibacteriana y/o bacteriostática.

Finalmente, este trabajo permite llevar a cabo nuevos ensayos *in vitro* evaluando el biopolímero mezclado con metales, obteniendo una evaluación en términos citotóxicos de la flora microbiana del suelo para evaluar la posible bioacumulación de estos metales en diferentes tipos de tejidos, órganos o incluso la absorción de aquellos con efecto de desarrollo y biotransformación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Federal de Goiano, Rio Verde, Goiás, Brasil; Laboratorio de Química Tecnológica; Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CNPq); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Financiamento de Estudos e Projetos (FINEP) por la infraestructura y apoyo financiero.

Contribución de los autores

A.C.P.M.F.: Conceptualización, tratamiento de datos, redacción de estudios, traducción, correcciones finales, correspondencia; M.V.A.V.: Análisis de datos, redacción, correcciones de traducción; R.F.: Provisión de materiales de estudio, reactivos, materiales, y desarrollo o diseño de metodología; M.B.T.: Preparación, creación y/o presentación del trabajo publicado; C.F.S.C.: Preparación, creación y/o presentación del trabajo publicado, y provisión de materiales de estudio y reactivos; F.A.L.S.: Preparación, creación y/o presentación del trabajo publicado, y provisión de materiales de estudio y reactivos.

Referencias

- Akter, N. y col. (2012). «Fabrication and mechanical characterization of biodegradable and synthetic polymeric films: Effect of gamma radiation». En: *Radiation Physics and Chemistry* 81.8, 995-998. Online: <https://n9.cl/zowbn>.
- Arfat, Y. A. y col. (2017). «Deciphering the potential of guar gum/Ag-Cu nanocomposite films as na active food packaging material». En: *Carbohydrate Polymers* 157, 65-71. Online: <https://bit.ly/4f5o8fw>.
- Brito, G. y col. (2011). «Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes». En: *Revista eletrônica de materiais e Processos* 6.2, 127-139. Online: <https://n9.cl/zdrtp>.
- Chevion, P., F. Gouanvé y E. Espuche (2014). «Green synthesis of colloid silver nanoparticles and resulting biodegradable starch/silver nanocomposites». En: *Carbohydrate polymers* 108, 291-298. Online: <https://n9.cl/kzlyo>.
- Cruz, T. y col. (2020). «Síntese e caracterização de complexos de cobalto (II) com ligantes orgânicos e avaliação antimicrobiana». En: *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria* 3.1, 177-190. Online: <https://n9.cl/b7bpx>.
- Farias, S. y col. (2016). «Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável». En: *Revista Geonorte* 7.26, 61-77. Online: <https://n9.cl/82q3d>.
- Fathi, N., H. Almasi y M. Pirouzifard (2018). «Effect of ultraviolet radiation on morphological and physicochemical properties of sesame protein isolate based edible films». En: *Food Hydrocolloids* 85, 136-143. Online: <https://n9.cl/40ie5>.
- Gómez-Estaca, J. y col. (2010). «Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation». En: *Food microbiology* 27.7, 889-896. Online: <https://n9.cl/5kolp>.
- Haider, T. y col. (2019). «Plastics of the future? The impact of biodegradable polymers on the environment and on society». En: *Angewandte Chemie International Edition* 58.1, 50-62. Online: <https://n9.cl/bizj0q>.
- Hosseini, S. y col. (2015). «Bio-based composite edible films containing Origanum vulgare L. essential oil». En: *Industrial Crops and products* 67, 403-413. Online: <https://n9.cl/trdap>.

- Issa, A., S. Ibrahim y R. Tahergorabi (2017). «Impact of sweet potato starch-based nanocomposite films activated with thyme essential oil on the shelf-life of baby spinach leaves». En: *Foods* 6.6, e43. Online: <https://n9.cl/hdi230>.
- Jafarzadeh, S. y col. (2017). «Fabrication and characterization of novel semolina-based antimicrobial films derived from the combination of ZnO nanorods and nanokaolin». En: *Journal of food science and technology* 54, 105-113. Online: <https://n9.cl/a6gdj>.
- Kubowicz, S. y A. Booth (2017). «Biodegradability of plastics: challenges and misconceptions». En: *Environmental Science and Technology* 51, 12058-12060. Online: <https://n9.cl/lxpq5>.
- Madineni, M. y col. (2012). «Morphological, structural, and functional properties of maranta (*Maranta arundinacea* L) starch». En: *Food Science and Biotechnology* 21, 747-752. Online: <https://n9.cl/g5r9a>.
- Martucci, J. F. y R. A. Ruseckaite (2009). «Tensile Properties, Barrier Properties, and Biodegradation in Soil of Compression—Molded Gelatin-Dialdehyde Starch Films». En: *Journal of Applied Polymer Science* 112.4, 2166-2178. Online: <https://bit.ly/3zAujYH>.
- Nogueira, G., F. Fakhouri y R. de Oliveira (2018). «Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) starch and its application in edible films». En: *Carbohydrate polymers* 186, 64-72. Online: <https://n9.cl/r8jgi>.
- Nor Adilah, A. y col. (2018). «Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging». En: *Food packaging and shelf life* 16, 1-7. Online: <https://n9.cl/2mr6d>.
- Olivatto, G. y col. (2018). «Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno». En: *Revista Virtual de Química* 10.6, 1968-1989. Online: <https://n9.cl/mdi0a>.
- Pagno, C. H. y col. (2015). «Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity». En: *Food Chemistry* 173, 755-76. Online: <https://bit.ly/3XUQByh>.
- Pitt, F., D. Boing y A. Barros (2011). «Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis». En: *Revista da UNIFEPE* 1. Online: <https://n9.cl/bcynx>.
- Santos, L. S. y col. (2021). «Ethanol extract from *Capsicum chinense* Jacq. ripe fruits: phenolic compounds, antioxidant activity and development of biodegradable films». En: *Food Science and Technology* 41.2, 497-504. Online: <https://bit.ly/3LfrJoj>.
- Saral Sarojini, K., M. Indumathi y G. Rajarajeswari (2019). «Mahua oil-based polyurethane/chitosan/nano ZnO composite films for biodegradable food packaging applications». En: *International journal of biological macromolecules* 124, 163-174. Online: <https://n9.cl/8ljno>.
- Shafiei Shafiei, S. y col. (2021). «Suppression of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* biofilm formation by *Acacia mangium* methanol leaf extract». En: *Brazilian Journal of Biology* 81.1, 11-17. Online: <https://n9.cl/q0mvb2>.
- Sobral, P., J. Frias y J. Martins (2011). «Microplásticos nos oceanos-um problema sem fim à vista». En: *Ecologia* 3, 12-21. Online: <https://n9.cl/7g4m9>.
- Valadares, A. y col. (2020). «Incorporation of essential oils from *Piper aduncum* into films made from arrowroot starch: effects on their physicochemical properties and antifungal activity». En: *Química Nova* 43.6, 729-737. Online: <https://n9.cl/3s78e1>.
- Wang, H. y col. (2010). «Preparation of cerium-doped TiO₂ film on 304 stainless steel and its bactericidal effect in the presence of sulfate-reducing bacteria (SRB)». En: *Materials chemistry and physics* 124.1, 791-794. Online: <https://n9.cl/w6v2b>.
- Yin, R. y col. (2009). «Preparation and characterization of novel gelatin/cerium (III) fiber with antibacterial activity». En: *Materials Letters* 63.15, 1335-1337. Online: <https://n9.cl/bq9es>.
- Youssef, H. y col. (2019). «Antimicrobial packaging film based on biodegradable CMC/PVA-zeolite doped with noble metal cations». En: *Food Packaging and Shelf Life* 22, 100378. Online: <https://n9.cl/gs7ep>.



EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL EXTRACTO ALCOHÓLICO DE *GYNOXYS CUICOCHENSIS* CUATREC: IDENTIFICACIÓN DE METABOLITOS Y EXPLORACIÓN DE SUS PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS

EVALUATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE ALCOHOLIC EXTRACT OF *GYNOXYS CUICOCHENSIS* CUATREC: IDENTIFICATION OF METABOLITES AND EXPLORATION OF THEIR PHARMACOLOGICAL PROPERTIES

Omar Malagón¹, Patricio Cartuche¹, Gianluca Gilardoni¹, Sandra Espinosa¹, Nixon Cumbicus² y Angel Montaña¹

¹Departamento de Química, Universidad Técnica Particular de Loja, Calle M. Champagnat s/n, 1101608, Loja Ecuador.

²Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Calle M. Champagnat s/n, 1101608, Loja Ecuador.

*Autor para correspondencia: aamontano1@utpl.edu.ec

Manuscrito recibido el 26 de junio de 2023. Aceptado, tras revisión, el 10 de noviembre de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

La especie *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec., es una Asterácea que habita el páramo de Fierro Urco de la provincia de Loja. Si bien no es utilizada dentro de la medicina tradicional, posee un alto valor paisajístico por su llamativa inflorescencia amarilla. Con el objetivo de conocer su composición química y posibles propiedades farmacológicas, se efectuó una caracterización fitoquímica del extracto etanólico de la planta, obtenido mediante maceración estática por el lapso de 3 días para la primera filtración, y un día para la segunda y tercera filtración. La clorofila fue separada utilizando una fase sólida de resina Diaon Hp 20, la misma que fue empacada en embudos de decantación, y una fase líquida de EtOH:H₂O en gradiente de concentración desde 6:4 hasta 9:1 para la elución. El extracto desclorofilado se liofilizó y posteriormente se fraccionó utilizando cromatografía en columna por gravedad. Las fracciones obtenidas fueron purificadas mediante microcolumna y cromatografía preparativa. Para elucidar la estructura química de las moléculas, se recurrió a la espectrometría de resonancia magnética nuclear y espectrometría de masas de ionización por electrospray. Como resultado, se aislaron dos metabolitos: el primero es un flavonoide glicosilado conocido como Nicotiflorina, mientras que el segundo es un derivado fenólico, denominado ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico que aún no cuenta con una descripción farmacológica precisa. Este descubrimiento representa un hallazgo interesante y único para esta especie en particular, lo que sugiere un posible uso medicinal.

Palabras clave: *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec, RMN, ESI, flavonoide, nicotiflorina, ácido feruloilquinico.

Abstract

Gynoxys cuicochensis Cuatrec., a member of the Asteraceae family, inhabits the Fierro Urco moor in the province of Loja. Despite not being used in traditional medicine, it possesses significant landscape value due to its striking yellow inflorescence. For investigating its chemical composition and potential pharmacological properties, a phytochemical characterization of the plant's ethanolic extract was conducted. The extract was obtained through static maceration for three days for the initial filtration, followed by one day for the second and third filtrations. Chlorophyll was separated using Diaion HP-20 resin as a solid phase packed in separation funnels, and an ethanol:water liquid phase with a concentration gradient ranging from 6:4 to 9:1 for elution. The dechlorophyllized extract was then freeze-dried and fractionated using gravity column chromatography. The obtained fractions were further purified through microcolumn and preparative chromatography. To elucidate the chemical structure of the molecules, nuclear magnetic resonance spectroscopy and electrospray ionization mass spectrometry were employed. Two metabolites were isolated for this study. The first one is a known glycosylated flavonoid called Nicotiflorin, while the second one is a phenolic derivative named 1,3-di-O-trans-feruloylquinic acid, which lacks a precise pharmacological description. This discovery represents an interesting and unique finding for this species, suggesting its potential medicinal use.

Keywords: *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec, NMR, ESI, flavonoid, nicotiflorin, feruloylquinic acid.

Forma sugerida de citar: Malagón, O., Cartuche, P., Gilardoni, G., Espinosa, S., Cumbicus, N. y Montaña, A. (2024). Evaluación de la composición química del extracto alcohólico de *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec: Identificación de metabolitos y exploración de sus propiedades farmacológicas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):100-112. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.07>.

IDs Orcid:

Omar Malagón: <https://orcid.org/0000-0001-7946-7858>
Patricio Cartuche: <https://orcid.org/0009-0008-2835-0922>
Gianluca Gilardoni: <https://orcid.org/0000-0003-0915-9416>
Sandra Espinosa: <https://orcid.org/0000-0002-2697-8897>
Nixon Cumbicus: <https://orcid.org/0000-0002-4880-6607>
Angel Montaña: <https://orcid.org/0009-0007-2929-5737>

1 Introducción

La familia Asteraceae destaca por su diversidad, con alrededor de 24 000 especies alrededor del mundo, lo que la convierte en la familia de plantas más grande después de las orquídeas (Del Vitto y Petenatti, 2009). Se distribuyen en una amplia variedad de hábitats, desde los trópicos hasta las regiones templadas. En el Ecuador, se estima que esta familia vegetal representa aproximadamente el 10% de la flora del país.

En términos ecológicos, las Asteraceae tienen un impacto significativo ya que son importantes fuentes de alimento para varios animales, incluyendo insectos, aves y mamíferos (Flann, Greuter e Hind, 2010). En cuanto a la composición química, las Asteraceae son conocidas por su riqueza y variedad de metabolitos secundarios, incluyendo ácidos iso- y clorogénicos, lactonas sesquiterpénicas, alcoholes triterpénicos pentacíclicos, aceites esenciales, alcaloides y diversos derivados acetilénicos. Estos compuestos son de gran interés médico debido a sus propiedades citotóxicas y anticancerígenas, entre otras (Figuerola, 2016).

Un miembro de esta familia de plantas es la especie *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec. que presenta un tallo flexible y estriado con nudos finamente tomentoso. Sus hojas son opuestas, ovado-oblongas, con peciolo estriado y bordes ligeramente curvados. El haz es glabro y de color verde liso, excepto el nervio principal que es tomentoso, mientras que el envés es densamente tomentoso-ocráceo y el nervio principal es prominente, rodeado de 10-11 nervios secundarios a cada lado (Robinson y Cuatrecasas, 1992). Las inflorescencias son terminales, cimoso-paniculadas y tomentosas, con brácteas lanceoladas, cortas y tomentosas. Los capítulos son heterogéneos, con un involucre cónico-campanulado compuesto de 7-8 brácteas escariosas y glabras. Las flores femeninas son marginales, con corola ligulada y las flores hermafroditas se agrupan en 8-9, con corola tubular y limbo campanulado profundamente dentado (León-Yáñez y col., 2011). Estas características morfológicas proporcionan una base para la identificación precisa de la especie y son importantes para su descripción botánica. En la sierra ecuatoriana, este vegetal se conoce comúnmente como “piguiles” o “tunash”, y se emplea tanto como leña, como para proporcionar soporte estructural en la construcción de refugios temporales (Lojan, 1992).



Figura 1. *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec. en su hábitat.

Aunque esta especie no se utiliza en la medicina tradicional, esta planta es un excelente atractor de polinizadores debido a su inflorescencia en los primeros meses del año, lo que la convierte en una candidata interesante para el estudio fitoquímico. Hasta la fecha, no existen registros de estudios científicos sobre la composición química fija de esta especie vegetal. Por esta razón, el presente estudio se centró en el aislamiento de los metabolitos secundarios de la planta utilizando técnicas de cromatografía líquida por gravedad en microcolumna. La estructura de los metabolitos se elucidó mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y espectrometría de masa de ionización por electrospray (ESI). El objetivo de este trabajo es caracterizar químicamente a la especie *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec. para contribuir a su descripción etnobotánica.

2 Materiales y Métodos

2.1 Información general de la muestra

Se llevó a cabo la recolección de 25 Kg de las partes aéreas (hojas) de la especie vegetal *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec. en el sector Sebadal-Fierro Urco del barrio San Isidro, parroquia San Pablo de Tenta, cantón Saraguro, provincia de Loja, ubicado a una altitud de 2 990 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Las coordenadas exactas de la recolección fueron 3°40'47.4816 S y 79°18'38.5056 O, bajo el permiso de recolección de especies vegetales MAE-DNB-2016-0048 otorgado por el Ministerio del Medio Ambiente. Para su posterior procesamiento, se procedió a desecar la materia vegetal durante 10 días a una temperatura de 40°C, utilizando el deshidratador ubicado en el laboratorio de Química de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Como resultado, se obtuvieron 5 kg de materia vegetal seca lista para ser utilizada en la investigación.

2.2 Obtención del extracto vegetal

La muestra vegetal seca fue triturada manualmente y luego macerada en recipientes individuales que contenían 2 kg de muestra vegetal y 20 litros de una solución de etanol: agua (EtOH:H₂O) en una proporción de 7:3, respectivamente. Se realizaron tres procesos de maceración estáticos, el primero, durante 3 días y los otros dos durante un día cada uno. Tras la filtración del extracto, se eliminó el etanol mediante el uso de un rotaevaporador. Luego,

el extracto seco se liofilizó utilizando un liofilizador Labconco Corporation modelo 7754047. Las muestras de 100 ml se depositaron en frascos Boeco® y el proceso experimental duró 5 días para cada muestra.

Para la separación de la clorofila, se utilizaron dos embudos de decantación de 500 ml y 1000 ml. En el embudo de 1000 ml se empaquetaron 400 g de resina Diaion®HP-20 en una solución de EtOH:H₂O en un gradiente de 6:4, y se sembraron 50 g de extracto diluido en la solución EtOH:H₂O mencionada anteriormente. El mismo procedimiento se aplicó en el embudo de 500 ml, pero con 240 g de resina Diaion®HP-20 y 35 g de extracto. Para obtener el extracto libre de solvente (EtOH), se usó el rotavapor marca BUCHI R-220 Pro con las siguientes condiciones: la temperatura de refrigeración de -10°C, una rotación de 40 rpm, el agua del baño maría de 30°C, vapor de 27°C de temperatura respectivamente y la presión de vacío que comenzó en 120 mbar y aumentó gradualmente hasta 30 mbar.

Finalmente, para facilitar el uso del extracto desclorofilado, se liofilizó utilizando el equipo Labconco Corporation modelo 7754047. La muestra se depositó en un frasco Boeco® de 100 ml con un volumen de 400 ml y el proceso de liofilización se llevó a cabo durante 5 días.

2.3 Fraccionamiento preparativo y purificación de metabolitos

Se llevó a cabo la preparación de un extracto libre de azúcares a partir de una solución Butanol:Agua (ButOH:H₂O) de 1000 ml, dividiendo la solución en partes iguales y agitándolas constantemente durante media hora para lograr una homogeneización completa. Después de una hora de reposo, se eliminó el agua y se diluyeron 15 gramos de extracto liofilizado en 700 ml de solución butanólica, agregando el mismo volumen de agua destilada, y se dejó en reposo por una hora para permitir la separación de compuestos de acuerdo con su polaridad. Este proceso se repitió dos veces más para obtener la fase orgánica.

La fase orgánica se sometió a una cromatografía líquida en microcolumna mediante gravedad, utilizando una polaridad de Acetato, Metanol y agua (AcOEt, MeOH y H₂O) en una relación de 8:1:1, con

una carga de 800 mg de extracto de fase orgánica y 3 gramos de sílica gel fase directa. Las fracciones recolectadas se sometieron a una técnica de cromatografía en columna de flujo continuo (CCF), utilizando Diclorometano (DCM) como disolvente, y aplicando una polaridad de DCM, AcOEt, MeOH en una relación de 6:2:2, 5:3:2 y 4:5:1, respectivamente, con la adición de 5 gotas de ácido acético (AcOH) en cada concentración. La cromatografía en capa fina preparativa se realizó en placas de sílica gel fase directa de 20cm x 20cm, utilizando la misma solución de DCM, AcOEt, MeOH en una relación de 6:2:2 y 5 gotas de AcOH.

El proceso de elución se llevó a cabo en una cámara de vidrio y con la ayuda de la luz UV de 254 nm se identificaron los compuestos objeto de separación. La sílica gel impregnada con los compuestos de interés se lavó con la solución (DCM, AcOEt, MeOH 6:2:2 y 5 gotas de AcOH) la cual fue eluida en la CCF, y se colocó en viales de 10 ml para su secado utilizando nitrógeno.

2.4 Caracterización de metabolitos secundarios

Las muestras que contenían los metabolitos separados fueron llevadas al equipo de RMN marca BRUKER de serie MSC 500 MHz para realizar los análisis necesarios y obtener espectros de ^1H , ^{13}C , DEPT, COSY, HMBC, HSQC y TOCSY. El equipo operó a una frecuencia de 500 MHz y se utilizó cloroformo deuterado (CDCl_3) como disolvente. Adicionalmente, se realizó un experimento ESI mediante inyección directa en un equipo marca Bruker amaZon speed, utilizando nitrógeno durante el proceso.

3 Resultados y Discusión

Estudios anteriores en varias especies del género *Gynoxys*, como *Gynoxys Sancto-antonii* Cuatrec, *Gynoxys psilophylla* Klatt. (Bohlmann y col., 1986), *Gynoxys dielsiana* Domke (Zdero y col., 1980), *Gynoxys acostae* Cuatr., *Gynoxys nitida* Muschl. y *Gynoxys buxifolia* Cass. (Keriko y col., 1995), han permitido el aislamiento de varios 3β , 6β 10β -H diaciloxi furanoeremofilanos y 1β , 6β 10β -H diaciloxi furanoeremofilanos, principalmente modificados con sustituyentes tigloiloxi, angeloiloxi, acetiloxi y senecioiloxi, los cuales se han propuesto como posibles marcado-

res quimiotaxonómicos del género. Sin embargo, un estudio sobre *Gynoxys oleifolia* Muschl. informa sobre la existencia de diterpenos ent-kaurenoides sustituidos, lo que ha generado un debate sobre la presencia de este metabolito en el género *Gynoxys* (Beltrán y col., 2006).

Cabe destacar que, como componentes minoritarios se han aislado los compuestos 6-acetil-2,2-dimetil-croman-4-ona en *Gynoxys psilophylla* Klatt (Bohlmann y col., 1986), Germacreno D, biciclogermacreno, espatulenol, ácido oleanólico en *Gynoxys nitida* Muschl. y piceol en *Gynoxys buxifolia* (HBK) Cass (Keriko y col., 1995), Betulin en *Gynoxys cf. pulchella* (Kunth) Cass (Rodríguez, 2016). Después de realizar varias pruebas de análisis fitoquímicos en fracciones etanólicas de *Gynoxys hirsuta* Wedd. se ha sugerido la existencia de alcaloides pirrolizidínicos, furanoeremofilanos y cumarinas (Ramírez, 2011).

Así mismo, pruebas efectuadas en la fracción volátil de las hojas de *Gynoxys meridiana* Cuatrec. obtenido con hidrodestilación muestra como compuestos principales γ -curcumeno (31,9%), fukinanólido (22,3%), β -pineno (9,5%), α -felandreno (7,1%) y α -pineno (5,7%). El estudio más reciente sobre la composición química del aceite esencial de *Gynoxys miniphylla* Cuatrec reporta que sus componentes mayoritarios son α -felandreno (~ 17%), α -pineno (~ 15%), germacreno D (~ 13,5%), acetato de trans mirtanol (8.8%), δ -cadineno (~4,5%), β -felandreno (~3,5%), (E)- β -cariofileno (~2,5%), ocimeno (2,4%), α -cadinol (~2,5%) y α -humuleno (~2%) (Malagón y col., 2022).

En esta investigación para la primera fracción identificada en el análisis del protón (Tabla 1) se detectó un doblete en 6,47 ppm y en 6,73 ppm correspondientes a H-6 y H-8 respectivamente. Ambas señales presentaron una constante de acoplamiento meta $J_{6,8} = 2$ Hz. Asimismo, se identificó un doblete a 7,80 ppm que integra para 2H, relacionado con las posiciones equivalentes a H-2' y H-6'. Desplazado a campos más altos por la influencia de un grupo hidroxilo, se encuentra un doblete 6,94 ppm que integra para 2H, correspondiente a los protones equivalentes H-3' y H-5', estos poseen una constante de acoplamiento orto $J_{2',3'} = 8,8$ Hz. Además, se observa un singlete en 5,56 ppm correspondiente a la posición 1'' anomérica de la glucosa y un doblete en 5,38 ppm relacionado a la posición 1''' anomé-

rica de la ramnosa lo que sugiere la presencia del disacárido rutinosa.

La combinación de datos obtenidos a partir del análisis de protón y la espectrometría de masas por

ESI brinda información relevante sobre la molécula en cuestión. El análisis de ESI muestra un ion molecular $[M + H]^+ = 595,13$ indicativo de la presencia de nicotiflorina, químicamente conocido como Kaempferol-3-O-rutinósido.

Tabla 1. ^1H RMN de nicotiflorina (kaempferol-3-O-rutinósido).

^{13}C (500 MHz), CD_3OD	δ (ppm)	DEPT	^1H (500 MHz), CD_3OD	δ (ppm)	Mult.	f	J (H)	COSY	HMBC	HMQC
C-2			-	-	-	-	-	-		
C-3			-	-	-	-	-	-		
C-4			-	-	-	-	-	-		
C-5	162,2		-	-	-	-	-	-		
C-6	99,30	CH	H-6	6,47	d	1H	2	H-6 / H-8	162; 94,27; 106,23	H-6 / C-6
C-7			-	-	-	-	-	-		
C-8	94,27	CH	H-8	6,73	d	1H	2	H-8 / H-6	156,69; 162,2; 99,30; 106,23	H-8 / C-8
C-9	156,69		-	-	-	-	-	-		
C-10	106,23		-	-	-	-	-	-		
C-1'	120,98		-	-	-	-	-	-		
C-2'	130,63	CH	H-2'	7,80	d	2H	8,8	H-2' / H-3'	160,38 130,63	H-2' / C-2'
C-3'	115,32	CH	H-3'	6,94	d	2H	8,8	H-3' / H-2'	160,38; 115,32; 120,8	H-3' / C-3'
C-4'	160,33	C	-	-	-	-	-	-		
C-5'	115,32	CH	H-5'	6,94	d	2H	8,8	H-5' / H-6'	160,38 115,32 120,98	H-5' / C-5'
C-6'	130,63	CH	H-6'	7,80	d	2H	8,8	H-6' / H-5'	160,38 130,63	H-6' / C-6'
C-1''	98,4	CH	H-1''	5,56	s	1H	-			H-1'' / C-1''
C-2''			H-2''							
C-3''			H-3''							
C-4''			H-4''							
C-5''			H-5''							
C-6''	69,7	CH_2	H-6''	3,83	dd	2H	3,3; 9,5			
C-1'''	102,08	CH	H-1'''	5,38	d	1H	1,3		70,75	H-1''' / C-1'''
C-2'''	70,75	CH	H-2'''	3,67	m	1H	-		69,65; 72,11	
C-3'''	72,11	CH	H-3'''							
C-4'''	-	CH	H-4'''	3,33	m	1H	-		70,75	
C-5'''	69,65	CH	H-5'''	3,48	m	1H	-		16,71; 70,75	
C-6'''	16,71	CH	H-6'''	1,25	m	1H	-			

La nicotiflorina (Figura 1) es un flavonoide compuesto por una molécula de glucosa y una de rutinosa. La glucosa es un monosacárido con fórmula química $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, mientras que la rutinosa es un fla-

vonioide compuesto por una estructura de flavona unida a una molécula de ácido glucurónico. Además, la nicotiflorina posee un grupo nicotinil unido a la posición C-6 de la glucosa, lo que la diferencia

de otros flavonoides. La estructura química de la nicotiflorina es compleja y cuenta con varios grupos funcionales, como hidroxilos, cetonas y éteres.

Los flavonoides glicosilados, también conocidos como glucósidos de flavonoides, se encuentran ampliamente distribuidos en las especies vegetales y son conocidos por sus diversos efectos farmacológicos. La mayoría de estos compuestos contienen glucosa como el azúcar presente, aunque también se han encontrado galactosa, ramnosa, xilosa y el disacárido rutinosa. En las plantas, los glucósidos de flavonol y las agliconas cumplen una variedad de funciones importantes, como la protección contra la radiación UV, la regulación fisiológica interna y la reproducción. También actúan como antioxidantes, atrapando los radicales libres y apoyando el sistema inmunológico de la planta (Slámová, Kapešová y Valentová, 2018).

Abordando la farmacodinamia, se conoce que la glicosilación de los flavonoides mejora significativamente su solubilidad en agua y, por lo tanto, aumenta la biodisponibilidad de la correspondiente aglicona flavonoide, en función de la naturaleza del azúcar. Es importante destacar que los glucósidos se absorben más rápidamente que los ramnósidos y ramnoglucósidos debido a la disponibilidad de las respectivas enzimas hidrolizantes en el tracto gastrointestinal humano. Estas enzimas, como la lactasa-florizina hidrolasa intestinal o la β -glucosidasa presente en las células epiteliales del intestino delgado, pueden metabolizar los glucósidos. En cambio, no existen enzimas α -l-ramnosidasa o rutinósidas en humanos, lo que significa que la biodisponibilidad de los flavonoides que contienen ramnosa depende enteramente de su escisión por la microbiota intestinal (Slámová, Kapešová y Valentová, 2018; Khodzhaieva y col., 2021).

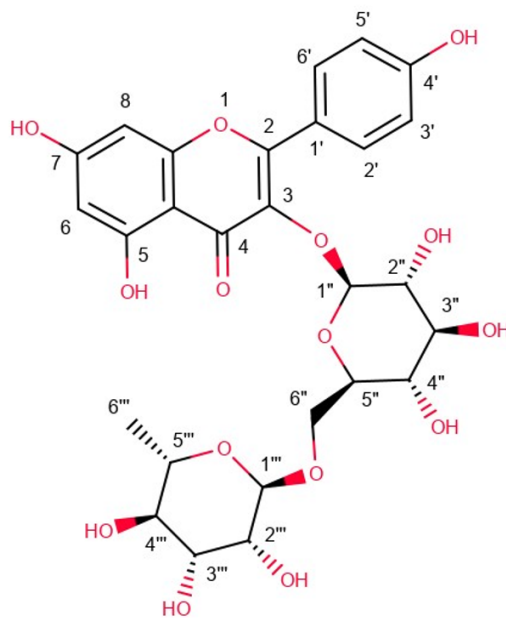


Figura 2. Estructura química de nicotiflorina (kaempferol-3-O-rutinósido).

La adición de ramnosa a los flavonoides puede mejorar su solubilidad y estabilidad, además de conferirle propiedades farmacológicas específicas y selectividad. El azúcar utilizado en la glicosilación suele ser un disacárido compuesto por L-ramnosa (también conocida como 6-deoxi-manosa)

y D-glucosa, los cuales están unidos por una unión glicosídica α -(1-2) o α -(1-6). Mientras que la glicosilación o galactosilación aumenta la solubilidad del flavonoide en agua, la presencia de residuos de ramnosilo puede disminuirla ligeramente. Es decir, la presencia de un residuo azúcar en un flavonoide

parece jugar un papel importante en la solubilidad, biodisponibilidad y actividad biológica. De manera que, por ejemplo, los glucósidos de flavonoides pueden servir como “profármacos” para liberar las agliconas al tracto gastrointestinal (Slámová, Kapešová y Valentová, 2018).

El kaempferol es un flavonoide que se encuentra comúnmente en la familia Asterácea, y se ha demostrado que tiene efectos anticancerígenos y antiinflamatorios. Además, se ha descubierto que el kaempferol y sus compuestos asociados también tienen actividades antibacterianas, antifúngicas y antiprotozoarias (Adebayo y col., 2010). Recientemente, se ha informado que el kaempferol tiene una acción neuroprotectora en el cerebro, inhibiendo la citotoxicidad proinflamatoria y la actividad de importantes vías inflamatorias (Silva y col., 2021). Se sabe que la inflamación crónica y los radicales libres son factores de riesgo para desarrollar cáncer. Por lo tanto, los principios activos capaces de inhibir estos factores son útiles para generar citotoxicidad de células cancerosas. La actividad anticancerígena observada en algunos derivados del kaempferol resulta de especial interés, por lo que las especies vegetales que lo contienen son candidatas ideales para la búsqueda de tratamientos contra diferentes tipos de cáncer.

Existen numerosos derivados del kaempferol que han demostrado actividad anticancerígena. Un ejemplo es el trifolín (kaempferol 3-O-D-galactósido), el cual induce la apoptosis en células de cáncer de pulmón a través de vías intrínsecas y extrínsecas (Kim y col., 2016). El azfelín (kaempferol-3-O-rhamnoside) se ha sugerido como una terapia quimioterapéutica para el cáncer de mama debido a sus propiedades antioxidantes y su capacidad para prevenir el daño oxidativo de biomoléculas (Velloso y col., 2015). Por su parte, la nicotiflorina (kaempferol-3-O-rutinosido) ha demostrado ser hepatoprotectora, reduciendo los niveles de citoquinas y enzimas séricas y restaurando los indicadores antioxidantes en el homogeneizado hepático (Zhao y col., 2017).

Además, Li y col. (2006) han demostrado que la nicotiflorina reduce significativamente el daño neuronal y la muerte celular en modelos de isquemia cerebral focal permanente y en cultivos neuronales sometidos a estrés oxidativo. También disminuye la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS)

y la activación de factores inflamatorios en estos mismos modelos, sugiriendo una acción neuroprotectora del kaempferol. Por lo tanto, los derivados del kaempferol tienen un gran potencial como terapias contra el cáncer y enfermedades neurodegenerativas.

Según Patel (2022), la nicotiflorina posee propiedades farmacológicas tales como antioxidantes, antiinflamatorias, cardioprotectoras y antidiabéticas. Esta sustancia ha sido utilizada tradicionalmente en la medicina china para tratar diversas afecciones, incluyendo trastornos gastrointestinales, infecciones respiratorias y enfermedades cardiovasculares. Hasta el momento, no se han reportado en la literatura la presencia de flavonoides glicosidados en especies del género *Gynoxys*. Por lo tanto, el aislamiento de nicotiflorina en *Gynoxys cuicochensis* Cuatrec. es una valiosa contribución a la información quimiotaxonómica disponible. Para la segunda fracción, se ha propuesto una elucidación estructural que sugiere la presencia de un derivado del ácido quínico conocido como ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico.

El análisis de RMN revela características distintivas en las señales de protones (Tabla 2). En primer lugar se observa una contribución aromática evidente debido a las señales correspondientes a las posiciones H2 (7,07 ppm, d, J=8Hz, 2H), H5 (6,82 ppm, d, J=8Hz, 2H) y H6 (7,18 ppm, d, J=6Hz, 2H), lo cual indica la presencia de un sistema trisustituido. Además, se destacan dos señales de H7 (7,64 ppm, d, J=16Hz, 2H) y H8 (6,40 ppm, d, J=16Hz, 2H), las cuales sugieren la existencia de un doble enlace en configuración trans. Es importante mencionar que también se evidencia la presencia de grupos metoxi en la estructura aromática debido a las señales de OCH₃ (3,88 ppm, s, 6H).

El ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico (Figura 2) es un éster derivado del ácido dihidroxicinamoilquinico, caracterizado por la presencia de dos grupos feruloilo unidos a las posiciones 1 y 3 de la unidad quinona en el anillo central. En concordancia con esta investigación, Wenzl y col. (2000) también informaron el uso de una conformación de silla con el grupo carboxílico en una posición axial en esta molécula, debido a las interacciones estéricas entre los grupos funcionales en su estructura.

Tabla 2. ¹H RMN de ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico

¹ H (500 MHz), CD ₃ OD	δ (ppm)	m	J (Hz)	f	δ (ppm)	m	J (Hz)	f
7''	7,54	d	16	2,3	7,52	d	16	1
7'	7,44	d	16	3,5	7,37	d	16	1
2''	7,30	s ancho	-	1,2				
2'	7,27	s ancho	-	1,6	7,24	s	-	2
6''	7,10	d	8	1,4				
6'	7,05	d	8	2,8	7,03	d	8,1	2
	7,01 - 6,90	m	-	2,7				
5' 5''	6,79	d	8	2,9	6,75	d	7,8	1
					6,73	d	7,8	1
	6,78 - 6,67	m	-	4,0				
8''	6,44	d	16	1,5	6,39	d	16	1
8'	6,36	d	16	1,5	6,36	d	16	1
	6,28 - 6,13	m	-	2,3				
	5,74	m	-	0,5				
	5,51	m	-	0,7				
3	5,19 - 5,38	m	-	2,1	5,18	dt	10/4	1
	4,89	m	-	0,8				
	4,11	s ancho	-	0,8				
	4,01	s ancho	-	1,3				
	3,83	s	-	3	3,78	s	-	3
	3,82	s	-	3	3,75	s	-	3
4,5	3,76	m	-	2,2	3,69	m	-	1
					3,64	m	-	1
2	2,35	m	-	1,3	2,28	t	13	3
	2,24 - 2,14	m	-	2,1				
	2,11 - 1,95	m	-	2,1				
6	1,92 - 1,63	m	-	4,7	2,00	dd	12/3	1
					1,85	d	12	1
	1,48	m	-	1,4				
	1,24	s ancha	-	3,48				

La posición axial del grupo carboxílico se atribuye a la necesidad de minimizar dichas interacciones estéricas entre los grupos funcionales presentes. En este sentido, el grupo hidroxilo en la posición 5 y los grupos feruloilo en las posiciones 1 y 3 se orientan en dirección opuesta al grupo carboxilo, lo que conduce a la minimización de las interacciones estéricas.

Además, es importante destacar que la conformación de silla resulta estable para moléculas con anillos de seis miembros, como el anillo central del ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico. En esta conformación, los grupos sustituyentes en los átomos de carbono del anillo se encuentran orientados en direcciones opuestas, lo cual contribuye a la minimización de las interacciones estéricas y, por ende,

aumenta la estabilidad global de la molécula.

Se ha observado que este metabolito se acumula en las regiones más maduras del sistema radicular, excluyendo tanto los ápices de las raíces como los brotes. Se ha atribuido a este metabolito una actividad antioxidante reguladora de lípidos en la sangre de ratas. Además, estudios *in vitro* han demostrado su actividad antiinflamatoria, lo que sugiere su potencial como agente terapéutico en enfermedades inflamatorias. Se han descrito diversas actividades biológicas adicionales para este compuesto, como propiedades antimicrobianas, antitumorales, antidiabéticas y neuroprotectoras (Wenzl y col., 2000).

Dado que la información bibliográfica disponi-

ble sobre este metabolito es limitada y no permite realizar una comparación exhaustiva entre fuentes, se ha considerado también la actividad biológica

ca descrita para su precursor, el ácido quínico, como punto de referencia.

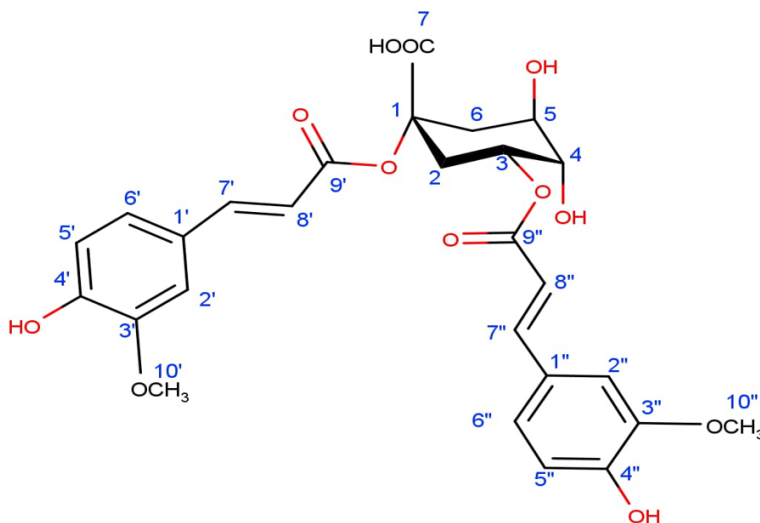


Figura 3. Estructura química del ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquínico.

El ácido quínico es un ácido hidroxicarboxílico natural con un compuesto fenólico de estructura química simple. Consiste en un anillo de seis carbonos con dos grupos hidroxilo y un grupo carboxilo. En las plantas, desempeña varias funciones importantes, que incluyen la regulación del crecimiento y desarrollo, la protección contra el estrés ambiental y la defensa contra patógenos. Además, el ácido quínico participa en la síntesis de otros compuestos fenólicos, como los flavonoides. Se ha demostrado que este ácido induce la producción de fitoalexinas, que son compuestos antimicrobianos producidos por las plantas en respuesta a la infección por patógenos (Ma y Ma, 2015).

Aunque la relación directa entre el metabolito en cuestión y el ácido quínico aún requiere una investigación más detallada, la actividad biológica conocida del ácido quínico proporciona una base sólida para explorar el potencial terapéutico y las propiedades biológicas de este metabolito poco estudiado. Un enfoque comparativo con el ácido quínico puede ayudar a obtener una comprensión más profunda de su actividad biológica y sus posibles aplicaciones.

El ácido quínico ha sido ampliamente investigado debido a su notable actividad biológica, que abarca diversas áreas de interés. Se han evidenciado propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antihipertensivas, antidiabéticas y neuroprotectoras asociadas a este compuesto (Pero, Lund y Leander-son, 2009; El-Askary, Salem y Abdel Motaal, 2022). Además, se ha demostrado su capacidad para ejercer efectos beneficiosos en la salud cardiovascular, el metabolismo de la glucosa, la obesidad y el daño celular.

Los estudios han revelado que el ácido quínico puede regular la expresión génica, modificar la actividad enzimática y modular las vías de señalización celular. Estas acciones moldean su impacto biológico en diversas enfermedades y condiciones patológicas. Su capacidad antioxidante le permite neutralizar especies reactivas de oxígeno, protegiendo así a las células del daño oxidativo. Asimismo, su actividad antiinflamatoria ayuda a reducir la respuesta inflamatoria excesiva en diferentes tejidos y sistemas biológicos (Heikkilä y col., 2019).

El ácido quínico también ha mostrado efectos positivos en la regulación de la presión arterial, lo

que lo convierte en un posible agente para el manejo de la hipertensión. Además, se ha observado su capacidad para mejorar el metabolismo de la glucosa, lo cual es de especial interés en el contexto de la diabetes y la resistencia a la insulina (Singh y col., 2021; Lee y col., 2022). En cuanto a su acción neuroprotectora, el ácido quínico ha demostrado capacidad para proteger las células nerviosas contra el estrés oxidativo y otros eventos nocivos, lo que sugiere su potencial en la prevención y tratamiento de trastornos neurodegenerativos (Zuo, Tang y Xu, 2015; Clifford y col., 2017).

4 Conclusiones

Se obtuvo exitosamente el extracto alcohólico de *Gynoxys cuicochensis Cuatrec.* a partir de una muestra recolectada en el sector Sebadal-Fierro Urco de la provincia de Loja. Mediante el empleo de técnicas de cromatografía líquida en microcolumna, RMN y ESI, se logró el fraccionamiento y la caracterización química del extracto.

El tamizaje fitoquímico del extracto alcohólico de las hojas de *Gynoxys cuicochensis Cuatrec.* reveló la presencia de un compuesto flavonoide y un derivado del ácido quínico, ambos con propiedades farmacológicas conocidas. Sin embargo, es importante destacar que esta especie no es empleada en la medicina tradicional.

En el estudio fitoquímico experimental de *Gynoxys cuicochensis Cuatrec.*, el análisis de los espectros de resonancia magnética nuclear de protones y carbono (^1H y ^{13}C), correlación heteronuclear múltiple (HMQC), correlación heteronuclear múltiple-banda cruzada (HMBC), distorsión de ensanchamiento selectivo por polarización de espín (DEPT), correlación espectroscópica (COSY) y correlación de espectroscopía de coherencia total (TOCSY) permitieron la identificación del primer metabolito como nicotiflorina (kaempferol-3-O-rutinósido). Es importante destacar que no se ha reportado previamente la presencia de este compuesto en el género vegetal *Gynoxys*, lo cual abre nuevas puertas para una investigación más profunda de esta especie y contribuir al avance científico en la región.

En cuanto al segundo metabolito aislado, el ácido 1,3-di-O-trans-feruloilquinico, la información

científica disponible es limitada. Sin embargo, se puede proponer una posible actividad antioxidante y antiinflamatoria debido a su derivación del ácido quínico, ya que se sabe que los compuestos fenólicos suelen poseer estas propiedades. Para comprender plenamente las propiedades y el potencial terapéutico de este metabolito, es necesario realizar investigaciones adicionales y estudios más detallados. Estos resultados contribuyen al conocimiento científico de la región y sientan las bases para la exploración de nuevas aplicaciones farmacológicas y terapéuticas en el campo de la fitoterapia.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica Particular de Loja por el financiamiento otorgado para efectuar esta investigación, así como al grupo de investigadores que conforman el departamento de Química Aplicada de dicha Institución.

Contribución de los autores

Conceptualización: A.M.; Curación de datos: O.M., G.G., S.E., N.C. y A.M.; Análisis formal: O.M., P.C., G.G., S.E. y A.M.; Adquisición de financiación: O.M.; Investigación: O.M., G.G., S.E. y A.M.; Metodología: A.M.; Administración de proyecto: O.M.; Recursos: O.M.; Supervisión: O.M. y G.G.; Validación: O.M. y G.G.; Visualización: O.M. y A.M.; Escritura– borrador original, revisión y edición: A.M.

Referencias

- Adebayo, A. y col. (2010). «Anticancer and antiradical scavenging activity of *Ageratum conyzoides* L. (Asteraceae)». En: *Pharmacognosy magazine* 6.21, 62. Online: <https://n9.cl/sf1pn>.
- Beltrán, H. y col. (2006). «Asteraceae endémicas del Perú». En: *Revista Peruana de Biología* 13.2, 64-164. Online: <https://n9.cl/syvhv>.
- Bohlmann, F. y col. (1986). «Further pyrrolizidine alkaloids and furoeremophilanes from *Senecio* species». En: *Phytochemistry* 25.5, 1151-1159. Online: <https://n9.cl/5enty>.

- Clifford, M. y col. (2017). «Chlorogenic acids and the acyl-quinic acids: Discovery, biosynthesis, bioavailability and bioactivity». En: *Natural product reports* 34.12, 1391-1421. Online:https://n9.cl/936d2w.
- Del Vitto, L. y E. Petenatti (2009). «Asteráceas de importancia económica y ambiental: Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial». En: *Multequina* 18.2, págs. 87-115.
- El-Askary, H., H. Salem y A. Abdel Motaal (2022). «Potential mechanisms involved in the protective effect of dicaffeoylquinic acids from *Artemisia annua* L. leaves against diabetes and its complications». En: *Molecules* 27.3, 857. Online:https://n9.cl/32m3ci.
- Figueroa, L. (2016). «Distribución geográfica y potencial de *Gynoxys verrucosa* (Wedd.) Guangalo en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe». Online:https://n9.cl/i21nt. Tesis de mtría. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Flann, C., W. Greuter y D. Hind (2010). «Cassini's Compositae genera: A nomenclatural and taxonomic assessment». En: *Taxon* 59.4, 1206-1244. Online:https://n9.cl/fkxcl.
- Heikkilä, E. y col. (2019). «The plant product quinic acid activates Ca²⁺-dependent mitochondrial function and promotes insulin secretion from pancreatic beta cells». En: *British journal of pharmacology* 176.17, 3250-3263. Online:https://n9.cl/dwwhvt.
- Keriko, J. y col. (1995). «A plant growth regulator from *Vernonia auriculifera* (Asteraceae)». En: *Zeitschrift für Naturforschung C* 50.5-6, 455-458. Online:https://n9.cl/zrvicu.
- Khodzhaieva, R. y col. (2021). «Progress and achievements in glycosylation of flavonoids». En: *Frontiers in Chemistry* 9, 637994. Online:https://n9.cl/6o41m.
- Kim, M. y col. (2016). «Trifolin induces apoptosis via extrinsic and intrinsic pathways in the NCI-H460 human non-small cell lung-cancer cell line». En: *Phytomedicine* 23.10, 998-1004. Online:https://n9.cl/755p4.
- Lee, D. y col. (2022). «Insulin secretion and α -glucosidase inhibitory effects of dicaffeoylquinic acid derivatives». En: *Applied Biological Chemistry* 65.1, 22. Online:https://n9.cl/2o9el.
- León-Yáñez, S. y col. (2011). *Libro rojo de especies endémicas del Ecuador*. Imprenta Mariscal.
- Li, R. y col. (2006). «Neuroprotection of nicotiflorin in permanent focal cerebral ischemia and in neuronal cultures». En: *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 29.9, 1868-1872. Online:https://n9.cl/xf4tc.
- Lojan, L. (1992). *El verdor de los Andes Ecuatorianos: realidades y promesas*. P.D.F.P. en los Andes. Quito.
- Ma, J. y C. Ma (2015). «Coffee in health and disease prevention». En: Academic Press. Cap. Antifungal inhibitory activities of caffeic and quinic acid derivatives, págs. 635-641.
- Malagón, O. y col. (2022). «A new essential oil from the leaves of the endemic Andean species *Gynoxys miniphylla* Cuatrec.(Asteraceae): Chemical and enantioselective analyses». En: *Plants* 11.3, 398. Online:https://n9.cl/zwk4c.
- Patel, D. (2022). «Medicinal importance, pharmacological activities and analytical aspects of a flavonoid glycoside 'Nicotiflorin' in the medicine». En: *Drug Metabolism and Bioanalysis Letters Formerly: Drug Metabolism Letters* 15.1, 2-11. Online:https://n9.cl/28hs2.
- Pero, R., H. Lund y T. Leanderson (2009). «Antioxidant metabolism induced by quinic acid. Increased urinary excretion of tryptophan and nicotinamide». En: *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives* 23.3, 335-346. Online:https://n9.cl/teo99g.
- Ramírez, E. (2011). «Variabilidad química de extractos y fracciones obtenidas de tres especies de la tribu Senecioneae: *Gynoxys hirsuta*, *Pentacalia ledifolia*, *Senecio pampae*». Online:https://n9.cl/26kod. Tesis de mtría. Pontificia Universidad Javeriana.
- Robinson, Ha. y J. Cuatrecasas (1992). «Additions to Aequatorium and *Gynoxys* (Asteraceae: Senecioneae) in Bolivia, Ecuador, and Peru». En: *Novon*, 411-416. Online:https://n9.cl/i1eg3.
- Rodríguez, P. (2016). «Aislamiento y caracterización de metabolitos secundarios aislados de las especies *Gynoxys* cf. *pulchella* y *Baccharis latifolia*». Online:https://n9.cl/26kod. Tesis de mtría. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Silva, J. y col. (2021). «The pharmacological action of kaempferol in central nervous system diseases: a review». En: *Frontiers in Pharmacology* 11, 565700. Online:https://n9.cl/q8dzd.
- Singh, A. y col. (2021). «Evaluation of antidiabetic activity of dietary phenolic compound chloroge-

- nic acid in streptozotocin induced diabetic rats: Molecular docking, molecular dynamics, in silico toxicity, in vitro and in vivo studies». En: *Computers in biology and medicine* 134, 104462. Online: <https://n9.cl/ollhk>.
- Slámová, K., J. Kapešová y K. Valentová (2018). «Sweet flavonoids”: Glycosidase-catalyzed modifications». En: *International Journal of Molecular Sciences* 19.7, 2126. Online: <https://n9.cl/7573qf>.
- Veloso, J. Carlos R. y col. (2015). «Preliminary in vitro and ex vivo evaluation of afzelin, kaempferitrin and pterogynosite action over free radicals and reactive oxygen species». En: *Archives of pharmacal research* 38, 1168-1177. Online: <https://n9.cl/svkbw>.
- Wenzl, P. y col. (2000). «Roots of nutrient-deprived *Brachiaria* species accumulate 1, 3-di-O-trans-feruloylquinic acid». En: *Phytochemistry* 55.5, 389-395. Online: <https://n9.cl/ur102o>.
- Zdero, C. y col. (1980). «Neue furanoeremophilane aus *Gynoxys dielsiana*». En: *Phytochemistry* 19.5, 975-976. Online: <https://n9.cl/x0ewx>.
- Zhao, J. y col. (2017). «Hepatoprotective effects of nicotiflorin from *nymphaea candida* against concanavalin a-induced and d-galactosamine-induced liver injury in mice». En: *International Journal of Molecular Sciences* 18.3, 587. Online: <https://n9.cl/rxjqc>.
- Zuo, J., W. Tang e Y. Xu (2015). «Coffee in health and disease prevention». En: Academic Press. Cap. Anti-hepatitis B virus activity of chlorogenic acid and its related compounds, págs. 607-613.



PRODUCCIÓN DE *BEAUVERIA BASSIANA* PARA LA FORMULACIÓN DE BIOPLAGUICIDAS

PRODUCTION OF *BEAUVERIA BASSIANA* FOR THE FORMULATION OF BIOPESTICIDES

Jessenia Lucero*, Jorge Manzano, Iliana Loaiza, y Yamile Orellana

Instituto Superior Tecnológico Manuel Encalada Zúñiga. 070206. Machala, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jesylyu@hotmail.es

Manuscrito recibido el 10 de enero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 19 de mayo de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

Los efectos nocivos de los productos químicos en la agricultura convencional y la creciente demanda de alimentos libres de residuos tóxicos, ha dado lugar al desarrollo de estrategias sostenibles con el medio ambiente. Una alternativa eficaz para el manejo integrado de plagas en los cultivos agrícolas son los bioplaguicidas formulados con estructuras de microorganismos o a partir de la producción de los compuestos activos. En este contexto, el presente trabajo describe los procesos de producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas de uso agrícola. La recolección de la información se realizó mediante una búsqueda sistemática en ResearchGate, Google Académico, ScienceDirect y PubMed, empleando palabras claves como producción, *Beauveria bassiana*, fermentación sólida, fermentación líquida y metabolitos. A partir de los resultados de la investigación se afirma que *B. bassiana* es uno de los microorganismos con gran potencial para la producción de bioplaguicidas, por el mecanismo de acción entomopatógeno y los metabolitos secundarios, que pueden ser utilizados para el control biológico de insectos fitófagos. Así mismo, en la producción de *B. bassiana* se debe considerar un medio de cultivo rentable a gran escala, además de controlar las variables ambientales como temperatura a 25 °C, humedad relativa 65-70%, pH de 5.4, tiempo de propagación entre 4 a 8 días, y para el proceso de fermentación líquida agitación constante entre 200 a 400 rpm. Los productos biológicos representan una alternativa para minimizar el uso de plaguicidas sintéticos, reducir la contaminación ambiental y garantizar la seguridad e inocuidad de los alimentos.

Palabras clave: Bioplaguicidas, *Beauveria bassiana*, fermentación sólida, fermentación líquida, metabolitos.

Abstract

The harmful effects of chemicals in conventional agriculture and the growing demand for food free of toxic residues has developed environmentally sustainable strategies. An effective alternative for integrated pest management in agricultural crops are biopesticides formulated with microorganic structures or from the production of active compounds. This paper describes the production processes of *Beauveria bassiana* for formulating biopesticides for agricultural use. The information was collected through a systematic search in Research Gate, Google Scholar, Science Direct and PubMed, using keywords such as production, *Beauveria bassiana*, solid fermentation, liquid fermentation and metabolites. The results affirm that *B. bassiana* is one of the microorganisms with great potential to produce biopesticides, due to the entomopathogenic mechanism of action and secondary metabolites, which can be used for the biological control of phytophagous insects. Likewise, for the formulation of *B. bassiana* it should be considered a profitable culture medium for large-scale production, also the control of environmental variables such as temperature at 25 °C, relative humidity 65-70%, pH of 5.4, propagation time between 4 to 8 days, and for the liquid fermentation process, a constant agitation between 200 to 400 rpm must be maintained. Biological products represent an alternative to minimize the use of synthetic pesticides, reduce environmental pollution and ensure food safety and security.

Keywords: Biopesticides, *Beauveria bassiana*, solid fermentation, liquid fermentation, metabolites.

Forma sugerida de citar: Lucero, J., Manzano, J., Loaiza, I. y Orellana, Y. (2024). Producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 40(2):113-129. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.08>.

IDs Orcid:

Jessenia Lucero: Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6723-8249>

Jorge Manzano: Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4652-8877>

Iliana Loaiza: Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2703-4887>

Yamile Orellana: Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6956-8276>

1 Introducción

Los cultivos agrícolas se ven afectados de forma negativa por bacterias, hongos, arvenses, insectos y nematodos, ocasionando reducciones en el rendimiento de las producciones (Thakur y col., 2020). Desde 1960, los métodos de control de plagas agrícolas se realizaban mediante aplicaciones de plaguicidas sintéticos, como el dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), seguido de otros plaguicidas organofosforados y carbamatos (Kumar, 2012).

Las tecnologías de la revolución verde contribuyeron a aumentar la producción de los alimentos a través de la agricultura intensiva, mediante el uso de fertilizantes químicos y pesticidas (Kumar y Singh, 2015). Sin embargo, los efectos adversos como la degradación de suelos, contaminación del agua, resistencia en los insectos y residuos tóxicos en los alimentos (Lengai y Muthomi, 2018), han impulsado la demanda de producir alimentos saludables, disminuyendo el uso de los recursos naturales, y fortaleciendo la agricultura sostenible (Kumar, 2012).

La producción de bioplaguicidas microbianos ha tomado un gran auge por la demanda de alimentos libres de químicos, siendo estos esenciales en la agricultura orgánica (Mascarín y Jaronski, 2016). Los bioplaguicidas generalmente están compuestos de bacterias, virus, hongos y nematodos benéficos con actividades quitinolíticas, entomopatógenas y antagonistas, utilizados como controladores biológicos de fitopatógenos, insectos y nematodos fitófagos (Lengai y Muthomi, 2018).

Los análisis bioquímicos y genómicos han demostrado que los metabolitos que producen los microorganismos tienen gran potencial en el control biológico de plagas (Luo y col., 2017). Los metabolitos identificados de *Beauveria bassiana* son beauvericina y bassiacridin de acción insecticida (Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019; Quesada-Moraga y Vey, 2004), y son empleados para el control de *Tetranychus urticae*, *Bemisia tabaci* y *Locusta migratoria*; oosporein con efectos antivirales y antibacteriales en *Enterococcus faecalis* y *Stenotrophomonas* spp. (Jeffs y Khachatourians, 1997), y bassianin como inhibidor de la ATP (Patočka, 2016).

Las tecnologías de formulación de agentes de control biológico para el escalado comercial deben considerar ciertos criterios para el proceso de producción (Ávila-Hernández y col., 2020) como la estabilización del microorganismo en la etapa de producción, distribución y almacenamiento; también se deben proporcionar las condiciones propicias para la aplicación en campo (Dannon, Dannon y Douro, 2020). Se deben realizar evaluaciones de la persistencia después de la aplicación, y la adaptación a condiciones ambientales sin alterar las propiedades fisicoquímicas del microorganismo (Ávila-Hernández y col., 2020).

Los plaguicidas elaborados a partir de hongos entomopatógenos se utilizan con frecuencia en los programas fitosanitarios para controlar poblaciones de insectos fitófagos (Luo y col., 2014). Uno de los hongos entomopatógenos con mayor relevancia en el campo agrícola es *Beauveria bassiana*, empleado para controlar plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), picudo negro en banano (*Cosmopolites sordidus*), pulgones y arañitas rojas, entre otras (Gerónimo y col., 2016; Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019; Ávila-Hernández y col., 2020). Este hongo es considerado un enemigo natural de insectos en los ecosistemas, residuos de cosechas y en los huéspedes colonizados (Marín y col., 2018).

Las formulaciones comerciales de *Beauveria bassiana* incluyen métodos artesanales como la fermentación en sustratos sólidos, en la cual el hongo se encuentra inoculado en un sustrato y la aplicación se realiza mediante un filtrado de los conidios del microorganismo. En cambio, los métodos más innovadores consisten en desarrollar formulaciones secas y líquidas, impulsando el propágulo del hongo (conidio o blastosporas). El proceso de secado se realiza por aspersión, secado al aire, secado rotativo en tambor al vacío y secado en lecho fluidizado; estas técnicas son empleadas para estabilizar los propágulos de *Beauveria bassiana* a gran escala y que su vida útil sea satisfactoria (Mascarín y Jaronski, 2016). De acuerdo con el análisis de la problemática del uso de plaguicidas químicos y la necesidad de producir insumos amigables con el medio ambiente, se ha realizado una revisión sistemática que tiene como finalidad describir los procesos de producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas de uso agrícola.

2 Metodología

Se realizó una revisión sistemática de 60 manuscritos en buscadores especializados y bases de datos de ResearchGate (18), Semantic Scholar (10), Google Académico (14), Springer (2), SciELO (2), ScienceDirect (6) y PubMed (8), dedicando un tiempo aproximado de 1920 horas en el proceso de búsqueda bibliográfica, revisión y redacción científica. La investigación se enfocó en el entomopatógeno *Beauveria bassiana* por el potencial biocida para el control de insectos fitófagos, y los procesos de producción *in vitro* y a escala comercial para la formulación de biopesticidas de uso agrícola. La búsqueda se realizó en revistas como Journal of Applied Entomology, Plant Protection Science, World Journal of Microbiology and Biotechnology, Biology, Journal of Invertebrate Pathology y otras como fuentes primarias; y como fuentes secundarias en instituciones como Servicio Nacional de Sanidad Agraria y empresas que formulan o comercializan insecticidas que contienen *Beauveria bassiana*. La información seleccionada corresponde a artículos publicados durante los últimos 10 años, con algunas excepciones consideradas por la relevancia aportada a la revisión bibliográfica.

3 Antecedentes de *Beauveria bassiana* como controladores biológicos.

El entomopatógeno *B. bassiana* se observó por primera ocasión en los gusanos de seda, donde las larvas tenían una cubierta de color blanco en el exterior con múltiples inflorescencias que podían contagiar a las larvas sanas en un corto periodo de tiempo (Bassi, 1835). En el año 1954, se reportaron los primeros brotes de infección en acrididos, pero fue en el año de 1987 cuando se comprobó la patogenicidad del microorganismo en saltamontes bajo condiciones de laboratorio (Inglis, Goettel y Johnson, 1993).

En los últimos años se han descubierto alrededor de 700 especies de insectos hospederos del patógeno *B. bassiana* (Xiao y col., 2012). Este hongo tiene la capacidad de infectar a los principales taxones de insectos cuando encuentra las condiciones adecuadas para inocular el huésped. Sin embargo,

los estudios relacionados con la patogenicidad de *B. bassiana* se han centrado en los insectos considerados plagas (Meyling y Eilenberg, 2007). La secuencia del genoma de huéspedes infectados demostró que *B. bassiana* evolucionó a partir de insectos; también se asume que la expresión de ciertos genes de tipo proteasas y quitinasas están asociadas a las funciones necesarias para la patogénesis de insectos y la evolución convergente (Xiao y col., 2012).

4 Potencial bioplaguicida de *Beauveria bassiana*.

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno utilizado como controlador biológico en plagas de cultivos agrícolas (Barcenilla, 2021). El patógeno ingresa en los insectos a través de los conidios que se adhieren a la cutícula del huésped. La formación del tubo germinativo y el apresorio permite la fijación al tegumento del insecto por presión. La acción de las enzimas hidrolíticas de tipo lipasas, proteasas y quitinasas ingresan al cuerpo del insecto por las partes blandas (Lara-Juache y col., 2021). Las hifas tienen contacto con la hemolinfa que contiene altos contenidos de nutrientes, iniciando una etapa de gemación de blastosporas unicelulares (Mascarín y Jaronski, 2016). El hongo coloniza los tejidos internos del insecto y durante este proceso liberan metabolitos como beauvericina y bassiacridin que ayudan a inhibir el sistema inmunológico, facilitando el ingreso hacia los órganos internos del huésped y provocando su muerte (Figura 1) (Harith-Fadzilah, Abd Ghani y Hassan, 2021). Los insectos infectados muestran una cubierta algodonosa y polvorienta de coloración amarilla cremosa que recubre la parte externa del huésped (Barcenilla, 2021).

En la etapa de colonización, *B. bassiana* secreta proteínas y enzimas que pueden ser utilizadas como fábricas celulares para la producción de insumos comerciales. La evaluación de la actividad metabólica, por secuenciación completa del genoma, expresa que *B. bassiana* posee un pangenoma abierto, con capacidad para colonizar diferentes huéspedes (insectos, nematodos y plantas). Además, se identificaron 10366 genes que codifican para proteínas como proteasas y 145 enzimas activas de carbohidratos de tipo quitinasas, celulasas y hemicelulasas (Vidal y Jaber, 2015).

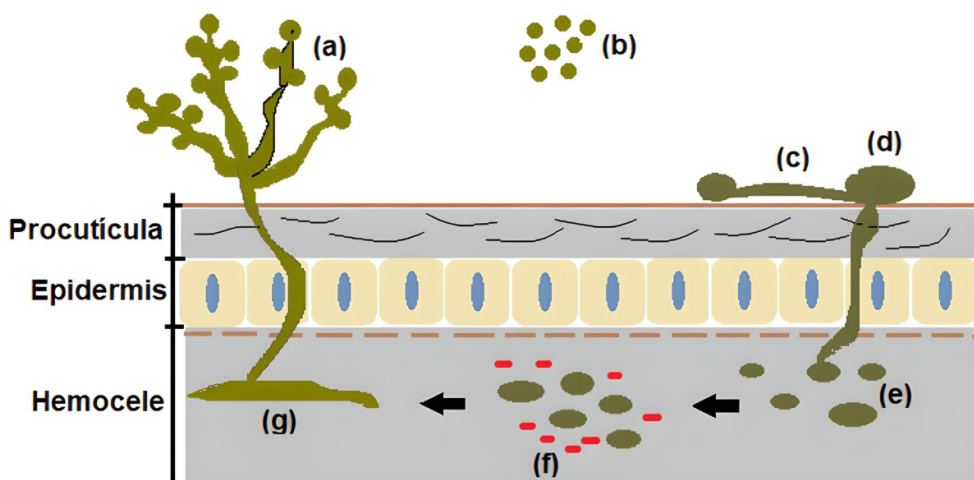


Figura 1. Proceso de infección de *Beauveria bassiana* en la cutícula de los insectos. (a) Estructuras de *B. bassiana* (b) Diseminación de conidios *B. bassiana*. (c) Formación del tubo germinativo en la superficie del cuerpo del insecto. (d) Formación del apresorio e ingreso de la hifa en la procutícula y epidermis. (e) Producción de Blastosporas e invasión en hemocele. (f) Liberación de las estructuras del hongo (hifas, micelio y conidios) y liberación al espacio exterior. (g) Formación de las estructuras del hongo (hifas, micelio y conidios) y liberación al espacio exterior.

Fuente: figura elaborada por los autores.

La expresión génica de *B. bassiana* en el proceso de inoculación de insectos demuestran la presencia de enzimas peroxidasa, trehalasa, lipasa, peptidasa, fosfatasa y liasa responsables de la degradación de la cutícula de los huéspedes. Las enzimas quitinasas de *B. bassiana* hidrolizan los enlaces β de polímeros de quitina en monómeros de N-acetil β-D-glucosamina presentes en el exoesqueleto de artrópodos (Amobonye y col., 2020). La cutícula de los insectos está formada por lípidos superficiales que actúan como una barrera protectora de patógenos. Sin embargo, las lipasas producidas por *B. bassiana* contribuyen a la degradación de la cutícula del insecto (Salazar y col., 2020); estas son enzimas solubles en agua que actúan sobre sustratos insolubles que tienen la capacidad de hidrolizar triglicéridos y transformarlos a ácidos grasos y glicerol. Las proteasas entomopatógenas actúan sobre la cutícula del huésped y atacan el tejido debilitado por acciones quitinolíticas (Amobonye y col., 2020).

La diversidad de toxinas producidas por *B. bassiana* puede ir desde compuestos simples como las macromoléculas biológicas, por ejemplo, ácido oxálico, 2,6- piridindicarboxílico (ácido dipicolínico), y compuestos de estructuras más complejas de naturaleza peptídica cíclica y lineal como beauvericina, bassiacridina, beauverólidos y bassianólidos (Borges y col., 2010). Las toxinas alteran la permeabili-

dad natural y artificial de las membranas, inducen la pérdida de líquidos de las células, producen cambios en el núcleo durante los procesos de la muda y metamorfosis, deforman las estructuras externas de los insectos e interfieren en los procesos de fecundación (Patočka, 2016). Por último, las enzimas lipasas, quitinasas, proteasas y amilasas degradan el exoesqueleto del huésped y permite el ingreso del hongo en sus tejidos internos (Cortés y Mosqueda, 2013).

5 Producción *in vitro* de *Beauveria bassiana*

Los procesos de producción de conidios de *B. bassiana* pueden ir desde métodos muy simples a procesos que implican mayor tecnificación (Vela y col., 2019). El primer paso para la producción de *B. bassiana* consiste en realizar aislamiento de las cepas del microorganismo; para ello es importante determinar la composición del medio de cultivo y los parámetros óptimos para el crecimiento. Greenfield y col. (2016) afirma que las cepas de *B. bassiana* pueden cultivarse en agar glucosa, peptona de soya, agar papa-dextrosa (PDA), agar de dextrosa-Sabouraud (SDA) o agar harina de avena. Las temperaturas óptimas para el crecimiento van desde 22-26 °C, alternando luz y oscuridad por ocho días.

En cambio, Bugti y col. (2018) manifiestan que se debe realizar una suspensión de esporas del microorganismo e inocular el medio de cultivo agar dextrosa-Sabouraud (agar 20 g, peptona 10 g, dextrosa 40 g, potasio 0.5 mg, en 1000 mL de agua destilada) e incubar a 24 ± 1 °C por doce días.

El segundo paso consiste en comprobar la patogenicidad de *B. bassiana* a través de inoculaciones de insectos sanos. Para ello se debe preparar suspensiones de conidios en una solución de Tween 80 al 0.05%, con agitación constante por cinco minutos, y ajustar la concentración de esporas y rociar los insectos (Bugti y col., 2018). En la Tabla 1 se detallan estudios realizados para comprobar la patogénesis de *B. bassiana* en diferentes huéspedes.

6 Fermentaciones en sustratos sólidos

La producción de *Beauveria bassiana* en sustratos sólidos por reproducción de conidios aéreos es el método más utilizado a nivel comercial tanto para

pequeñas, medianas y grandes empresas dedicadas a la producción de bioplaguicidas (Feng, Poprawski y Khachatourians, 2008). Los medios de cultivo para la producción de *B. bassiana* deben tener una composición de nutrientes y condiciones controladas de pH, temperatura, luz, disponibilidad de agua y mezcla de gases atmosféricos, pues son factores cruciales para el crecimiento del microorganismo y esporulación (Patočka, 2016). El proceso de producción consiste en inocular conidios de *B. bassiana* en sustratos sólidos nutritivos. La fermentación en sustratos sólidos bajo condiciones controladas pueden alcanzar rendimientos desde 4×10^{12} a 4×10^{13} conidios·kg⁻¹.

Los materiales más utilizados para la fermentación en estado sólido es el arroz, cebada, trigo, centeno, sorgo y maíz, (Jaronski, 2014). Así mismo, los desechos agroindustriales permiten reducir los costos de producción y consumo de energía. Un ejemplo de ello es la piel de papa y cáscara de arroz, en condiciones óptimas de humedad 65-70%, temperatura 25 °C y tiempo entre 7 a 8 días, permite alcanzar una producción de 1.3×10^9 esporas·g⁻¹ de *B. bassiana* (Sala y col., 2021).

Tabla 1. Estudios realizados para comprobar la patogénesis de *Beauveria bassiana* en diferentes hospederos y su porcentaje de mortalidad

Concentración conidios/ml	Hospederos	Estados morfológicos	% de mortalidad	Referencia
1×10^8	<i>Lygus lineolaris</i>			
	<i>Anthonomus signatus</i>	Adultos	77,47	Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008)
	<i>Otiorhynchus ovatus</i>		60,35	
		54,50		
1×10^7	<i>Bemisia tabaci</i>	Adulto	67	Ruiz y col. (2009)
1.7×10^8	<i>Ceratitis capitata</i>	Adulto	91,90	Muñoz, Rosa y Toledo (2009)
1×10^7	<i>Bemisia tabaci</i>	Huevo	27	Ruiz y col. (2009)
1×10^8	<i>Premnotrypes vorax</i>	Larva	96	García y col. (2013)
2×10^7	<i>Panonychus citri</i>	Ninfas Adultos	94	Alayo y Krugg (2014)
1×10^7	<i>Hypothenemus hampei</i>	Adulto	100	Gerónimo y col. (2016)
1×10^8	<i>Helicoverpa zea</i>	Larva	100	Everton y col. (2016)
1×10^8	<i>Tenebrio molito</i>	Larvas	100	López-Sosa, García-Gómez y Gaona (2018)
1×10^6	<i>Rhynchophorus palmarum</i> L.	Adultos	43,33	León, Campos y Arguelles (2019)
4×10^{10}	<i>Monalonion velezangeli</i>	Ninfas	84	Góngora y col. (2020)

Otro factor importante son los contenedores de fermentación, estos pueden ser bolsas de plásticos resistentes a altas temperaturas o grandes cámaras, considerando la aireación ya que los propágulos requieren de un equilibrado intercambio de gases para el crecimiento micelial. La producción de conidios aéreos se puede realizar a través de una o dos etapas. La primera etapa consiste en realizar la inoculación del hongo directamente del sustrato sólido y la segunda etapa implica la producción del inóculo por fermentación líquida y posterior la inoculación en el sustrato sólido (Mascarín y Jaronski, 2016).

El sustrato debe estar previamente esterilizado a 121 °C, 15 lb de presión por 30 minutos, se inocula el sustrato con la suspensión de conidios de *B. bassiana* o con una proporción de micelio. Los sustratos inoculados se incuban a 25 °C por 7 días y se eliminan los sustratos contaminados (López-Sosa, García-Gómez y Gaona, 2018). Por consiguiente, las bolsas se agitan para oxigenar el inóculo y conseguir una mezcla homogénea, se incuba por 21 días a 24 °C (Monzón, 2001) conservando una humedad relativa del 53%. Una vez esporulado el hongo en todo el sustrato, se realiza el proceso de secado a temperaturas entre 16-20 °C por un periodo de 5 a 6 días para reducir la humedad relativa al 15% (Gómez y col., 2014).

El problema principal de la fermentación sólida es el escalado comercial, siendo el principal enfoque la producción de un gran número de conidios de forma eficiente y económica para reducir los costos de producción y poder competir con los plaguicidas tradicionales (Rodríguez-Gómez y col., 2017). Por ello es importante utilizar sustratos y recipientes de buena calidad, pero al mismo tiempo económicos; y, además, vigilar de forma constante cada uno de los procesos de producción para evitar contaminaciones, realizando un correcto proceso de esterilización y manipulación de los materiales. Los sustratos y las condiciones ambientales para la fermentación sólida de *Beauveria bassiana* se muestran en la Tabla 2.

7 Fermentaciones en sustratos líquidos

El proceso de fermentación líquida facilita el escalado masivo para la formulación de bioplaguicidas. Este método permite tener un mejor control de las variables ambientales y reducir los tiempos de producción (Jaronski, 2014). Sin embargo, la implementación a escala comercial requiere de una considerable inversión en equipamiento para la producción masiva de micoinsecticidas, y es uno de los métodos más aplicados a escala comercial (Mascarín y Jaronski, 2016).

La fermentación líquida se puede realizar de forma estacionaria o por fermentación sumergida. La primera produce micelios y conidios aéreos, por el contrario, la segunda opción produce blastosporas, conidios de microciclo, o microesclerocios en un medio líquido agitado y aireado (Jaronski, 2014). Los medios de cultivo deben ser ricos en nutrientes con altas concentraciones de carbono y nitrógeno para inducir la producción de blastosporas o conidios. Una relación de C:N óptima induce el crecimiento del hongo bajo condiciones controladas (Pham y col., 2009).

Según García y col. (2013) el medio de cultivo SDA (Sabouraud dextrose agar) proporciona nutrientes adecuados para el desarrollo de *B. bassiana* en un periodo de incubación de 15 días a 30 °C. Así mismo, Pham y col. (2009) señalan que los inóculos de conidios para medios de cultivos líquidos se deben obtener a partir de cultivos esporulados de dos semanas de edad en Agar Papa Dextrosa (PDA) a una temperatura de 25 ± 1 °C. La cosecha de los conidios se realiza mediante un raspado del inóculo con una solución de tween 80 al 0,02% (Lee y col., 2016). Se inoculan los matraces que contiene medio de cultivo líquido con melaza como fuente de carbono (García y col., 2013), caldo de levadura o glucosa por 6 días a una temperatura de 24-26 °C (Lee y col., 2016) en un agitador rotatorio a 200 rpm hasta conseguir una suspensión estable (Pham y col., 2009). La suspensión obtenida se utiliza para inocular el fermentador en una concentración del 10% referente al volumen del fermentador, con una fase de propagación de 4 días hasta que el hongo alcance el 80% de la fase logarítmica de crecimiento (García y col., 2013).

Tabla 2. Sustratos utilizados para la fermentación sólida de *Beauveria bassiana*.

Inóculo	Sustrato	Incubación	Producción en sustrato	Referencia
1×10^7 conidios·mL ⁻¹	Cebada	25 °C/14 días	s/n	Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008)
1×10^8 conidios·mL ⁻¹	Cáscara de arroz	28 °C/14 días	$4,3 \times 10^8$ esporas·g ⁻¹	Mishra, Kumar y Malik (2016)
1×10^8 esporas·mL ⁻¹	Salvado de trigo	28 °C/14 días	$2,1 \times 10^8$ esporas·g ⁻¹	Mishra, Kumar y Malik (2016)
$3,5 \times 10^9$ conidios·mL ⁻¹	Arroz quebrado	25 °C/7 días	10^9 conidios·g ⁻¹	López-Sosa, García-Gómez y Gaona (2018)
1×10^6 blastosporas·mL ⁻¹	Avena	25 °C/14 días	10^8 conidios·g ⁻¹	Rodríguez-Gámez y col. (2017)
6×10^6 esporas·mL ⁻¹	Harina de arroz	30 °C/5 días	$6,2 \times 10^{10}$ esporas·g ⁻¹	Deepak y col. (2019)
$6,6 \times 10^6$ esporas·mL ⁻¹	Cáscara de arroz	25 °C/7 días	$1,3 \times 10^9$ esporas·g ⁻¹	Sala y col. (2021)

Los sustratos utilizados para la elaboración de los medios de cultivos líquidos deben ser de bajos costos, y al mismo tiempo deben proporcionar las condiciones adecuadas para la producción de blastosporas o conidios (Mascarin y col., 2015). En este contexto, Pham y col. (2009) comunica que un medio de cultivo con harina de maíz al 3%, polvo de maceración de maíz 2% y de salvado de arroz 2% permite obtener una producción de $8,54 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹. En cambio, García y col. (2013) informa que para la producción de blastosporas el medio óptimo debe tener melaza 14,5mL·L⁻¹, (NH₄)₂SO₄ 6 g·L⁻¹, KH₂PO₄ 3,5 g·L⁻¹, MgSO₄ 0,5 g·L⁻¹, NaCl 0,1g·L⁻¹, CaCl₂ 0,1g·L⁻¹, y se puede obtener una producción $8,40 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹. Por otro lado, Elías-Santos y col. (2021) informa que un medio de cultivo con 20 g de harina de pericarpio de cacahuate y 200 g de glucosa de maíz permite obtener $5,10 \times 10^8$ blastosporas·mL⁻¹.

De igual forma, las condiciones ambientales son importantes para la producción *Beauveria bassiana* en medios de cultivos sumergidos. El rango de temperatura se sitúa ente los 25-30 °C, pH del medio de cultivo 5.4, agitación constante de 200 a 400 rpm, hasta que el hongo pueda alcanzar el 80% de la fase logarítmica de crecimiento (Pham y col., 2009; García y col., 2013; Elías-Santos y col., 2021). En la Tabla

3 se pueden observar los medios de cultivos y las condiciones ambientales para la producción de *B. bassiana* por fermentación de sustratos líquidos.

8 Producción de metabolitos secundarios de *Beauveria bassiana*

El entomopatógeno *Beauveria bassiana* secreta una gran variedad de enzimas y metabolitos biológicamente activos (Amobonye y col., 2020), con potenciales de aplicación en los sectores industriales, agrícolas y farmacéuticos, entre otros (Mancillas-Paredes y col., 2019). Las enzimas más importantes producidas por *B. bassiana* son las quitinasas, lipasas y proteasas, aunque también producen amilasa, asparaginasa, celulasa, galactosidasa, etc. (Amobonye y col., 2020); y metabolitos con actividad insecticida (Tabla 4) como beauvericina (Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019), bassiacridin (Quesada-Moraga y Vey, 2004), bassianolide (Patočka, 2016), antivirales y antibacteriales como oosporein (Jeffs y Khachatourians, 1997), y bassianin como inhibidor de la ATP (Patočka, 2016). La producción de metabolitos secundarios está influenciada por las condiciones ambientales y nutrientes disponibles en el medio de cultivo (Ávila-Hernández y col., 2020) (Tabla 5).

Tabla 3. Fermentación en sustratos líquidos de *Beauveria bassiana*.

Cepa	Inóculo	Medio de cultivo	Incubación	Producción	Referencia
GHA	1×10^7 conidio·mL ⁻¹	50 g glucosa, 50 g sacarosa y 20 g licor macerado de maíz	26 °C/3 días 300 rpm	$6,38 \times 10^9$ blastosporas·mL ⁻¹	(Chong-Rodríguez y col., 2011)
Iran 441c	1×10^4 conidio·mL ⁻¹	Melaza de caña de azúcar	25 °C/3 días	$2,4 \times 10^8$ esporas·mL ⁻¹	(Latifian y col., 2013)
ATP-02	5×10^4 esporas·mL ⁻¹	5% remolacha azucarera	25 °C/8 días 600 rpm	$5,32 \times 10^{10}$ esporas·mL ⁻¹	(Lohse, Jakobs-Schönwandt y Patel, 2014)
GHA	5×10^6 conidio·mL ⁻¹	100 g glucosa 25 g harina de semillas de algodón	28 °C/3 días 350 rpm	$11,6 \pm 0,6 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Mascarin y col., 2015)
ESALQ1 432	5×10^6 conidio·mL ⁻¹	100 g glucosa y 25 g harina de semillas de algodón	28 °C/3 días 350 rpm	$12,4 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Mascarin y col., 2015)
KK5	5×10^7 conidio·mL ⁻¹	3% de harina de maíz 2% de maíz en polvo 2% de salvado de arroz	25 °C/2 días 200 rpm	$8,54 \times 10^8$ blastosporas·mL ⁻¹	(Atef y Behle, 2017)

9 Aplicación de bioplaguicidas en la agricultura

El crecimiento poblacional, la degradación del medio ambiente (Thakur y col., 2020), la demanda de cultivos libres de químicos y las estrictas regulaciones de los plaguicidas en países europeos y norte de América (Mascarin y Jaronski, 2016) representan un desafío para la producción de alimentos en todo el mundo. La agricultura convencional depende de los plaguicidas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas. Una alternativa que contribuye a reducir la incidencia de fitófagos o fitopatógenos son los bioplaguicidas formulados a través de la reproducción de microorganismos benéficos o la producción de metabolitos con actividades insecticidas, fungicidas o bactericidas (Tabla 6). Las ventajas que poseen estos formulados es que se degradan de forma natural en el ambiente, no almacenan residuos en los tejidos vegetales, no crean resistencias hacia los activos que

producen, y disminuyen la presencia de enemigos naturales en los cultivos (Thakur y col., 2020).

La creciente aceptación de los productos biológicos ha permitido desarrollar formulaciones a partir de hongos entomopatógenos, por fermentaciones sólidas, líquidas, bifásicas y metabolitos secundarios. En la actualidad, se utilizan con frecuencia en los programas fitosanitarios de los cultivos agrícolas para controlar poblaciones de insectos fitófagos (Luo y col., 2014). La actividad insecticida de *B. bassiana* es más rápida en relación con otros microorganismos entomopatógenos, y los conidios pueden persistir por más tiempo en el ambiente. Además, Sabbahi, Merzouki y Guertin (2008) afirma que las posibilidades de adquirir resistencia por parte de los insectos hacia *B. bassiana* es nula, debido a los diferentes modos de acción que el hongo utiliza para invadir el cuerpo de los huéspedes, y al ser un organismo vivo puede adaptarse a los cambios del hospedador.

Tabla 4. Metabolitos secretados por *Beauveria bassiana* para el control de artrópodos.

Metabolitos	Modo de acción	Dosis	Objetivo	% de Mortalidad	Referencia
Bassiacridin	Insecticida	2,8 µg·g ⁻¹	<i>Locusta migratoria</i>	50 %	(Quesada-Moraga y Vey, 2004)
Oosporein	Antibacterial	100 µg·mL ⁻¹	<i>Enterococcus faecalis</i>	81 %	(Fan y col., 2017)
Oosporein	Antibacterial	10 µg·mL ⁻¹	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	34 %	(Fan y col., 2017)
Beauvericina	Insecticida	100 µg·g ⁻¹	<i>Tetranychus urticae</i>	100 %	(Al Khoury, Guillot y Nemer, 2019)

Tabla 5. Medios de cultivos formulados para la producción de metabolitos secundarios de *Beauveria bassiana*.

Fermentación	Metabolitos	Medio de cultivo	Dosis	Referencia
Sumergida	Tenellin/ Bassianin	Glucosa (20 g·L ⁻¹), Tartrato de amonio (4,6 g·L ⁻¹), KH ₂ PO ₄ (1 g·L ⁻¹), MgSO ₄ ·7H ₂ O (0,5 g·L ⁻¹), NaCl (0,1 g·L ⁻¹), CaCl ₂ (0,1 g·L ⁻¹), CuSO ₄ +5H ₂ O (3,93 × 10 ⁴ g·L ⁻¹), H ₃ BO ₃ (5,7 × 10 ⁻⁵ g·L ⁻¹), (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O (3,68 × 10 ⁻⁵ g·L ⁻¹), MnSO ₄ ·H ₂ O (6,1 × 10 ⁻⁵ g·L ⁻¹), ZnSO ₄ ·7H ₂ O (8,79 × 10 ⁻³ g·L ⁻¹), FeSO ₄ ·7H ₂ O (9,96 × 10 ⁻⁴ g·L ⁻¹).	60 mg·L ⁻¹	(Basyouni, Brewer y Vining, 1968)
Sumergida	Oosporein	Glucosa (20 g·L ⁻¹), Difco neopeptona (20 g·L ⁻¹), Glicina (5 g·L ⁻¹), KH ₂ PO ₄ (2 g·L ⁻¹), MgSO ₄ ·7H ₂ O (1 g·L ⁻¹).	100 mg·L ⁻¹	(Basyouni, Brewer y Vining, 1968)
Sumergida	Bassiacridin	40 g Glucosa·L ⁻¹ , 40 g Extracto de levadura·L ⁻¹ , 30 g Maíz macerado licor·L ⁻¹	2,8 µg·g ⁻¹	(Quesada-Moraga y Vey, 2004)
Sumergida	Tenellin	Manitol (50 g·L ⁻¹), KNO ₃ (5 g·L ⁻¹), KH ₂ PO ₄ (1 g·L ⁻¹), MgSO ₄ ·7H ₂ O (0,5 g·L ⁻¹), NaCl (0,1 g·L ⁻¹), CaCl ₂ (0,2 g·L ⁻¹), FeSO ₄ ·7H ₂ O (20 mg·L ⁻¹), Solución de iones minerales-2 (10 mL),	Sin información	(Eley y col., 2007)

Tabla 5 – Continuación de la tabla

		ZnSO ₄ ·7H ₂ O (880 mg·L ⁻¹), CuSO ₄ ·5H ₂ O (40 mg·L ⁻¹), MnSO ₄ ·4H ₂ O (7,5 mg·L ⁻¹), Ácido bórico (6 mg·L ⁻¹), (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O (4 mg·L ⁻¹).		
Sumergida	Pigmento rojo	Glucosa (40 g·L ⁻¹) Extracto de levadura (5,0 g·L ⁻¹), NaNO ₃ (1,0 g·L ⁻¹), KH ₂ PO ₄ (2,0 g·L ⁻¹), KCl (0,5 g·L ⁻¹), MgSO ₄ ·7H ₂ O (0,5 g·L ⁻¹), FeSO ₄ ·7H ₂ O (0,02 g·L ⁻¹).	480 mg·L ⁻¹	(Amin y col., 2010)

Fuente: Ávila-Hernández y col. (2020).

La eficacia del bioplaguicida *Beauveria bassiana* depende de la integración en los programas de manejo integrado de plagas para potenciar la eficacia en el control de insectos (Mascarin y Jaronski, 2016). Si bien *B. bassiana* es un microorganismo eficaz para el control biológico de insectos, las condiciones ambientales juegan un papel importante en el mecanismo de acción del entomopatógeno, por ello resulta indispensable desarrollar nuevas tecnologías para la producción de los compuestos activos, que potencien las formulaciones de biopesticidas.

10 Conclusiones

La elaboración de biopesticidas a base de *Beauveria bassiana* se puede realizar a través de fermentaciones sólidas y líquidas. El primer protocolo ha sido ampliamente utilizado debido que requiere una baja inversión en equipamientos y no se emplean protocolos complejos en la producción y formulación. Sin embargo, es necesario emplear un sustrato de bajo costo y controlar exhaustivamente las fases de cada proceso para evitar eventos de contaminación. Por otro lado, la fermentación líquida

permite ejercer un mayor control de las variables ambientales, reduce los tiempos de producción, pero la implementación a escala comercial requiere de una considerable inversión en equipamiento para la producción masiva de micoinsecticidas.

Para los procesos de fermentación es necesario controlar las variables ambientales, ya que estos factores influyen en la producción de esporas y blastosporas. Las condiciones óptimas consisten en mantener una temperatura de 25 °C, humedad relativa de 65 a 70 %, pH de 5.4, tiempo de propagación entre 4 a 8 días, y solo para el proceso de fermentación líquida el inóculo requiere de agitación constante entre 200 a 400 rpm.

Contribución de los autores

JRLM; Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Escritura del borrador original, revisión y edición. JWMT; Adquisición de financiación y supervisión. ICLM; Validación y administración del proyecto. YAOG; Recursos y visualización.

Tabla 6. Formulados comerciales de *Beauveria bassiana*.

NOMBRES COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	CULTIVOS	PLAGA	DOSIS	SITIO DE APLICACIÓN	REFERENCIA
EFICAX	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^9 conidios·mL ⁻¹	Cacao Banano Maíz	Grillos Chinches Saltones de la hoja	5cc/L	Follaje Suelo	(Agroinsumos del Sur, 2021)
Bovetrópico WP	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^9 esporas viables·g ⁻¹	Algodón Naranja Café Aguacate Rosa	Mosca blanca Broca del café Pasador del fruto Arañita roja	500 g/ha	Follaje	(Invesa, 2021)
BOTANIGARD CS	<i>Beauveria bassiana</i> cepa GHA	$2,11 \times 10^{10}$ conidios·mL ⁻¹	Algodón Hortícolas	Mosca blanca	1-1.50 L/ha	Follaje	(Certiseurope, 2021)
Biotech BMI	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^6 esporas·mL ⁻¹	Solanáceas	Mosquita blanca Gusano del fruto	1-2 L/ha	Follaje	(FAGRO, 2022)
			Maíz Sorgo	Gusano cogollero Gusano del fruto	1-3 L/ha	Follaje Suelo	
			Brócoli Col Coliflor Col de Bruselas	Gallina ciega Gusano del fruto Gusano Soldado	1-4 L/ha	Follaje	
			Aguacatero	Barrenador de ramas	1-4 L/ha	Follaje	

NOMBRES COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	CULTIVOS	PLAGA	DOSIS	SITIO DE APLICACIÓN	REFERENCIA
Biotech BMI	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^6 esporas·mL ⁻¹	Pepino Sandía, Melón, Calabaza	Mosquita blanca	1-2 L/ha	Follaje	(FAGRO, 2022)
MICOSIS	<i>Beauveria bassiana</i>	1×10^{10} esporas·g ⁻¹	Café	Broca del café	1 a 1,5 kg/ha	Foliar	(Agroactivo, 2020)
			Cítricos	Picudo de cítricos Ácaros	1 kg/ha	Foliar	
			Aguacate	Mosca blanca Ácaros y trips	1 kg/ha	Foliar	
			Plátano Banano	Picudo rayado Picudo negro	20 g a 1 kg/ha	Trampas suelo	
			Guanábana	Chinche de encaje Escamas	1 a 1.5 kg/ha	Foliar	
			Flores Follajes	Trips Mosca blanca	1.5 kg/camas	Foliar	
			Papa	Trozadores Gusano blanco Pulgilla	1 a 1,5 kg/ha	Follaje Suelo	
			Arroz	Defoliadores Ácaros	1 kg/ha	Foliar	
			Palma De Aceite	Raspador del fruto Picudo	1 kg/ha	Foliar	
			Forestales	Defoliadores	1 kg/ha	Foliar	
			Pasifloras	Trips Mosca blanca Escamas	1 kg/ha	Foliar	

Referencias

- Agroactivo (2020). *Micosis (Beauveria bassiana)*. Online: <https://bit.ly/4cSV7T0>.
- Agroinsumos del Sur (2021). *Eficax, insecticida biológico de tipo microbia*. Online: <https://bit.ly/3TZEBYV>.
- Al Khoury, C., J. Guillot y N. Nemer (2019). «Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch». En: *Journal of Applied Entomology* 143.9, 974-983. Online: <https://bit.ly/3w12xD1>.
- Alayo, E. y J. Krugg (2014). «Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre el ácaro *Panonychus citri* en condiciones de laboratorio». En: *REBIOL* 34.1, 42-50. Online: <https://bit.ly/43WnN9P>.
- Amin, A. y col. (2010). «Assessment of insecticidal activity of red pigment produced by the fungus *Beauveria bassiana*». En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 26.12, 2263-2268. Online: <https://bit.ly/4cZi8Uh>.
- Amobonye, A. y col. (2020). «Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites». En: *Critical Reviews in Biotechnology* 40.7, 1019-1034. Online: <https://bit.ly/3U4poFI>.
- Atef, M. y R. Behle (2017). «Evaluating a dual microbial agent biopesticide with *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and *Beauveria bassiana* blastospores». En: *Biocontrol Science and Technology* 27.4, 461-474. Online: <https://bit.ly/49HvvWt>.
- Ávila-Hernández, J. y col. (2020). «*Beauveria bassiana* secondary metabolites: A review inside their production systems, biosynthesis, and bioactivities». En: *Mexican Journal of Biotechnology* 5.4, 1-33. Online: <https://bit.ly/4aUiREA>.
- Barcenilla, M. (2021). «Estudio del efecto de *Beauveria bassiana* sobre el complejo de orugas defoliadoras en soja». Universidad Nacional de Córdoba. Online: <https://bit.ly/49LFFPo>.
- Bassi, A. (1835). *Del Mal del Segno, Calcinaccio o Moscardino*. Vol. 1-2. Online: <https://bit.ly/3JnxbR8>.
- Basyouni, S., D. Brewer y L. Vining (1968). «Pigments of the genus *Beauveria*». En: *Canadian Journal of Botany* 46.4, 441-448. Online: <https://bit.ly/4aONfjS>.
- Borges, D. y col. (2010). «Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos». En: *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar* 44.3, 49-55. Online: <https://bit.ly/4aOPmnO>.
- Bugti, G. A. y col. (2018). «Pathogenicity of *Beauveria bassiana* strain 202 against sap-sucking insect pests». En: *Plant Protection Science* 54.2, 111-117. Online: <https://bit.ly/49AvVhf>.
- Certiseurope (2021). *BOTANIGARD 22 WP: Bioinsecticida para el control de mosca blanca en los cultivos de pimiento, tomate, cucurbitáceas y algodón*. Online: <https://bit.ly/3Q5domr>.
- Chong-Rodríguez, M. y col. (2011). «Study of *Beauveria bassiana* growth, blastospore yield, desiccation-tolerance, viability and toxic activity using different liquid media». En: *African Journal of Biotechnology* 10.30, 5736-5742. Online: <https://bit.ly/3UIXOVO>.
- Cortés, A. y T. Mosqueda (2013). «Una mirada a los organismos fúngicos: Fábricas versátiles de diversos metabolitos secundarios de interés biotecnológico». En: *Revista Química Viva* 12.2, 64-90. Online: <https://bit.ly/49z7JvK>.
- Dannon, H., A. Dannon y O. Douro (2020). «Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management». En: *Journal of Cotton Research* 3.24, 2-21. Online: <https://bit.ly/49HTS6e>.
- Deepak, G. y col. (2019). «Production and shelf life evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* in terms of multimetal removal». En: *Biotechnology Research and Innovation* 3.2, 242-251. Online: <https://bit.ly/3TVwbSe>.
- Eley, K. L. y col. (2007). «Biosynthesis of the 2-pyridone tenellin in the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*». En: *ChemBioChem* 8.3, 289-297. Online: <https://bit.ly/4aBXgB8>.
- Elías-Santos, M. y col. (2021). «Design and evaluation of liquid media for the production of blastospores of *Beauveria bassiana*». En: *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24.2, 1-10. Online: <https://bit.ly/3JmZqsk>.
- Everton, V. y col. (2016). «Patogenicidade de *Beauveria bassiana* no controle *in vitro* da lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*)». En: *Revista de Ciências Agrárias* 39.1, 89-94. Online: <https://bit.ly/4aC09lh>.
- FAO (2022). *Biotech BMI: Control de plagas y enfermedades*. Farmacia Agroquímica de México. Online: <https://bit.ly/4aXzP4U>.
- Fan, Y. y col. (2017). «Regulatory cascade and biological activity of *Beauveria bassiana* oosporein that limits bacterial growth after host death». En:

- National Academy of Sciences 114.9, E1578-E1586. Online: <https://bit.ly/3Jr9QXG>.
- Feng, M., T. Poprawski y G. Khachatourians (2008). «Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status». En: *Biocontrol Science and Technology* 4.1, 3-34. Online: <https://bit.ly/444RDJm>.
- García, C. y col. (2013). «Estudio de las condiciones de mezclado en fermentador para la producción de blastosporas de *Beauveria bassiana*». En: *Revista Colombiana de Biotecnología* 15.2, 47-54. Online: <https://bit.ly/3TVGp54>.
- Gerónimo, J. y col. (2016). «Caracterización de aislamientos nativos de *Beauveria bassiana* y su patogenicidad hacia *Hypothenemus hampei*, en Tabasco, México». En: *Revista Colombiana de Entomología* 42.1, 28-35. Online: <https://bit.ly/3U4QkFB>.
- Gómez, H. y col. (2014). *Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). Online: <https://bit.ly/49IfmA9>.
- Góngora, C. y col. (2020). «Evaluación de *Beauveria bassiana* para el control de *Monalonion velezelegli* (Hemiptera: Miridae) en el cultivo del café». En: *Revista Colombiana de Entomología* 46.1, e7685. Online: <https://bit.ly/4aTRMBp>.
- Greenfield, M. y col. (2016). «*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation». En: *Biological Control* 95, 40-48. Online: <https://bit.ly/3Q6uMXI>.
- Harith-Fadzilah, N., I. Abd Ghani y M. Hassan (2021). «Omics-based approach in characterising mechanisms of entomopathogenic fungi pathogenicity: A case example of *Beauveria bassiana*». En: *Journal of King Saud University - Science* 33.2. Online: <https://bit.ly/3Q5e8bk>.
- Inglis, G., M. Goettel y D. Johnson (1993). «Persistence of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on phylloplanes of crested wheatgrass and alfalfa». En: *Biological Control* 3.4, 258-270. Online: <https://bit.ly/3U3TYiQ>.
- Invesa (2021). BOVETROPICO WP: *Ficha técnica*. Online: <https://bit.ly/4d4Tfa0>.
- Jaronski, S. (2014). «Chapter 11 - Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art». En: *Mass Production of Beneficial Organisms*. Academic Press, 357-413. Online: <https://bit.ly/3W0HDhY>.
- Jeffs, L. y G. Khachatourians (1997). «Toxic properties of *Beauveria* pigments on erythrocyte membranes». En: *Toxicon* 35.8, 1351-1356. Online: <https://bit.ly/4aXPXU1>.
- Kumar, S. (2012). «Biopesticides: A need for food and environmental safety». En: *Journal of Biofertilizers and Biopesticides* 3.4, 1-3. Online: <https://bit.ly/3JrbloM>.
- Kumar, S. y A. Singh (2015). «Biopesticides: Present status and the future prospects». En: *Journal of Fertilizers and Pesticides* 6.2. Online: <https://bit.ly/3Q8dZDY>.
- Lara-Juache, H. y col. (2021). «Characterization of a biofilm bioreactor designed for the single-step production of aerial conidia and oosporein by *Beauveria bassiana* PQ2». En: *Journal of Fungi* 7.8, 582. Online: <https://bit.ly/4b1tYf7>.
- Latifian, M. y col. (2013). «Mass production of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) by using agricultural products based on liquid-solid diphasic method for date palm pest control». En: *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5.19, 2337-2341. Online: <https://bit.ly/3JmZ98H>.
- Lee, S. y col. (2016). «Screen bag formulation of *Beauveria* and *Metarhizium* granules to manage *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae)». En: *Journal of Asia-Pacific Entomology* 19.3, 887-892. Online: <https://bit.ly/3Q6w7xI>.
- Lengai, G. y J. Muthomi (2018). «Biopesticides and their role in sustainable agricultural production». En: *Journal of Biosciences and Medicines* 6.6, 7-41. Online: <https://bit.ly/4aUwWlq>.
- León, G., J. Campos y J. Arguelles (2019). «Patogenicidad y autodiseminación de cepas promisorias de hongos entomopatógenos sobre *Rhynchophorus palmarum* L. Coleoptera: Dryophthoridae». En: *Agronomía Mesoamericana* 30.3, 631-646. Online: <https://bit.ly/4d14WOP>.
- Lohse, R., D. Jakobs-Schönwandt y A. Patel (2014). «Detección de medios líquidos y fermentación de una cepa endofítica de *Beauveria bassiana* en un biorreactor». En: *AMB Express* 4.47, 2-11. Online: <https://bit.ly/4cXCnSq>.
- López-Sosa, D., M. García-Gómez y O. Núñez Gao (2018). «Análisis cualitativo de la producción de enzimas de *Beauveria bassiana* en fermentación sólida utilizando un inductor». En: *Mexican Journal of Biotechnology* 3.3, 26-35. Online: <https://bit.ly/4aAYjKx>.

- Luo, Z. y col. (2014). «Ablation of the creA regulator results in amino acid toxicity, temperature sensitivity, pleiotropic effects on cellular development and loss of virulence in the filamentous fungus *Beauveria bassiana*». En: *Environmental Microbiology* 16.4, 1122-1136. Online: <https://bit.ly/3Jl0Y64>.
- Luo, Z. y col. (2017). «The PacC transcription factor regulates secondary metabolite production and stress response, but has only minor effects on virulence in the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*». En: *Environmental Microbiology* 19.2, 788-802. Online: <https://bit.ly/3UlpM47>.
- Mancillas-Paredes, J. y col. (2019). «Proteases and chitinases induced in *Beauveria bassiana* during infection by *Zabrotes subfasciatus*». En: *Southwestern Entomologist* 44.1, 125-137. Online: <https://bit.ly/3W9cwAO>.
- Marín, V. y col. (2018). «Metabolitos y conidios de *Beauveria bassiana* como control de mosquito negro fungoso, bajo condiciones de invernadero». En: *Southwestern Entomologist* 43.3, 691-703. Online: <https://bit.ly/3W300Dg>.
- Mascarin, G. M. y col. (2015). «Liquid culture fermentation for rapid production of desiccation tolerant blastospores of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* strains». En: *Journal of Invertebrate Pathology* 127, 11-20. Online: <https://bit.ly/4aVw2oP>.
- Mascarin, G. y S. Jaronski (2016). «The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide». En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 32.11. Online: <https://bit.ly/4cU4AcV>.
- Meyling, N. V. y J. Eilenberg (2007). «Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control». En: *Biological Control* 43.2, 145-155. Online: <https://bit.ly/4aJvhzC>.
- Mishra, S., P. Kumar y A. Malik (2016). «Suitability of agricultural by-products as production medium for spore production by *Beauveria bassiana* HQ917687». En: *Int J Recycl Org Waste Agricult* 5, 179-184. Online: <https://bit.ly/44jeXTP>.
- Monzón, A. (2001). «Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua». En: *Manejo Integrado de Plagas* 63, 95-103. Online: <https://bit.ly/4aCEaL8>.
- Muñoz, J., W. De la Rosa y J. Toledo (2009). «Mortalidad de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) por diversas cepas de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin, en condiciones de laboratorio». En: *Acta Zoológica Mexicana* 25.3, 609-624. Online: <https://bit.ly/3vZcm4z>.
- Patočka, J. (2016). «Bioactive metabolites of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*». En: *Military Medical Science Letters* 85.2, 80-88. Online: <https://bit.ly/4cXVZWx>.
- Pham, T. A. y col. (2009). «Production of blastospore of entomopathogenic *Beauveria bassiana* in a submerged batch culture». En: *Mycobiology* 37.3, 218-224. Online: <https://bit.ly/3JoqQy8>.
- Quesada-Moraga, E. y A. Vey (2004). «Bassiacridin, a protein toxic for locusts secreted by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*». En: *Mycological Research* 108.4, 441-452. Online: <https://bit.ly/4d0MCVV>.
- Rodríguez-Gámez, L. y col. (2017). «Evaluación de sustratos naturales para la producción de conidios de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypocreales: Cordicipitaceae) en cultivo bifásico». En: *Interciencia* 42.11, 739-743. Online: <https://bit.ly/49GGuPO>.
- Ruiz, E. y col. (2009). «Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.)». En: *Fitosanidad* 13.2, 89-94. Online: <https://bit.ly/4bgxHFN>.
- Sabbahi, R., A. Merzouki y C. Guertin (2008). «Efficacy of *Beauveria bassiana* against the strawberry pests, *Lygus lineolaris*, *Anthonomus signatus* and *Otiorrhynchus ovatus*». En: *Journal of Applied Entomology* 132.2, 151-160. Online: <https://bit.ly/3xPIAj2>.
- Sala, A. y col. (2021). *Producción de biopesticidas fúngicos: una alternativa para la valorización de residuos agroindustriales*. IndustriAmbiente. Online: <https://bit.ly/3xQEyab>.
- Salazar, L. y col. (2020). «Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial». En: *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* 39.4, e620. Online: <https://bit.ly/3vVDukV>.
- Thakur, N. y col. (2020). «Chapter 15 - Microbial biopesticides: Current status and advancement for sustainable agriculture and environment». En: *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 243-282. Online: <https://bit.ly/4aXqXfx>.

- Vela, P. y col. (2019). «Producción de *Beauveria* spp. con fines agrícolas». En: *Revista Biorrefinería* 2.2, 16-25. Online: <https://bit.ly/3Q7X5Fg>.
- Vidal, S. y L. Jaber (2015). «Entomopathogenic fungi as endophytes: plant–endophyte–herbivore interactions and prospects for use in biological control». En: *Current Science* 109.1, 46-54. Online: <https://bit.ly/4aZ4dMo>.
- Xiao, G. y col. (2012). «Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*». En: *Scientific Reports* 2, 483. Online: <https://bit.ly/3W2yR37>.



CAMBIOS RELACIONADOS CON LA EDAD EN LA HEMATOLOGÍA Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE CUYES (*CAVIA PORCELLUS*) EN SISTEMA DE CRIANZA INTENSIVO EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO

CHANGES IN THE HEMATOLOGY AND BLOOD METABOLITES OF GUINEA PIGS (*CAVIA PORCELLUS*) UNDER INTENSIVE REARING SYSTEM IN HUMID TROPICAL CONDITIONS

Daniel Paredes-López*¹, Rizal Robles-Huaynate¹, Uriel Aldava-Pardave²
y Miguel Morales-Cauti³

¹Departamento de Ciencia Animal, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Carretera Central Km 1.21, Tingo María, Perú.

²Escuela de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n La Molina, Lima, Perú.

³Departamento de Salud Animal y Salud Pública, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Circunvalación s/n, San Borja, Lima, Perú.

*Autor para correspondencia: daniel.paredes@unas.edu.pe

Manuscrito recibido el 30 de enero de 2021. Aceptado, tras revisión, el 11 de agosto de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

Los cuyes en producción intensiva generan la necesidad de bases fisiopatológicas para diagnosticar su estado de bienestar, salud y producción; las disponibles están referidas a esta especie como animal de laboratorio o de compañía. El objetivo de esta investigación es determinar los perfiles hematológicos y metabolitos sanguíneos en relación con la etapa de producción de cuyes en sistema de crianza intensivo a 660 msnm en trópico húmedo. Cuarenta cuyes clínicamente sanos de las líneas inti x Perú nacidos en trópico de 15-120 días de edad se distribuyeron en cuatro grupos etarios: 15-21, 22-35, 36-60 y 60-120 días. En sangre se determinó los perfiles de eritrocitos, leucocitos, linfocitos, granulocitos, hematocrito y hemoglobina e índices de MCV, MCH y MCHC y en suero sanguíneo los perfiles de glucosa, proteína total (PT), albumina, colesterol total (CT), triglicéridos, ALT, AST y bilirrubina directa (BD). El perfil de hemoglobina y los índices de MCH y MCHC incrementaron con la edad ($p < 0,05$) y los perfiles de eritrocitos, leucocitos, hemoglobina y hematocrito y los índices de MCV, MCH, MCHC mostraron una menor amplitud de intervalos en los cuyes de 15-35 y 61-120 días de edad. Los perfiles de PT, BD y AST incrementaron con la edad ($p < 0,05$) y los perfiles de BD, AST, ALT y CT mostraron la menor amplitud de intervalo entre los 36-120 días de edad. Los perfiles hematológicos y de metabolitos sanguíneos en los cuyes criados en sistema de crianza intensivo en condiciones de trópico húmedos muestran cambios significativos con la edad de producción.

Palabras clave: Bienestar, cuy, sistema de crianza, hematología, producción intensiva.

Abstract

Guinea pigs in intensive production generates an imperative necessity of physio-pathological bases for diagnosing their state of welfare, health, and production; those which are available for this species are referred to as laboratory or companion animal. The aim of this research is to determine changes in hematological and blood metabolites profiles in relation to age of *Cavia porcellus* reared in intensive system at 660 masl in humid tropic. For this purpose, forty 15-120 days old guinea pig in healthy conditions from the inti x Peru lines born in the humid tropic were used and the evaluation ages were 15-21, 22-35, 36-60 and 61-120 days. Blood samples were obtained by puncture of the cephalic vein; profiles of erythrocytes (RBC), total leucocytes (WBC), lymphocytes, granulocytes, hematocrit, hemoglobin, MCV, MCH and MCHC indices were determined. In serum, profiles of glucose, total protein (TP), albumin, total cholesterol (TC), triglycerides, total bilirubin (TB), and direct bilirubin (DB), alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) were determined. Hemoglobin profile, MCH and MCHC indices increased as age increased ($p < 0,05$) and the erythrocytes, leucocytes, hematocrit, hemoglobin profiles and MCV, MCH, MCHC indices showed the narrower interval ranges in the 15-35- and 61-120-days old guinea pigs. Profiles of TP, DB and AST showed increase with age ($p < 0,05$) and the DB, AST, ALT, and TC profiles showed the narrower interval range at 36-120 days old. The hematological and blood metabolites profiles of guinea pigs raised in intensive system in humid tropical conditions show significant changes with production age.

Keywords: Welfare, guinea pigs, rearing system, hematology, intensive production

Forma sugerida de citar: Paredes-López, D., Robles-Huaynate, R., Aldava-Pardave, U. y Morales-Cauti, M. (2024). *Cambios relacionados con la edad en la hematología y metabolitos sanguíneos de cuyes (Cavia porcellus) en sistema de crianza intensivo en condiciones de trópico húmedo*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 40(2):130-140. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.09>.

IDs Orcid:

Daniel Paredes-López: <https://orcid.org/0000-0002-0266-7138>

Rizal Alcides Robles-Huaynate: <https://orcid.org/0000-0001-8013-2481>

Uriel Aldava-Pardave: <https://orcid.org/0000-0001-8298-5445>

Miguel Morales-Cauti: <https://orcid.org/0000-0002-5396-8889>

1 Introducción

El cuy (*Cavia porcellus* L.) es un animal originario de los Andes sudamericanos; su cría en Perú se concentra en las regiones andinas, la costa (Yamada, Bazán y Fuentes, 2019) y recientemente en la región amazónica, siendo caracterizado y criado como un animal productor de carne con alto valor nutricional. Los cuyes han sido criados en los Andes a altitudes superiores a los 3800 msnm durante miles de años, bajo condiciones de frío extremo e hipoxia; asimismo, también se han criado durante siglos a nivel del mar bajo condiciones templadas y normóxicas (Lechner, Salvato y Banchero, 1981; Lechner, Salvato y Banchero, 1980b), adaptándose de manera similar a otras especies animales (Ding y col., 2014; Al-Sweedan y Alhaj, 2012; Snyder, Born y Lechner, 1982).

En Perú, la crianza de cuyes se orientó originalmente hacia el autoconsumo, la seguridad alimentaria, la generación de ingresos adicionales a partir de la venta del remanente y la creación de mayores oportunidades en la fuerza laboral, principalmente para mujeres en áreas rurales (Chauca, 1995). Sin embargo, cada vez más tiende a avanzar hacia un desarrollo de producción intensiva (Olazábal y col., 2019; Yamada, Bazán y Fuentes, 2019), lo que ha generado un aumento en el desarrollo de patologías particulares en la especie (Venturo y Morales-Cauti, 2020; Barrios-Arpi y Morales-Cauti, 2020; Bazán y col., 2019; Paredes-López, Villacorta-López y Valencia-Chamba, 2014; Layme y col., 2011), y para controlar estas patologías es de imperiosa necesidad desarrollar bases fisiopatológicas para diagnosticar su estado de salud y producción.

Estas condiciones, sumadas a los cambios en los factores climáticos y alimenticios, podrían conducir a variaciones fisiológicas adaptativas, y entre ellas, una de las más sensibles es lo que ocurre en la sangre. En medicina preventiva, los cambios fisiológicos en la sangre son parte de la base de datos mínima para cualquier especie animal, con el propósito de interpretar su estado de salud o enfermedad y producción (Ramírez-Borda, Cárdenas-Villanueva y Gómez-Quispe, 2019; Luna y col., 2018; Izurieta y col., 2017; Gupta, Verma y Chaturvedi, 1999).

En muchas especies animales utilizadas para producción, como es el caso del cuy, no están dis-

ponibles los perfiles hematológicos normales y los perfiles de metabolitos sanguíneos, y aquellos que están disponibles generalmente se refieren al cuy como animal de laboratorio (McClure, 1999; Dyer y Cervasio, 2008; Hoffman y Solter, 2008; Zimmerman, Moore y Smith, 2010; Washington y Van Hoosier, 2012; Zimmerman, Moore y Smith, 2015; Alberton, Vergneau-Grosset y Summa, 2019). Por lo tanto, obtener los perfiles sanguíneos de los cuyes durante las diferentes etapas de cría intensiva en un estado normal de salud bajo condiciones tropicales húmedas contribuiría a definir los cambios en los marcadores e indicadores sanguíneos según la edad, con fines de diagnosticar el estado de salud y producción de esta especie animal (Lewis, 1992; Doneley, 2015).

El objetivo del presente trabajo es estudiar los cambios en los perfiles hematológicos y de metabolitos sanguíneos en diferentes edades de producción de cuyes en un sistema de cría intensiva bajo condiciones tropicales húmedas.

2 Materiales y métodos

2.1 Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la granja de zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en Tingo María, Perú, situada a una latitud 09° 17' 58" S y una longitud 76° 01' 07" O, con una altitud de 660 msnm. La zona presenta una precipitación pluvial anual de 3293 mm, una temperatura media anual de 24,85°C, y una humedad relativa del 80% durante la temporada de menor precipitación (junio-septiembre) y del 85% durante la temporada de mayor precipitación (octubre-mayo) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 2021). Este estudio se realizó desde octubre hasta diciembre.

2.2 Animales estudiados

Se utilizaron cuarenta cuyes de entre 15 y 120 días de edad, obtenidos de las líneas Inti x Perú adaptadas al trópico húmedo durante dos años. Las fases de evaluación fueron a los 15– 21 días de edad (inicial), 22– 35 días (crecimiento), 36– 60 días (engorde) y 60– 120 días de edad (adultos).

Se formaron cuatro grupos y cada uno estuvo compuesto por diez cuyes que se alojaron en jaulas separadas, administrándoles una dieta diaria de Pasto King como forraje *ad libitum* y una dieta balanceada para cuyes según su fase de producción (Vergara, 2009). Cada grupo o fase de producción fue independiente de los otros.

2.3 Inmovilización y toma de muestras de sangre

Los cuyes fueron sujetados desde la parte inferior del tronco con una mano y soportados por debajo de las patas traseras con la otra, procurando no comprimir el tórax o el abdomen. La piel fue afeitada y se aplicó alcohol para desinfectar y visualizar la vena cefálica, y las muestras de sangre se obtuvieron mediante la punción de esta (Dyer y Cervasio, 2008; Quesenberry, Donnelly y Mans, 2012).

Toda la sangre obtenida se recogió en vacutainers que contenían 2 mg de EDTA. Para obtener el suero, la sangre se colocó en viales limpios y se dejó coagular durante 1 a 2 horas, luego se centrifugó a 1500 rpm durante tres minutos; después, el suero se separó en vacutainers para preservarlo a -20°C . Se extrajeron diez muestras de sangre completa y diez muestras de sangre para suero de cada uno de los grupos en las fases de 15 a 21, 22 a 35, 36 a 60 y 61 a 120 días de edad.

2.4 Evaluación del perfil hematológico y de metabolitos sanguíneos

En la sangre completa se determinaron el número de eritrocitos (ER), leucocitos (LE), linfocitos (Ly) y granulocitos (Gra) utilizando las técnicas de Neubauer y Wright-Giemsa (Harvey, 2001), y el hematocrito (Ht) se determinó usando la técnica de microhematocrito a 11,000 rpm en una centrífuga Kert Lab Tom's (USA Science Tech Group); la hemoglobina (Hb) se determinó utilizando el método de cianometahemoglobina y se cuantificó usando un espectrofotómetro DIALAB DTN de 405 a 530 nm. Se determinaron los índices de volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH) y concentración media de hemoglobina corpuscular (MCHC) (Samour, Silvanose y Pendl, 2016; Doneley, 2015).

En el suero sanguíneo, el nivel de glucosa se determinó mediante el método de glucosa oxidasa-peroxidasa; la proteína total, utilizando el método complejo EDTA/Cu en hidróxido de sodio; la albúmina, utilizando el método de tetrabromuro de fenolsulfonftaleína; el colesterol total, la alanina transaminasa, el aspartato transaminasa, la bilirrubina total y la bilirrubina conjugada (Laboratorios QAC, España). Las mediciones se tomaron utilizando un espectrofotómetro DIALAB DTN de 405 a 515 y 530 nm.

2.5 Análisis estadístico

Se calcularon los valores promedio y la desviación estándar a partir de los datos obtenidos y posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA); en un paso previo se verificó la suposición de esfericidad entre las mediciones utilizando la prueba de Mauchly. La prueba de comparaciones múltiples se realizó utilizando el test de Bonferroni; en un paso previo se realizó la prueba de normalidad para cada medición usando la prueba de Shapiro-Wilk. Se utilizó el software estadístico Infostat. Las diferencias, con un $p \leq 0,05$, se consideraron significativas.

3 Resultados y discusión

La mayoría de los estudios sobre hematología y perfiles de metabolitos sanguíneos en *Cavia porcellus* encontrados en la literatura científica se refieren a estudios como especie experimental en laboratorio, pero no como una especie para producción de carne, y particularmente bajo sistemas de cría intensiva (Paredes-López y col., 2017; Ramirez-Borda, Cárdenas-Villanueva y Gómez-Quispe, 2019). Como animal de laboratorio, se han obtenido muchas cepas o biotipos de cuyes y para cada uno se han encontrado características de sensibilidad que permiten experimentar diferentes aspectos de una enfermedad específica u otra (Waner y col., 1996; Kitagaki y col., 2005; Genzer y col., 2019).

Se evaluaron los perfiles de células rojas de la sangre, hemoglobina, hematocrito, MCV, MCHC, índices MCH, células blancas de la sangre, porcentaje de granulocitos y linfocitos en cuyes bajo un sistema de cría intensiva en condiciones de trópico húmedo de 15-120 días de edad (Tablas 1 y 2). Los perfiles de hemoglobina y los índices MCH y CMCH

en cuyes de 61–120 días mostraron niveles más altos que los de 15–35 días ($p < 0,05$), pero similares a los cuyes de 35–60 días para los índices MCHC y MCH ($p > 0,05$). Sin embargo, los perfiles de hema-

tocrito y células rojas de la sangre en los cuyes de 22–35 días fueron más bajos que los obtenidos para los de 15–21 y 61–120 días ($p < 0,05$), pero iguales a los de 36–60 días ($p > 0,05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Perfiles hematológicos de cuyes de 15-120 días bajo sistema de cría intensiva en condiciones tropicales húmedas (IC del 95 %).

Perfil Hematología	Valor -p	CV (%)	Edad (días)			
			15-21 $\bar{x} \pm SE$	22-35 $\bar{x} \pm SE$	36-60 $\bar{x} \pm SE$	61-120 $\bar{x} \pm SE$
HCT (%)	0,004	9,26	37,00±0,49 ^a	32,10±0,97 ^b	33,60±1,61 ^{ab}	36,40±0,60 ^a
Hgb (gdL ⁻¹)	0,000	10,49	11,88±0,30 ^c	11,04±0,22 ^c	13,73±0,74 ^b	15,65±0,27 ^{ba}
WBC (×10 ³)	0,000	17,94	3,38±0,13 ^b	5,74±0,25 ^a	3,08±0,31 ^b	3,47±0,15 ^b
RBC (×10 ⁶)	0,003	9,62	4,03±0,06 ^a	3,43±0,11 ^b	3,70±0,18 ^{ab}	3,93±0,07 ^a
MCHC (gdL ⁻¹)	0,000	10,06	32,11±0,73 ^b	34,53±0,68 ^b	41,23±1,92 ^a	43,10±1,04 ^a
MCH (pg)	0,000	8,86	29,44±0,64 ^b	32,30±0,65 ^b	37,48±1,73 ^a	39,97±0,93 ^a
MCV (fl)	0,169	3,08	91,76±0,56 ^a	93,69±1,54 ^a	90,91±0,00 ^a	92,70±0,74 ^a
GRAN (%)	0,000	33,12	31,30±4,48 ^b	29,80±3,28 ^b	22,20±1,40 ^b	46,30±4,02 ^a
LYM (%)	0,001	16,95	65,10±4,07 ^{ab}	68,50±3,47 ^a	74,50±1,99 ^a	52,80±4,04 ^b

CV: coeficiente de variación; abc: letras distintas dentro de cada variable expresan diferencias significativas con un 95 % de confianza utilizando el método de Bonferroni ($p \leq 0,05$);

\bar{x} : media aritmética; SE: error estándar; HCT: hematocrito, Hgb: hemoglobina, WBC: leucocitos (células blancas de la sangre), RBC: células rojas de la sangre, MCHC: concentración media de hemoglobina corpuscular, MCH: hemoglobina corpuscular media, MCV: volumen corpuscular medio, GRAN: granulocitos.

Los perfiles eritrocitarios obtenidos en este estudio en cuyes locales con diferencias en genética, nutrición y propósitos de cría, siguen tendencias similares a las de las referencias establecidas para cepas o biotipos de cuyes de laboratorio (Zimmerman, Moore y Smith, 2010; McClure, 1999), y la cepa 13/N (Genzer y col., 2019); (Dunkin-Hartley) (Waner y col., 1996); Weiser-Maples (Kitagaki y col., 2005). No obstante, estos perfiles son mucho más bajos que los obtenidos de cuyes criados en ambientes de hipoxia (pO_2 : 80 Torr) y una temperatura de 22°C (Lechner, Salvato y Banchemo, 1980a), un ambiente de hipoxia (pO_2 : 85 Torr) y una temperatura de 6°C; condiciones similares a las de más de 4000 msnm (Lechner, Salvato y Banchemo, 1981), donde los perfiles eritrocitarios aumentaron entre un 13 y un 42% con respecto a los niveles de referencia, además de ser más bajos que los perfiles eritrocitarios obtenidos de cuyes en ambientes de oxígeno normal (pO_2 =133 Torr) y temperatura de 5°C (Lechner, Salvato y Banchemo, 1980c).

El mayor perfil de células rojas sanguíneas mostrado en cuyes criados en un ambiente de hipoxia,

en comparación con aquellos en ambientes de normoxia como en el presente estudio, está asociado con el hecho de que la baja presión de oxígeno estimula un aumento en los niveles de eritropoyetina, lo cual a su vez estimula la eritropoyesis como mecanismo de compensación para restablecer los niveles de presión de oxígeno en el organismo (Reece, 2015).

En este estudio se demostró que los niveles de hematocrito y el número de eritrocitos variaron con la edad o estado fisiológico ($p < 0,05$). Es importante señalar que el hematocrito y los eritrocitos disminuyeron en los cuyes de 21-35 días y restablecieron sus niveles en los cuyes de 61–120 días, lo cual es similar a lo reportado por Lechner, Salvato y Banchemo (1980b). Se han reportado diferentes tendencias en cuyes de la cepa 13/N, en los cuales estos parámetros aumentaron con la edad dentro de un período de seis meses. No obstante, los niveles de hemoglobina, MCH y MCHC aumentaron con la edad de los cuyes en el presente estudio ($p < 0,05$), y estos fueron evidentes en los de 36–120 días. Los resultados contrastan con los obtenidos en la cepa

13/N, donde los niveles de estos perfiles fueron mayores en cuyes jóvenes que en adultos (Genzer y col., 2019), así como los resultados reportados por Lechner, Salvato y Banchemo (1980a).

Los perfiles de leucocitos y linfocitos en los cuyes de 22–35 días mostraron niveles mayores que los observados en los de 15–21 y 61–120 días ($p < 0,05$); sin embargo, el perfil de granulocitos fue mayor en los de 61–120 días que en aquellos de 15–60 días de producción ($p < 0,05$).

El perfil de leucocitos alcanzó su pico en los cuyes de 22 a 35 días, descendiendo y manteniéndose estable en el mismo nivel en los cuyes de 36 a 120 días. Los linfocitos y granulocitos no variaron en los cuyes de 15 a 60 días; posteriormente, los linfocitos disminuyeron y los granulocitos aumentaron en los

de 61 a 120 días. Se observaron tendencias similares en cuyes de la cepa 13/N para los leucocitos y linfocitos, sin embargo, fue diferente para los granulocitos, para los cuales también disminuyeron los neutrófilos con la edad (Genzer y col., 2019).

Para estos perfiles hematológicos se establecieron intervalos de amplitud de referencia para cada fase de producción del cuy. Los intervalos de las medias mostraron diferentes amplitudes en las cuatro fases de producción y dentro de estas, las medias de granulocitos y linfocitos en los cuyes de 15–21, 61–120 y 22–35 días mostraron desde la mayor hasta la menor, la mayor amplitud. Por otro lado, las medias de RBC, WBC, hemoglobina y hematocrito y los índices MCV, MCH y MCHC, en los cuyes de 15–21, 22–35 y 61–120 días mostraron desde la menor hasta la mayor, la menor amplitud (Tabla 2).

Tabla 2. Intervalos de amplitud de las medias para los perfiles hematológicos de cuyes de 15–120 días bajo sistema de cría intensiva en condiciones tropicales húmedas (IC del 95 %).

Perfiles de Hematología	Edad (días)			
	15-21	22-35	36-60	61-120
Hto (%)	[35,88 – 38,12]	[29,90 – 34,30]	[29,95 – 37,25]	[35,04 – 37,76]
Hb (gdL ⁻¹)	[11,19 – 12,56]	[10,54 – 11,54]	[12,06 – 15,39]	[15,05 – 16,25]
WBC ($\times 10^3$)	[03,08 – 03,68]	[05,17 – 06,30]	[02,38 – 03,77]	[03,13 – 03,81]
RBC ($\times 10^6$)	[03,90 – 04,17]	[03,18 – 03,68]	[03,29 – 04,10]	[03,29 – 04,10]
MCHC (gdL ⁻¹)	[30,47 – 33,75]	[32,99 – 36,07]	[36,88 – 45,59]	[40,76 – 45,45]
MCH (pg)	[28,09 – 30,80]	[31,04 – 33,56]	[33,53 – 41,45]	[37,57 – 42,36]
MCV (fl)	[90,49 – 93,02]	[90,20 – 97,17]	[90,91 – 90,91]	[91,03 – 94,38]
Gra (%)	[21,16 – 41,44]	[22,37 – 37,23]	[19,04 – 25,36]	[41,21 – 59,39]
Ly (%)	[55,89 – 74,31]	[60,65 – 76,35]	[70,00 – 79,00]	[46,67 – 61,93]

Hto: hematocrito, Hb: hemoglobina, WBC: leucocitos (células blancas de la sangre), RBC: células rojas de la sangre, Gra: granulocitos, Ly: linfocitos, MCHC: concentración media de hemoglobina corpuscular, MCH: hemoglobina corpuscular media, MCV: volumen corpuscular medio.

No se encuentran publicaciones que refieran a intervalos de perfiles hematológicos por fases de producción de cuyes, sin embargo, los intervalos encontrados en el presente estudio siguen tendencias similares a los intervalos de referencia establecidos para cuyes experimentales en laboratorio (Zimmerman, Moore y Smith, 2015; Quesenberry, Donnelly y Mans, 2012; McClure, 1999); cepa 13/N (Genzer y col., 2019), y Weiser-Maples (Kitagaki y col., 2005).

Los perfiles e intervalos de metabolitos sanguíneos en los cuyes de 15 a 120 días se muestran en

las Tablas 3 y 4. Los perfiles de bilirrubina total y urea mostraron niveles mayores en los cuyes de 61 a 120 días en comparación con los de 15 a 60 días ($p < 0,05$). En una tendencia similar, los perfiles de proteína total, BD (bilirrubina directa) y AST (aspartato aminotransferasa) fueron mayores en los cuyes de 36 a 120 días que en los de 15 a 35 días ($p < 0,05$). Los perfiles de glucosa y triglicéridos disminuyeron en los cuyes de 22 a 35 días y luego se restablecieron en los de 36 a 120 días ($p < 0,05$).

El perfil de ALT fue mayor en los cuyes de 22 a 35 días en comparación con los de 15–21 y 36–120 días ($p < 0,05$). Por otro lado, el perfil de colesterol

total fue más alto en los cuyes de 15-21 días que en los de 22-120 días ($p < 0,05$) (Tabla 3).

Los perfiles de metabolitos sanguíneos obtenidos en este estudio, al igual que los perfiles hematológicos, siguen tendencias similares a las que se han establecido en cepas y biotipos de cuyes experimen-

tales en laboratorios (Washington y Van Hoosier, 2012; Zimmerman, Moore y Smith, 2010; McClure, 1999), y la cepa 13/N (Genzer y col., 2019), Dunkin-Hartley (Waner y col., 1996), Weiser-Maples (Kitagaki y col., 2005); criollo mejorado (Paredes-López y col., 2017; Ramirez-Borda, Cárdenas-Villanueva y Gómez-Quispe, 2019).

Tabla 3. Perfiles de metabolitos sanguíneos de cuyes de 15-120 días bajo sistema de cría intensiva en condiciones tropicales húmedas (IC del 95 %).

Perfil de Metabolitos en sangre	Valor -p	CV (%)	Edad (días)			
			15-21 $\bar{x} \pm SE$	22-35 $\bar{x} \pm SE$	36-60 $\bar{x} \pm SE$	61-120 $\bar{x} \pm SE$
TP (gdL ⁻¹)	0,000	9,50	6,78±0,25 ^c	6,89±0,33 ^{bc}	7,73±0,14 ^{ab}	8,22±0,10 ^a
AL (gdL ⁻¹)	0,001	8,32	3,94±0,04 ^{ab}	3,57±0,15 ^{bc}	3,50±0,11 ^c	4,04±0,05 ^a
TB (mgdL ⁻¹)	0,000	14,20	0,58±0,02 ^c	0,55±0,02 ^c	0,71±0,06 ^b	0,92±0,02 ^a
DB (mgdL ⁻¹)	0,001	18,91	0,15±0,01 ^b	0,15±0,01 ^b	0,20±0,01 ^a	0,20±0,01 ^a
Glucose(mgdL ⁻¹)	0,000	11,09	86,22±4,80 ^a	59,55±2,62 ^b	87,23±0,71 ^a	86,00±0,93 ^a
TC (mgdL ⁻¹)	0,000	11,56	71,64±2,70 ^a	47,28±1,55 ^b	27,64±0,66 ^c	28,49±0,34 ^c
TG (mgdL ⁻¹)	0,024	31,95	58,08±9,11 ^a	37,17±1,43 ^b	44,57±0,70 ^{ab}	44,14±0,93 ^{ab}
AST (UIL ⁻¹)	0,000	4,90	61,19±0,81 ^c	81,63±2,24 ^b	89,39±0,72 ^a	91,32±0,26 ^a
ALT (UIL ⁻¹)	0,000	6,93	11,34±0,19 ^c	20,30±0,49 ^a	16,41±0,36 ^b	12,19±0,16 ^c
Urea (mgdL ⁻¹)	0,000	11,61	37,70±1,95 ^b	34,06±1,38 ^b	35,55±0,81 ^b	45,63±1,24 ^a

CV: Coeficiente de Variación; abc: Letras distintas dentro de cada fila expresan diferencias significativas con un 95 % de confianza usando el método de Bonferroni ($p \leq 0,05$); \bar{x} : media aritmética; SE: error estándar; HCT: hematocrito, Hgb: hemoglobina, WBC: leucocitos (células blancas de la sangre), RBC: células rojas de la sangre, MCHC: concentración media de hemoglobina corpuscular, MCH: hemoglobina corpuscular media, MCV: volumen corpuscular medio, GRAN: granulocitos.

Los perfiles de proteína total, bilirrubina total, bilirrubina directa, AST y urea muestran una tendencia a aumentar con la edad, presentando niveles mayores entre los 61-120 días. Estos resultados están respaldados por mecanismos fisiológicos que provocan que la proteína total, la albúmina y las globulinas en el suero de todas las especies animales aumenten a medida que se acercan a la fase adulta (Eckersall, 2008).

Los perfiles de proteína total y urea son similares a los reportados por Genzer y col. (2019) y (Kitagaki y col., 2005) en cuyes Weisser-Maple, donde se demostró que los perfiles de estos metabolitos están correlacionados con la edad de los cuyes. Los perfiles de AST y albúmina son diferentes a los encontrados en esos estudios, y en cuanto a los perfiles de bilirrubina total, no se correlacionan con la edad de los cuyes.

Por otro lado, los perfiles de colesterol total (TC)

disminuyeron notablemente a medida que aumentaba la edad, mostrando los niveles más altos entre los 15-21 días de edad, lo que contrasta con los resultados mostrados por (Kitagaki y col., 2005) en cuyes Weisser-Maple, donde este metabolito aumentaba de forma gradual y continua con la edad.

Los perfiles de glucosa, triglicéridos y ALT mostraron niveles homogéneos en las distintas etapas de edad, con resultados similares a los reportados por Genzer y col. (2019) y Kitagaki y col. (2005) en cuyes Weisser-Maple, los cuales también han demostrado que los niveles de estos metabolitos no están correlacionados con la edad de los cuyes. Sin embargo, en los cuyes de 22 a 35 días, la glucosa y los triglicéridos disminuyeron notablemente y el ALT aumentó, y estos metabolitos se restablecieron en los cuyes de 36 a 120 días. Las variaciones de estos metabolitos en esta etapa podrían deberse a la disminución de las reservas energéticas por la supresión de carbohidratos fácilmente degradables

debido al destete, lo que baja los niveles de glucosa y acelera el crecimiento de diferentes tejidos, y, sobre todo, del tejido hepático para metabolizar componentes más complejos que provienen de su nueva dieta, generando un aumento en los perfiles de ALT (Hoffman y Solter, 2008).

Los intervalos medios de los diferentes perfiles sanguíneos mostraron una mayor amplitud en los

cuyes de 15 a 35 días, y dentro de ellos, los triglicéridos, bilirrubina total, glucosa, urea y proteína mostraron la mayor amplitud en los intervalos de mayor a menor, respectivamente. Por otro lado, en los cuyes de 36 a 120 días se encontraron intervalos de menor amplitud y los perfiles de bilirrubina directa, AST, ALT y TC mostraron las menores amplitudes de menor a mayor, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Intervalos de amplitud de las medias para los perfiles de metabolitos sanguíneos de cuyes de 15 a 120 días bajo sistema de cría intensiva en condiciones tropicales húmedas (IC del 95%).

Perfil de metabolitos en sangre	Edad (días)			
	15-21	22-35	36-60	61-120
TP (gdL ⁻¹)	[06,22–07,34]	[06,15–07,64]	[07,42–08,04]	[07,98–08,46]
AL (gdL ⁻¹)	[03,85–04,02]	[03,22–03,91]	[03,25–03,75]	[03,93–04,14]
TB (mgdL ⁻¹)	[00,54–00,62]	[00,51–00,58]	[00,58–00,83]	[00,89–00,95]
DBIL (mgdL ⁻¹)	[00,14–00,17]	[00,12–00,18]	[00,17–00,23]	[00,18–00,21]
Glucose(gdL ⁻¹)	[75,36–97,08]	[53,64–65,47]	[85,61–88,84]	[83,90–88,10]
TC (mgdL ⁻¹)	[65,74–77,74]	[43,77–50,79]	[26,15–29,14]	[27,72–29,26]
TG (mgdL ⁻¹)	[43,56–54,93]	[33,52–40,90]	[42,68–46,27]	[41,69–46,46]
AST (UIL ⁻¹)	[59,36–63,03]	[76,57–86,70]	[87,75–91,03]	[90,72–91,91]
ALT (UIL ⁻¹)	[10,90–11,77]	[19,19–21,41]	[15,59–17,24]	[11,82–12,56]
Urea (mgdL ⁻¹)	[33,29 – 42,11]	[30,95–37,18]	[33,72–37,38]	[42,84–48,43]

TP: protefna total, AL: albúmina, TB: bilirrubina total, DBIL: bilirrubina directa o conjugada, TC: colesterol total, TG: triglicéridos, AST: aspartato transaminasa, ALT: alanina transaminasa.

Al igual que los intervalos para los perfiles hematológicos, no se encuentran publicaciones que refieran a intervalos de perfiles de metabolitos sanguíneos por fase de desarrollo en cuyes destinados a producción. Sin embargo, los intervalos de amplitud media encontrados en el presente estudio siguen tendencias similares a los intervalos de referencia establecidos para cuyes de laboratorio (Quesenberry, Donnelly y Mans, 2012; McClure, 1999; Ness, 1999; Washington y Van Hoosier, 2012; Williams y col., 2016); cepa 13/N (Genzer y col., 2019), Weiser-Maples (Kitagaki y col., 2005).

En los cuyes destinados a producción, debido a las elevadas necesidades metabólicas para responder a la presión de producción, la fisiología hematológica y de metabolitos sanguíneos varía en cortos períodos de edad o etapas, en contraste con los cuyes con el propósito de ser animales de laboratorio. Por lo tanto, es útil disponer de perfiles y sus intervalos de amplitud media para estos perfiles con el

fin de interpretar de manera más adecuada el estado de salud y producción de esta especie animal.

Los perfiles e intervalos de amplitud media de los perfiles hematológicos y de metabolitos sanguíneos obtenidos en este estudio, a pesar de las diferencias genéticas, nutricionales y el propósito de cría, difieren solo ligeramente de aquellos obtenidos en las cepas o biotipos de cuyes para experimentos de laboratorio.

4 Conclusiones

Los perfiles hematológicos y de metabolitos sanguíneos obtenidos de los cuyes criados bajo sistemas de cría intensiva en condiciones tropicales húmedas muestran cambios significativos con la edad de producción.

Estos perfiles son cercanos a los reportados para cuyes utilizados como animales de laboratorio,

criados en ambientes de normoxia, y los perfiles hematológicos son inferiores a los reportados para los cuyes criados en ambientes de hipoxia. No obstante, se deberían realizar estudios en bioquímica endocrina con el propósito de contribuir a las mejoras del bienestar, salud y producción de esta especie.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Agraria de la Selva por apoyar con la infraestructura de campo y todos los costos involucrados para esta investigación como parte del proyecto de investigación institucional y fortalecimiento académico.

Contribución de los autores

D.P.L.: Conceptualización, administración del proyecto, metodología, escritura borrador original; R.R.H.: Análisis formal, investigación, validación, visualización; U.A.P.: Curación de datos, recursos, software; M.M.C.: Adquisición de financiamiento, supervisión, escritura-revisión y edición.

Referencias

Al-Sweedan, S. y M. Alhaj (2012). «The effect of low altitude on blood count parameters». En: *Hematology oncology and stem cell therapy* 5.3, 158-161. Online: <https://n9.cl/dh0z7>.

Alberton, S., C. Vergneau-Grosset y N. Summa (2019). «Advances in exotic animal clinical pathology». En: *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice* 22.3, 367-385. Online: <https://n9.cl/j64qi>.

Barrios-Arpi, L. y S. Morales-Cauti (2020). «Cytomorphological characterization of lymphadenopathies in guinea pigs: study of 31 clinical cases». En: *Journal of Exotic Pet Medicine* 32, 1-5. Online: <https://n9.cl/2m9la>.

Bazán, V. y col. (2019). «Efecto de la infección subclínica de *Salmonella Typhimurium* sobre los parámetros productivos en la producción de cuyes de engorde (*Cavia porcellus*)». En: *Revista de investigaciones veterinarias del Perú* 30.4, 1697-1706. Online: <https://n9.cl/cdcea>.

Chauca, F. (1995). «Producción de cuyes (*Cavia porcellus*) en los países andinos». En: *Revista Mundial de Zootecnia* 83.2, 9-19. Online: <https://n9.cl/f19m7>.

Ding, X. y col. (2014). «Physiological insight into the high-altitude adaptations in domesticated yaks (*Bos grunniens*) along the Qinghai-Tibetan Plateau altitudinal gradient». En: *Livestock Science* 162, 233-239. Online: <https://n9.cl/6yg6b>.

Doneley, B. (2015). «Clinical technique: techniques in the practice diagnostic laboratory: a review.» En: *The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice* 18.1, 137-146. Online: <https://n9.cl/ray9e>.

Dyer, S. y E. Cervasio (2008). «An overview of restraint and blood collection techniques in exotic pet practice». En: *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 11.3, 423-443. Online: <https://n9.cl/x4uf0>.

Eckersall, P. (2008). «Clinical Biochemistry of Domestic Animals». En: Academic Press. Cap. Chapter 5: Proteins, proteomics, and dysproteinemias, págs. 117-155.

Genzer, S. y col. (2019). «Hematology and clinical chemistry reference intervals for inbred strain 13/N guinea pigs (*Cavia porcellus*)». En: *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 58.3, 293-303. Online: <https://n9.cl/c80mx>.

Gupta, R., P. Verma y G. Chaturvedi (1999). «Experimental salmonellosis in Guinea-pigs: haematological and biochemical studies». En: *Veterinary Research Communications* 23, 415-424. Online: <https://n9.cl/97w3z>.

Harvey, J.W. (2001). *Atlas of veterinary Hematology, blood and bone marrow of domestic animals*. Saunders. Philadelphia, PA : Saunders.

Hoffman, W. y P. Solter (2008). «Clinical Biochemistry of Domestic Animals». En: Academic Press. Cap. Diagnostic enzymology of domestic animals, págs. 351-378.

Izurrieta, J. y col. (2017). «Determinación de los valores de referencia en el hemograma de caballos nacidos o criados a más de 3000 msnm en la sierra centro norte ecuatoriana». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 25.1, 62-70. Online: <https://n9.cl/fl4is>.

Kitagaki, M. y col. (2005). «Age-related changes in haematology and serum chemistry of Weiser-Maples guineapigs (*Cavia porcellus*)». En: *Labo-*

- ratory animals 39.3, 321-330. Online:https://n9.cl/n2ia3.
- Layne, A. y col. (2011). «Lesiones anatomopatológicas en cuyes (*Cavia porcellus*) con diagnóstico bacteriológico de salmonella sp.» En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 22.4, 369-376. Online:https://n9.cl/7ufh7.
- Lechner, A., V. Salvato y N. Banchemo (1980a). «Hematology and red cell morphology in guinea pigs acclimated to chronic hypoxia during growth». En: *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 67.2, 239-244. Online:https://n9.cl/96emcf.
- (1980b). «Hematology in developing guinea pigs—I. Normal maturation». En: *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 66.3, 537-540. Online:https://n9.cl/3m15i.
- (1980c). «Hematology in developing guinea pigs—II chronic exposure to 5° C». En: *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 66.3, 541-544. Online:https://n9.cl/1uv5o.
- (1981). «The hematological response to hypoxia in growing guinea pigs is blunted during concomitant cold stress». En: *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 70.3, 321-327. Online:https://n9.cl/ktahrw.
- Lewis, J. (1992). «Comparative hematology: studies on guinea-pigs (*Cavia porcellus*).» En: *Comparative Biochemistry and physiology. Comparative Physiology* 102.3, 507-512. Online:https://n9.cl/7rsfi.
- Luna, D.F. y col. (2018). «Determinación de los valores de referencia en el hemograma de caballos nacidos o criados entre 0 y 500 m.s.n.m. en la región litoral del Ecuador». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 28.2, 92-102. Online:https://bit.ly/466QphE.
- McClure, D. (1999). «Clinical pathology and sample collection in the laboratory rodent». En: *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 2.3, 565-590. Online:https://n9.cl/1c2v9.
- Ness, R. (1999). «Clinical pathology and sample collection of exotic small mammals». En: *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 2.3, 591-620. Online:https://n9.cl/oe8usz.
- Olazábal, J. y col. (2019). «Deficiencia de vitamina C como causa de mortalidad y morbilidad en cuyes de crianza intensiva y su tratamiento». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30.4, 1718-1723. Online:https://n9.cl/c4yiy.
- Paredes-López, D., W. Villacorta-López y T. Valencia-Chamba (2014). «Patología e identificación bacteriológica preliminar en la mortalidad asociada con un síndrome de pérdida de peso progresivo en cuyes (*Cavia porcellus*).» En: *Investigación y Amazonía* 4.1 y 2, 57-61. Online:https://n9.cl/xo6lx.
- Paredes-López, D. y col. (2017). «Efecto de la harina de hojas de *Erythrina* sp. sobre el perfil bioquímico, parámetros biológicos e histopatología del hígado de *Cavia porcellus*.» En: *Scientia Agropecuaria* 8.4, 297-304. Online:https://n9.cl/3akyhm.
- Quesenberry, K., T. Donnelly y C. Mans (2012). «Ferrets, rabbits, and rodents: Clinical medicine and surgery». En: Elsevier/Saunders. Cap. Biology, husbandry, and clinical techniques of guinea pigs and chinchillas, págs. 279-294.
- Ramirez-Borda, Y., L. Cárdenas-Villanueva y O. Gómez-Quispe (2019). «Concentración sérica de aminotransferasas en cuyes (*Cavia porcellus*) alimentados con dietas basadas en pisonay (*Erythrina* sp)». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30.3, 1099-1108. Online:https://n9.cl/ybgpls.
- Reece, W. (2015). «Physiology of Domestic Animals». En: Wiley Blackwell. Cap. The composition and functions of blood, págs. 114-136.
- Samour, J., C. Silvanose y H. Pendl (2016). «Avian Medicine». En: Mosby. Cap. Clinical and diagnostic procedures, págs. 73-175.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) (2021). *Promedio de temperatura y precipitación normal para Tingo Maria*.
- Snyder, L., S. Born y A. Lechner (1982). «Blood oxygen affinity in high-and low-altitude populations of the deer mouse». En: *Respiration Physiology* 48.1, 89-105. Online:https://n9.cl/192lt2.
- Venturo, R. y S. Morales-Cauti (2020). «Concordancia entre el cultivo micológico y la citopatología en el diagnóstico de dermatofitosis en cuyes». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 32.2, 106-113. Online:https://n9.cl/z992l.
- Vergara, V. (2009). «Producción de cuyes». En: Fondo Editorial UCSS, Universidad Católica Sedes Sapientiae. Cap. Nutrición y Alimentación, pág. 808.
- Waner, T. y col. (1996). «Hematology and Clinical Chemistry Values of Normal and Euthymic Hairless Adult Male Dunkin-Hartley Guinea Pigs (*Cavia porcellus*).» En: *Veterinary Clinici-*

- cal Pathology* 25.2, 61-64. Online:<https://n9.cl/eucu9>.
- Washington, I. y G. Van Hoosier (2012). «The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster and Other Rodents». En: Academic Press. Cap. Clinical Biochemistry and hematology, págs. 57-116.
- Williams, W. y col. (2016). «Blood profiles in unanesthetized and anesthetized guinea pigs (*Cavia porcellus*)». En: *Lab animal* 45.1, 35-41. Online:<https://n9.cl/cgnc8>.
- Yamada, G., V. Bazán y N. Fuentes (2019). «Comparación de parámetros productivos de dos líneas cárnicas de cuyes en la costa central del Perú». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30.1, 240-246. Online:<https://n9.cl/bzb9i>.
- Zimmerman, K., D. Moore y S. Smith (2010). «Veterinary Hematology». En: Blackwell Publishing. Cap. Hematology of guinea pig, págs. 893-898.
- (2015). «Veterinary Hematology». En: Blackwell Publishing. Cap. Hematology of guinea pig, págs. 893-898.



DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE DE LA PROTEÍNA, EN POLLOS DE ENGORDE ALIMENTADOS PARCIALMENTE CON TORTA DE SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS*)

APPARENT ILEAL DIGESTIBILITY OF THE PROTEIN IN BROILERS PARTIALLY FED WITH SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS*) CAKE

José L. Alcívar-Cobeña¹, Madeleidy Martínez-Pérez², María F. Figueroa-Toalombo¹ y Lizeth V. Salazar-Salazar¹

¹Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.

²Instituto de Ciencia Animal, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

*Autor para correspondencia: jose.alcivar@unesum.edu.ec

Manuscrito recibido el 27 de mayo de 2021. Aceptado, tras revisión, el 03 de enero de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

El presente trabajo experimental se desarrolló en la finca experimental “Andil” de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador, con el objetivo de evaluar el comportamiento etológico y la digestibilidad ileal aparente de la materia seca (MS) y la proteína bruta (PB) de pollos Cobb 500 en jaulas individuales. Se utilizaron 36 pollos machos que se distribuyeron en cuatro tratamientos con diferentes niveles de inclusión de torta de sachá Inchi (TSI): T1 = testigo, sin TSI, T2 = 10% TSI, T3 = 20% TSI y T4 = 30% TSI. Para el análisis estadístico se empleó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), donde cada tratamiento contó con 12 repeticiones, ubicando un animal por unidad experimental. Los resultados determinaron que los pollos tuvieron buena respuesta en adaptarse rápidamente a las jaulas, además de no reportar mortalidad y de aceptar el alimento. La digestibilidad ileal aparente de la MS no mostró diferencia entre los tratamientos, en tanto que el nitrógeno (N) difirió entre el grupo testigo y la inclusión del T4 con 30% (TSI), el cual fue superior para este último (85,20 vs 90,23%). Los resultados permiten concluir que no se afecta el comportamiento etológico de los animales y se obtienen buenos índices de digestibilidad ileal de la MS y el N con la inclusión de TSI en la dieta de pollos de ceba.

Palabras clave: Fisiología animal, adaptabilidad, nutrición animal, metabolismo.

Abstract

This research was conducted at the experimental farm “Andil” of the State University of the South of Manabí, Cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador, with the aim of evaluating the ethological behavior of the apparent ileal digestibility of dry matter (DM) and crude protein (CP) of Cobb 500 chickens in individual cages. 36 male chickens were used which were distributed in four treatments with different inclusion levels of Sacha Inchi cake (SIC): T1 = control, without SIC, T2 = 10% SIC, T3 = 20% SIC and T4 = 30% SIC. A Completely Randomized Design (DCA) was used for the statistical analysis, where each treatment had 12 repetitions, locating one animal per experimental unit. The results determined that chickens had a good response in quickly adapting to the cages, in addition to not reporting mortality and accepting food. The apparent ileal digestibility of DM did not show a difference between the treatments, while the N differed between the control group and the inclusion of T4 with 30% (SIC), which was higher for the latter (85.20 vs 90.23%). The results allow to conclude that the ethological behavior of the animals is not affected and good indices of ileal digestibility of DM and N are obtained when adding SIC in the diet of broilers.

Keywords: Animal physiology, adaptability, animal nutrition, metabolism.

Forma sugerida de citar: Alcívar-Cobeña, J., Martínez-Pérez, M., Figueroa-Toalombo, M. y Salazar-Salazar, L. (2024). Digestibilidad ileal aparente de la proteína, en pollos de engorde alimentados parcialmente con torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*). La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 40(2):141-148. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.10>.

IDs Orcid:

José Luis Alcívar-Cobeña: <https://orcid.org/0000-0002-6648-3864>

Madeleidy Martínez-Pérez: <https://orcid.org/0000-0003-1585-2858>

María Figueroa-Toalombo: <https://orcid.org/0000-0002-3590-6051>

Lizeth Salazar-Salazar: <https://orcid.org/0000-0002-8798-6938>

1 Introducción

La creciente demanda alimenticia exige encontrar el modelo nutricional apropiado, empleando recursos funcionales, novedosos y eficientes para ser aplicados en la producción pecuaria. La avicultura en Ecuador involucra la producción agrícola para la obtención de materias primas y/o subproductos para la alimentación de las aves, para la posterior conversión productiva (Vargas González, 2016).

Cuando se quieren incluir alimentos no tradicionales en la alimentación animal, no basta con el conocimiento de las concentraciones de nutrientes, sino que es necesario conocer el estudio de la disponibilidad de los mismos (Adedokun y col., 2011). Según Atchade y col. (2019) la digestibilidad de los nutrientes se refiere a la biodisponibilidad y depende del animal, la composición del alimento y del tratamiento a que este pueda someterse. Cuando se quiere estudiar el valor nutricional de fuentes de proteína para las aves, se utiliza la digestibilidad ileal. Esto se debe a que estos animales poseen características anatómicas diferentes en el intestino grueso, por lo que el estudio de la digestibilidad fecal puede estar influenciada por la fermentación de los microorganismos que habitan esta porción (Denbow, 2015).

La soya (*Glycine max*) aporta excelente concentración y disponibilidad energética, aminoácidos y ácidos grasos esenciales, contenido de grasas (18 a 20%) y proteínas (37 a 38%), satisfaciendo las necesidades nutricionales de las líneas modernas de aves (Dei, 2011), presenta alta digestibilidad (82%) y buen balance de aminoácidos (García-Rebollar y col., 2016). En la alimentación de los pollos se utiliza en forma de harina como fuente principal de proteína en las dietas (Stefanello y col., 2016). Sin embargo, posee elevados precios en el mercado internacional, de ahí que se busquen fuentes alternativas que permitan su sustitución en las raciones.

La Sacha Inchi (SI) (*Plukenetia volubilis*) es una especie vegetal con excelentes rendimientos, contenidos de proteína bruta (29%), aminoácidos, ácidos grasos esenciales (54%) y vitamina A y E (Romero, Valdiviezo y Bonilla, 2019). Sus semillas, luego de extraer el aceite, poseen altos valores proteicos (59,13%) y grasa de 6,93% (Kodahl y Sørensen, 2021). Según Romero, Valdiviezo y Bonilla (2019)

el porcentaje de extracción de aceite por extrusión es menor (26,92%) si se compara con el obtenido en los análisis fisicoquímicos (42,03%). El producto residual conocido como torta de Sacha Inchi (TSI) se ha incorporado en la dieta de algunos monogástricos (Robles-Huaynate, Hurtado-Ramírez y Paredes-López, 2014). A pesar de que sus niveles de leucina y lisina son más bajos que los de la soya, estos son igual o mayores que en otras semillas (Wang, Zhu y Kakuda, 2018). En la actualidad el cultivo de SI es de creciente importancia en la Amazonía ecuatoriana que podría sustituir a los cultivos tradicionales de la zona (Andino Nájera y col., 2018). Las semillas de Sacha Inchi que no cumplen con los estándares establecidos para su comercialización podrían considerarse como alternativa para la alimentación animal (Viamonte y col., 2020).

Las semillas de SI contienen factores antinutricionales que afectan la digestibilidad e inhiben la actividad enzimática. Estos factores podrían inactivarse mediante el tratamiento químico o térmico (Reátegui y Reiner, 2012; Alayón y Echeverri, 2016). La TSI procesada térmicamente se considera un insumo de alta calidad, ya que posee un alto nivel de proteína y energía bruta (Alcívar-Cobeña y col., 2020a).

Desde el punto de vista nutricional han surgido investigaciones sobre nuevas técnicas y fuentes alimentarias con los recursos disponibles que son capaces de suplir a las tradicionales. Esto permite competir en calidad/precio en el mercado, siendo una buena alternativa la elaboración de subproductos de Sacha Inchi (Castro, Narváez Jiménez y Ortega Ojeda, 2017). Por lo tanto, el objetivo es evaluar el comportamiento etológico en jaulas individuales y la digestibilidad aparente de la materia seca (MS) y la proteína bruta (PB) de pollos de engorde Cobb 500 machos alimentados con TSI (*Plukenetia volubilis*) en tres niveles como sustitución parcial de la Soya (*Glycine max*).

2 Metodología

2.1 Metodología de investigación

Se empleó el método analítico, el cual consiste en la separación del todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. En este caso, se observó el com-

portamiento etológico de cada pollo por jaula. De igual forma, se tomó en cuenta la revisión de la literatura científica relacionada con el tema de alimentación con tortas de diferentes oleaginosas, incluida la Sacha inchi, para la respectiva investigación. El método descriptivo: al momento de la investigación se tomaron datos cuantitativos y cualitativos (datos fisiológicos).

2.2 Ubicación del estudio

El presente estudio se realizó en la finca experimental Andil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, ubicada en la comuna Andil, parroquia San Lorenzo, del cantón Jipijapa, en la provincia de Manabí. Las coordenadas del sitio de estudio son: Norte 1° 15' 54" latitud Sur y 80° 41' 24" longitud occidental y suele presentarse una temperatura media anual de 24-26 °C.

2.3 Población muestral

Para el estudio se utilizaron 36 pollos machos de la línea Cobb 500 de 7 a 42 días de edad. Se seleccionó esta estirpe por considerar su alta resistencia a enfermedades dentro de la zona de estudio y la conversión rápida del alimento en masa muscular.

2.4 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en: T1= testigo sin TSI, T2= 10% de TSI, T3= 20% de TSI y T4= 30% de TSI. Las dietas evaluadas en cada tratamiento se ofrecieron a partir del día 7 y este según las etapas fisiológicas como inicial (0-14 días), crecimiento (15-28 días) y engorde (29-42 días). Las dietas fueron las mismas que emplearon Alcívar-Cobeña y col. (2020b).

2.5 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) compuesto por 4 tratamientos y 9 repeticiones, donde tres animales se consideran como la unidad experimental para el análisis de la digestibilidad ileal de la MS y el N. Se utilizó la dócima de Tukey a $P < 0.05$ de probabilidad para la detección de diferencias en los casos necesarios, y para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2012).

2.6 Manejo del estudio

2.6.1 Instalaciones

Antes de la llegada de las aves al galpón éste se limpió y fumigó, y el piso se desinfectó con cal. Un día previo a la llegada de las aves se encendió la criadora optimizando una temperatura entre 30 a 32 °C. La cama se construyó con viruta de arroz, removiéndola diariamente para mantener condiciones de aseo adecuadas, donde las aves permanecieron por 7 días. En la segunda semana se reemplazó la cama por las 48 jaulas de alambre galvanizado de 40 × 40 × 80 cm, equipadas con bebederos y comederos propios, en las que se colocó individualmente cada ave. Se aplicaron diariamente medidas de asepsia, lavado y desinfección.

2.6.2 Manejo del alimento

Durante la última semana que corresponde a la etapa de engorde (35-42 días de edad), se suministraron a los animales 200g diarios de alimento. Se dividieron en dos raciones: 100g por la mañana e igual cantidad por la tarde. El consumo de alimento se calculó a partir de la oferta y el rechazo.

2.6.3 Toma de muestra

A partir del séptimo día y hasta el día 14 se estudió la etología de los animales según (Cebrián, Canestrari y Baglione, 2011). Este momento coincidió con la adaptación al cambio de crianza en piso a jaulas individuales, situadas a un metro sobre el nivel del suelo junto al suministro del alimento que se formuló con la inclusión de TSI en diferentes porcentajes. Se anotó las veces que dedicaban al consumo de agua y alimentos y a la excreción y las manifestaciones de estrés por las condiciones de manejo. Con estos datos, se calculó el porcentaje dedicado a cada actividad tomando en consideración el tiempo total de observación (periodo comprendido entre las 8.00 am y las 6.00 pm), así como la relación ingestión-excreción (RIE). Para esta última se empleó la Ecuación 1.

$$RIE, \% = \frac{\text{No. veces consumiendo alimento}}{\text{No. veces excretando}} * 100 \quad (1)$$

La escala que se empleó en cada caso fue del 1 al 100% donde valores bajos representan estrés/rechazo, valores medios, neutralidad y valores altos o próximos a 100 significan buena adaptación

y aceptación dentro de las jaulas. Después de transcurrido este tiempo, se sacrificaron los animales para el estudio de la digestibilidad ileal aparente de la materia seca y la proteína bruta. Ambos componentes se determinaron en la dieta y el contenido ileal según las técnicas analíticas de la AOAC (2019). Las muestras se tomaron extrayendo manualmente el contenido en la sección intestinal, deslizando los dedos índice y pulgar a lo largo del íleon y se depositaron en placas Petri (Sebastian y col., 1997). Se tomó como una repetición el contenido ileal de tres pollos. Las muestras se almacenaron a -20°C hasta su posterior procesamiento.

2.6.4 Sacrificio de los animales y cálculo de la digestibilidad ileal aparente de nutrientes

Se sacrificaron las aves utilizando choque eléctrico para aturdirlos y reducir el nivel de estrés. Posteriormente, se abrió la cavidad abdominal y se localizó el íleon, que se define como la porción del intestino delgado que se extiende desde el divertículo de Meckel hasta la unión ileo-cecal (Castro y col., 2020).

Procesadas las muestras, se procedió al cálculo de la digestibilidad ileal aparente de MS y PB por el método directo según la Ecuación 2.

$$\text{Digestibilidad ileal, \%} = \frac{(MS \text{ ó } PB) \text{ consumido} - (MS \text{ ó } PB) \text{ íleon}}{(MS \text{ ó } PB) \text{ consumido}} \quad (2)$$

Donde $(MS \text{ ó } PB) \text{ consumido}$ y $(MS \text{ ó } PB) \text{ íleon}$, representan el contenido de ambos nutrientes en el alimento que consumieron y en el contenido ileal, respectivamente.

3 Resultados y Discusión

3.1 Análisis etológico de las aves en jaulas

En el estudio analítico descriptivo etológico (Tabla 1) se observó un nivel alto de estrés durante los dos primeros días. Se manifestó en las aves inquietud, por lo que se les administró por vía oral (disuelto en el bebedero) un regulador de estrés comercial "Trolvit", que además contenía electrolitos, aminoácidos y vitaminas. Esto contribuyó a que se alcanzara en menor tiempo la adaptación al manejo.

Se evidenció que, en todas las variables entre los días 6 y 7, se obtuvieron buenas respuestas en el análisis etológico, valorado en una escala de porcentaje de 0 al 100%, que demostró un nivel de adaptación satisfactorio los días del estudio, logrando cumplir un buen control sanitario desde las jaulas. Los resultados se registran en la Tabla 1. El uso de las jaulas individuales dio buenos resultados y las aves empezaron a mostrar su adaptación a este medio a los dos días de su establecimiento. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez-Pérez y col. (2008), quienes plantearon un tiempo de adaptación a las jaulas y al alimento de 7 días, cuando se realizan estudios metabólicos en jaulas individuales para pollos de ceba.

Tabla 1. Análisis descriptivo de la etología de los pollos.

DC	CV	RCM	RIE
1	30%	30%	50%
2	40%	40%	40%
3	60%	60%	60%
4	70%	70%	60%
5	75%	75%	70%
6	90%	95%	80%
7	100%	100%	100%

DC día de crianza, CV consumo voluntario agua y alimento, RCM respuesta a condiciones de manejo, RIE relación ingestión-excreción.

3.2 Digestibilidad ileal aparente de nutrientes con el uso de torta de Sacha inchi

La Tabla 2 muestra el análisis de varianza de la digestibilidad ileal de la MS. El valor de p no fue significativo para $p < 0.05$. Las medias por tratamientos se aprecian en la Tabla 3. Los coeficientes de digestibilidad ileal fueron elevados en todos los casos, lo que demuestra buena digestión de la TSI por los animales. Los pollos poseen un tracto gastrointestinal adaptable anatómica y fisiológicamente según el tipo de alimento que se le suministre (Flórez y Osorio, 2013), lo que favoreció a que el consumo de la torta no provoque cambios desfavorables al animal.

Tabla 2. Análisis de varianza de digestibilidad ileal aparente de materia seca.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	0,33	3	0,11	0,10	0,9585 ^{NS}
Error	8,79	8	0,11		
Total	9,11	11			

NS: No significativo.

El análisis de varianza para la digestibilidad ileal aparente de la proteína bruta aparece en la Tabla 4. El valor de p en este caso fue significativo, por lo que al comparar las medias que se registran en la Tabla 5 se encontraron diferencias entre tratamientos. El grupo testigo y la inclusión de 30% de TSI muestran diferencias entre sí, y sus coeficientes fueron el menor y el mayor, respectivamente. El 10 y 20% de TSI fueron similares al resto de los tratamientos. Al parecer, la calidad de la proteína que aporta la torta de Sacha inchi es elevada, por lo que existe un eminente aprovechamiento por el animal, de ahí que se excrete en menor concentración y por ello aumenta la digestibilidad al incluirse en las raciones de las aves.

A pesar de las diferencias detectadas, los coeficientes de manera general fueron altos. Estos resultados no coinciden con los observados por Woyengo, Beltranena y Zijlstra (2017) al emplear torta de camelina (alrededor de 75,30%). Las diferencias

podrían explicarse por la composición química de ambos ingredientes, luego del proceso de extracción del aceite a que fueron sometidas las semillas de las oleaginosas. Estos autores reportaron valores de PB y FDN de 39,80 y 38,30%, respectivamente mientras que en la torta de Sacha inchi que se empleó en el presente estudio.

Alcívar-Cobeña y col. (2020a) obtuvieron valores de 41,49 y 16,64%, respectivamente. El hecho de poseer mayor concentración de proteína y menor contenido de fibra favorece su digestibilidad; diversos autores mencionan que el contenido de fibra tiene incidencia directa en el proceso digestivo (Zajac y col., 2020).

Por otra parte, según Woyengo, Beltranena y Zijlstra (2017) los productos resultantes de la extracción del aceite en semillas de oleaginosas generalmente contienen factores antinutricionales que pueden limitar la utilización de los nutrientes por el animal. La torta de Sacha inchi muestra presencia de alcaloides, saponinas y grupos α amino (Alcívar-Cobeña y col., 2020a), sin embargo, la concentración de estos componentes parece no ser muy elevada, ya que no incidieron desfavorablemente en la digestibilidad ileal de la MS y la PB.

Tabla 3. Análisis de medias mediante la prueba de Tukey para la digestibilidad ileal aparente de materia seca (DIAMS).

Variable (%)	Tratamientos	Medias	No.	E.E \pm
DIAMS	T4	82,59	3	0,61
	T3	82,51	3	0,61
	T2	82,50	3	0,61
	T1	82,16	3	0,61

Palpa (2009), determinó por recolecta de muestras de heces en pollos de engorde los nutrientes metabolizables y energía metabolizable aparente para la torta de sachá inchi precocida y precocida extruida. La materia seca metabolizable está entre 73,95% y 74,78%; la proteína cruda metabolizable entre 42,97% y 44,26% y la energía metabolizable aparente entre 4 570,0 y 4 578,91 kcal/kg, respectivamente. Siendo alta la cantidad de proteína y grasa en TSI, su aplicación pudiera optimizar los recursos disponibles para los productores, ya que la torta de

soya posee elevados precios en el mercado internacional y la actividad pecuaria importa aproximadamente cien mil toneladas al año (Benítez, Coronell y Martín, 2018).

Tabla 4. Análisis de varianza de la digestibilidad ileal aparente de la PB.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	37,96	3	12,65	7,43	0,0107
Error	13,62	8	1,70		
Total	51,58	11			

Tabla 5. Análisis de medias mediante la prueba de Tukey para la digestibilidad ileal aparente de la PB (DIAPB).

Variable (%)	Tratamientos	Medias	No.	E.E±	
DIAPB	T4	90,23	3	0,75	A
	T3	87,79	3	0,75	AB
	T2	87,74	3	0,75	AB
	T1	85,20	3	0,75	B

Medias con letras diferentes difieren significativamente

4 Conclusiones

Etológicamente los pollos Cobb 500 obtuvieron una respuesta positiva para adaptarse satisfactoriamente a las jaulas individuales. Durante el proceso del estudio no se presentó mortalidad, además, se consiguió un mejor control en la ingestión del alimento y agua de bebida. El control sanitario fue mejor en comparación con la crianza en camas.

Se obtienen buenos índices de digestibilidad ileal de la MS y de N con la inclusión de TSI en la dieta de pollos de ceba, por lo que puede utilizarse como sustituto parcial de la soya en el alimento convencional para pollo de engorde Cobb 500. Para su aplicación en otras razas, se recomienda realizar más investigaciones con mayor variabilidad en los experimentos.

Agradecimiento

A la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) que contribuyó para la realización de esta investigación, que forma parte del proyecto titulado "Torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) como fuente de proteínas en pollos de engorde". Al Instituto de Ciencia Animal de la República de Cuba, por su contribución técnica, profesional y de formación doctoral del primer autor.

Contribución de los autores

Conceptualización, metodología y discusión: J.L.A.C.; Diseño Experimental y estadística: M.M.P.; Manejo de la investigación en campo, análisis de laboratorio: M.F.F.T.; Redacción y bibliografía: L.V.S.S.

Referencias

- AOAC (2019). «Official Methods of Analysis of AOAC International». En: vol. 1. AOAC. Cap. Animal Feed, págs. 1-77.
- Adedokun, S. y col. (2011). «Factors affecting endogenous amino acid flow in chickens and the need for consistency in methodology». En: *Poultry Science* 90.8, 1737-1748. Online: <https://bit.ly/3Er2Et4>.
- Alayón, A. e I. Echeverri (2016). «Sacha Inchi (*plukenetia volubilis* Hnneo): ¿Una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo». En: *Revista chilena de nutrición* 43.2, 167-171. Online: <https://n9.cl/qo6vv>.
- Alcívar-Cobeña, J. y col. (2020a). «Technical note on physical-chemical composition of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) cake». En: *Cuban Journal of Agricultural Science* 54.1, 19-23. Online: <https://bit.ly/3g1zFmf>.
- Alcívar-Cobeña, J. y col. (2020b). «Torta de Sachá Inchi (*Plukenetia Volubilis*) sustituto parcial de soya para alimentar pollos Broiler». En: *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias De La Universidad Del Zulia* 30.3, 134-141. Online: <https://bit.ly/3A87byb>.
- Andino Nájera, P.R. y col. (2018). «Evaluación de tres niveles de aceite de sachá inchi (*plukenetia volubilis*) en la dieta de pollos de engorde». En: *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, Online: <https://bit.ly/3TPDo43>.
- Atchade, G. y col. (2019). «Digestibility of feeds in broiler chicken (*Galus galus linnaeus*, 1758) in Africa: a review». En: *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13.2, 1127-1139. Online: <https://bit.ly/3TvAaTa>.
- Benítez, R., C. Coronell y J. Martin (2018). «Chemical characterization sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) seed: oleaginosa promising from the Colombian Amazon». En: *International Journal of Current Science Research and Review* 1.1, 1-12. Online: <https://n9.cl/b6px00>.
- Castro, E., P. Narváez Jiménez y C. Ortega Ojeda (2017). «Efecto de la suplementación con levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) y promotores en la gestación y recría de cuyes (*Cavia porcellus*)». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 25.1, 45-52. Online: <https://n9.cl/lmeax>.
- Castro, F. y col. (2020). «The effects of total sulfur amino acids on the intestinal health status of broilers cha-

- lenged with *Eimeria* spp.» En: *Poultry science* 99.10, 5027-5036. Online:https://bit.ly/3EsCPZF.
- Cebrián, C., D. Canestrari y V. Baglione (2011). «Evaluación de la condición física en las aves y su aplicación a los estudios etológicos». En: *Sociedad Española de Etología*, 13. Online:https://n9.cl/vuqiu.
- Dei, H. (2011). «Recent trends for enhancing the diversity and quality of soybean products». En: IntechOpen. Cap. Soybean as a feed ingredient for livestock and poultry, págs. 215-226.
- Denbow, D. (2015). «Sturkie's Avian Physiology». En: Academic Press. Cap. Gastrointestinal Anatomy and Physiology, págs. 337-366.
- Di Rienzo, J. y col. (2012). *InfoStat*.
- Flórez, J. y J. Osorio (2013). «Perfil metabólico de aves comerciales mediante métodos directos». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 24.2, 162-167. Online:https://bit.ly/3fX3xAl.
- García-Rebollar, P. y col. (2016). «Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of commercial soybean meals». En: *Animal Feed Science and Technology* 221, 245-261. Online:https://bit.ly/3AeylTT.
- Kodahl, N. y M. Sørensen (2021). «Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) is an underutilized crop with a great potential». En: *Agronomy* 11.6, 1066. Online:https://bit.ly/3GhBI0f.
- Martínez-Pérez, M. y col. (2008). «Protein and Amino Acid Apparent Ileal Digestibility in Broilers Fed Mucuna (*Mucuna deeringiana* [Bort Merr.] Foliage Meal in the Diet». En: *Journal of Animal and Veterinary Advances* 7.6, 669-672. Online:https://bit.ly/3hJ5S22.
- Palpa, P. (2009). «Determinación del valor nutricional de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Precocida y precocida extruida, en pollos parrilleros». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Reátegui, I. y P. Reiner (2012). «Determinación del efecto del consumo de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) precocida sobre el perfil bioquímico sanguíneo de pollos en carne». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Robles-Huaynate, R., L. Hurtado-Ramírez y D. Paredes-López (2014). «Efecto de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el perfil bioquímico sanguíneo e histopatología del hígado de aves de postura». En: *Ciencia Amazónica (Iquitos)* 4.1, 60-66. Online:https://bit.ly/3hB617P.
- Romero, L., C. Valdiviezo y M. Bonilla (2019). «Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (*plukenetia volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 30.2, 77-87. Online:https://bit.ly/3Ob5ghX.
- Sebastian, S. y col. (1997). «Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase». En: *Poultry Science* 76.12, 1760-1769. Online:https://bit.ly/3XhXNC7.
- Stefanello, C. y col. (2016). «Energy and nutrient utilization of broilers fed soybean meal from two different Brazilian production areas with an exogenous protease». En: *Animal Feed Science and Technology* 221, 267-273. Online:https://bit.ly/3Exl1g4.
- Vargas González, O. (2016). *Avicultura*. Universidad Técnica de Machala.
- Viamonte, M. y col. (2020). «Digestibilidad aparente de una dieta con inclusión de harina de semillas de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en cerdos criollos de crecimiento». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 31.4, e19245. Online:https://n9.cl/mjn3m.
- Wang, S., F. Zhu e Y. Kakuda (2018). «Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses». En: *Food chemistry* 265, 316-328. Online:https://bit.ly/3E8k1xn.
- Woyengo, T., E. Beltranena y R. Zijlstra (2017). «Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry». En: *Animal Feed Science and Technology* 233, 76-86. Online:https://bit.ly/3VgQWaf.
- Zajac, M. y col. (2020). «Inclusion of camelina, flax, and sunflower seeds in the diets for broiler chickens: apparent digestibility of nutrients, growth performance, health status, and carcass and meat quality traits». En: *Animals* 10.2, 321-337. Online:https://bit.ly/3EAlnTd.

NORMAS PARA AUTORES

El presente manual describe los pasos que deberá tener en cuenta para realizar un envío satisfactorio de su manuscrito. Tómese el tiempo necesario para leer cuidadosamente el presente documento.

1 Información general

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» es una publicación científica bilingüe de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, editada desde enero de 2002 de forma ininterrumpida, con periodicidad fija semestral, especializada en Ciencias de la Vida, Ambientales y sus líneas transdisciplinarias como Ciencias de la Tierra, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, y Desarrollo Local Sostenible, entre otras.

Es una revista científica arbitrada, que utiliza el sistema de evaluación externa por expertos (*peer-review*), bajo metodología de pares ciegos (*double-blind review*), conforme a las normas de citación del estilo Harvard. El cumplimiento de este sistema permite garantizar a los autores un proceso de revisión objetivo, imparcial y transparente, lo que facilita a la publicación su inclusión en bases de datos, repositorios e indexaciones internacionales de referencia.

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» se encuentra indexada en SCOPUS, en el Emerging Source Citation Index ESCI de la Web of Science, en el directorio y catálogo selectivo del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex), en el Sistema de Información Científica REDALYC, en el Directorio de Revistas de Acceso Abierto DOAJ en el sistema de Clasificación Integrada de Revistas Científicas CIRC, en BaseSearch, la Máquina de Búsqueda Académica de *Bielefeld*, y en más de 42 repositorios, bibliotecas y catálogos especializados de Iberoamérica.

La revista se edita en doble versión: impresa (ISSN: 1390-3799) y electrónica (e-ISSN: 1390-8596), en español e inglés, siendo identificado además cada trabajo con un DOI (Digital Object Identifier System).

Todos los artículos son publicados para poder

acceder a su contenido de manera abierta sin restricciones económicas, tanto en las fases de envío, revisión, publicación y traducción integrada de los manuscritos.

2 Alcance y política

2.1 Temática

Contribuciones originales en materia de Ciencias de la Vida, Ambientales y sus líneas transdisciplinarias como Ciencias de la Tierra, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, y Desarrollo Local Sostenible y todas aquellas disciplinas conexas interdisciplinariamente con la línea temática central.

2.2 Aportaciones

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» edita preferentemente resultados de investigación empírica, teórica o experimental (*Scientific Articles*), redactados en español y/o inglés, siendo también admisibles selectas revisiones bibliográficas (*Reviews*).

Todos los trabajos deben ser originales, no haber sido publicados en ningún medio ni estar en proceso de arbitraje o publicación.

De esta manera, las aportaciones en la revista pueden ser:

a. Investigaciones Científicas (*Scientific Articles*):

5.000 a 6.500 palabras de texto, incluyendo título, resúmenes, introducción, materiales y métodos, resultados, conclusiones, tablas, figuras y referencias. Las referencias deberán estar citadas, ser actuales y selectivas de alrededor de unas 40 obras.

b. Revisiones (*Reviews*):

Máximo sugerido 7.000 palabras de texto, incluidas tablas y referencias. Se valorará especialmente las referencias justificadas, actuales y selectivas de alrededor de unas 50 obras.

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» tiene periodicidad semestral (20 artículos por año), publicada en los meses de marzo y septiembre.

2.3 Política económica abierta

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja», es una revista abierta, donde todos los artículos son publicados para poder acceder a su contenido de manera abierta sin restricciones de contenido o económicas, tanto en el proceso de revisión como de publicación y traducción íntegra de los manuscritos. La revista es publicada por el Editorial Abya-Yala, en Quito, Ecuador.

2.4 Copyright

Las obras que se publican en «La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» están sujetas a los siguientes términos:

1. La Universidad Politécnica Salesiana (RUC: 0190151530001) conserva los derechos patrimoniales (copyright) de las obras publicadas, y favorece y permite la reutilización de las mismas bajo la licencia *Creative Commons Reconocimiento-No-Comercial-Sin Obra Derivada 3.0 Ecuador*, por lo cual se pueden copiar, usar, difundir, transmitir y exponer públicamente, siempre que:
 - Se cite la autoría y fuente original de su publicación (revista, editorial, URL y DOI de la obra).
 - No se usen para fines comerciales u onerosos.
 - Se mencione la existencia y especificaciones de esta licencia de uso.
2. La publicación otorgará a cada artículo un *Digital Object Identifier (DOI)*. Ejemplo: Navarrete, Bernardo, Oswaldo Valarezo, Ernesto Cañarte y Ramón Solórzano. 2017. Efecto del nim (*Azadirachta indica Juss.*) sobre *Bemisia tabaci Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)* y controladores biológicos en el cultivo del melón *Cucumis melo* L. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 25(1):33-4. <https://doi.org/10.17163/ret.n12.2016.05>

3 Presentación, estructura y envío de los manuscritos

Todos los autores han registrarse con sus créditos, filiaciones institucionales, país e identificador ORCID en la plataforma OJS; si bien sólo uno de ellos será el responsable de correspondencia. Ningún autor podrá enviar o tener en revisión dos manuscritos de forma simultánea, estimándose una carencia de un número consecutivo (1 año).

Cuando presente el artículo, usted no debe intentar diseñar el manuscrito, no justifique el documento, o centre los títulos, ni utilice el formato de doble columna. El único formato requerido es que los nombres en latín de los organismos deben estar en itálicas.

Los trabajos se presentarán en tipo de letra Arial número 10, interlineado doble (excepto para los títulos de tablas y figuras), justificado completo y sin tabuladores ni espacios en blanco entre párrafos. Todas las líneas deberán estar enumeradas de forma automática (Word>Diseño de página>Números de línea>continuo). Solo se separarán con un espacio en blanco los grandes bloques (título, autores, resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, conclusiones y referencias). La página debe tener 2 centímetros en todos sus márgenes (descargar “manuscrito anonimizado”).

Los trabajos deben presentarse en documento de Microsoft Word (.doc o .docx) o LaTeX (.tex) que incluya las referencias en formato (.bib), siendo necesario que el archivo esté anonimizado en Propiedades de Archivo, de forma que no aparezca la identificación de autor/es.

Los manuscritos deben ser enviados única y exclusivamente a través del OJS (Open Journal System), en el cual todos los autores deben darse de alta previamente. No se aceptan originales enviados a través de correo electrónico u otra interfaz.

Por motivos de mejoramiento de la visibilidad e impacto de las publicaciones, todos los autores deben tener un número ORCID <<https://orcid.org/>> se sugiere que al menos uno de los autores tenga una cuenta en Research Gate <<https://www.researchgate.net/home>>.

3.1 Estructura del manuscrito

Para aquellos trabajos que se traten de investigaciones científicas, los manuscritos seguirán la estructura IMRDC (Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones), cualquier uso de anexos se enviará como un documento aparte en Word o Latex y será catalogada como información complementaria (descargar “manuscrito anonimizado”).

Los trabajos que se traten de Revisiones Bibliográficas, podrán ser más flexibles en sus epígrafes, especialmente en Materiales y Métodos, Resultados y Discusión. En todas las tipologías de trabajos son obligatorias las Referencias que en lo posible deberán incluir un link electrónico de referencia. En cualquier caso los documentos constarán de las siguientes secciones:

a. Título (español) / Title (inglés):

Conciso pero informativo, en castellano en primera línea y en inglés en segunda. Se aceptan como máximo 25 palabras con espacios incluidos. El título no solo es responsabilidad de los autores, pudiéndose proponer cambios por parte del Consejo Editorial.

Es necesario escribirlo en mayúsculas y minúsculas, centrado; si contiene nombres científicos de taxa, destacarlos con cursivas, sin el autor del taxón.

b. Nombres y filiación de los autores:

Nombre(s) y Apellido(s) de cada uno de los autores, organizados por orden de prelación. Junto a los nombres ha de seguir centro de trabajo, dirección, ciudad, país, correo electrónico de cada autor y número de ORCID. Adicionalmente se debe incluir qué autor será el responsable del manuscrito o autor por correspondencia, señalándolo con un asterisco (*). Dicha información será únicamente presentada en el archivo modelo denominado “presentación-portada” (descargar “presentación-portada”).

c. Resumen (español) / Abstract (inglés):

Tendrá como extensión máxima 250 palabras, primero en español y después en inglés. En el resumen se describirá de forma concisa implícita o explícitamente y en este orden: Justificación del tema; Objetivos; Metodología y muestra; Principales resultados; Principales conclusiones. Ha de estar

escrito de manera impersonal “El presente trabajo analiza...”. En el caso del abstract no emplee traductores automáticos, tome el debido cuidado al traducir su resumen, es la primera impresión que tendrá el revisor.

d. Palabras clave (español) / Keywords (inglés):

Se deben exponer de 4 a 6 descriptores por cada versión idiomática relacionados directamente con el tema del trabajo. Trate de no repetir las mismas palabras del título. Deben colocarse tanto en español, como en inglés.

e. Introducción:

Se sugiere utilizar el sistema SPPR Situación (Estado del Arte), Problema, Pregunta (Hipótesis del Estudio) y Respuesta (Objetivo del Estudio). De esta manera, se debe exponer de manera clara y con suficientes referencias bibliográficas el estado del arte actualizado de su estudio, el planteamiento del problema, el contexto de la problemática, la justificación, fundamentos y propósito del estudio, utilizando la literatura más significativa y actual del tema.

f. Materiales y métodos:

Deben ser redactados de forma que el lector pueda comprender con facilidad el desarrollo de la investigación. Describirá cronológicamente la metodología, la muestra y la forma de muestreo, así como se hará referencia al tipo de análisis estadístico empleado. Asegurando en todo momento la replicabilidad de su experimento explicando el diseño experimental, equipos de laboratorio utilizados y programas computacionales, entre otros. En toda metodología utilizada, es necesario exponer las razones que han conducido a su empleo y describir sus posibles limitaciones.

g. Resultados y Discusión:

Se procurará resaltar las observaciones más importantes. Debe incluir la información cuantitativa o cualitativa que sustentará las conclusiones finales. Aparecerán en una secuencia lógica en el texto y las Tablas, Figuras y ecuaciones imprescindibles evitando la duplicidad de datos. Toda tabla, figura o ecuación deberá estar citada en el texto y enumerada secuencialmente.

Para el caso de las ecuaciones, emplee el editor de ecuaciones de Word o mediante programación en Latex, coloque de manera consecutiva las ecuaciones ordenándolas mediante un número encerrado entre paréntesis (1), para mejor comprensión vea el documento “manuscrito anónimo”.

Las fotos, ilustraciones y gráficas únicamente se presentan como figuras, y éstas, al igual que las tablas, deben incluir una descripción explicativa para cada una, ver manuscrito anónimo.

En el texto, toda tabla y figura deben ser nombradas, analizadas y discutidas resaltando los hallazgos más representativos y/o limitaciones del estudio. Cite dentro del texto Figura 6 o Tabla 1, por ejemplo. No abrevie la palabra figura o tabla.

Las figuras pueden ser dibujos lineales, mapas, o fotografías de medios tonos en blanco y negro o a color en resolución de 300 dpi, es decir el tamaño de la figura debe ser grande, apropiado para la publicación en formato de calidad. Cada figura debe ser adjuntada con el envío en formato TIFF, PNG o JPG enumeradas en el orden de aparición. Los autores deberán tomar en cuenta que las leyendas y ejes de las figuras deben ser perfectamente legibles tanto al ampliar como reducir la figura.

Diseñe las figuras para que se ajusten eventualmente al tamaño final de la revista 19,2 × 26,2 cm. Asegúrese de que las inscripciones o detalles, así como las líneas, tengan tamaños y grosores adecuados de tal manera que no queden ilegibles cuando sean reducidos a su tamaño final (números, letras y símbolos deben ser reducidos al menos a 2,5 mm de altura después que las ilustraciones han sido reducidas para ajustarse a la página impresa). Idealmente, las ilustraciones lineales deben ser preparadas a aproximadamente a un cuarto de su tamaño final de publicación, ejemplo: 4,7 × 6,5 cm.

Diferentes elementos en la misma figura deben ser deletreados a, b, c, d, etcétera. Las fotografías deben gravarse con alto contraste y en alta resolución. Recuerde que las fotografías frecuentemente pierden contraste en el proceso de impresión. Si las figuras han sido previamente usadas, es de responsabilidad única del autor el obtener el/los permisos correspondientes. Evite problemas posteriores relacionados con los derechos de autor.

h. Conclusiones y Discusión:

El apartado de Discusiones puede aparecer en los Resultados o en las Conclusiones, a preferencia del autor. Las Conclusiones resumirán los ha-

llazgos más importantes, relacionando las propias observaciones con estudios de interés, señalando aportaciones y limitaciones, sin redundar datos ya comentados en otros apartados. Asimismo, el apartado de discusión y conclusiones debe incluir las implicaciones y líneas para futuras investigaciones.

i. Agradecimientos (opcionales):

El *Council Science Editors* recomienda a los autor/es especificar la fuente de financiación de la investigación. Se considerarán prioritarios los trabajos con aval de proyectos competitivos nacionales e internacionales. En todo caso, para la valoración científica del manuscrito, este debe ir anonimizado con XXXX solo para su evaluación inicial, a fin de no identificar autores y equipos de investigación, que deben ser explicitados en la Carta de Presentación y posteriormente en el manuscrito final.

j. Referencias:

Las citas bibliográficas deben reseñarse en forma de referencias al texto. Bajo ningún caso deben incluirse referencias no citadas en el texto, ni tampoco deben ser incluidas citas solamente en el texto sin contener su respectiva referencia. Su número debe ser suficiente para contextualizar el marco teórico con criterios de actualidad e importancia. Se presentarán alfabéticamente por el primer apellido del autor, siguiendo el estilo Harvard, que se describe a continuación y/o que se puede presentar con el gestor de citas del procesador de texto utilizado.

3.2 Normas para las referencias

3.2.1 Como se cita en el texto

Harvard es un estilo de citación que permite colocar los dos apellidos del autor (muchas veces éstos aparecen separados con un guión), si es que los presenta. Caso contrario se utiliza un solo apellido, como es usual en la tradición anglosajona.

Un autor: Samaniego (2012); (Samaniego, 2012); Valdés-Pérez (2016); (Valdés-Pérez, 2016); (Valdés Pérez, 2016); Valdés Pérez (2016).

Hasta tres autores: Samaniego, Vásquez y Torres (2010); (Samaniego, Vásquez y Torres, 2010).

Más de tres autores: Samaniego *et al.* (2010); (Samaniego *et al.*, 2010)

3.2.2 Referencias

a. Artículo de revista (incluir siempre el DOI del artículo o en lo posible la dirección electrónica URL del artículo):

Arnold, M. y Osorio, F. (1998) Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General del Sistemas. Revista Cinta de Moebius [en línea], (3). Universidad de Chile. Disponible en <<https://goo.gl/FwjAqo>>[consulta: 20 enero 2005].

Dhillon, B. (2004) Should Doctors Wear Ties? Medical Monthly [en línea], 3 (1), 55-88. Disponible en <<https://goo.gl/pHzUxJ>>[consulta: 20 abril 2006].

b. Libros completos:

Un Autor:

Holt, DH 1997, Management principles and practises, Prentice Hall, Sydney.

Dos Autores:

McCarthy, EJ, William, DP & Pascale, GQ 1997, Basic marketing, Irwin, Sydney.

Tres o más autores:

Bond, WR, Smith, JT, Brown, KL & George, M 1996, Management of small firms, McGraw-Hill, Sydney.

c. Medios electrónicos:

Reed, S 2015, 'Shift to lower-carbon energy is too slow, report warns', New York Times, 9 November. Available from: <https://goo.gl/iczP53>. [10 November 2015].

Es prescriptivo que todas las citas que cuenten con DOI (Digital Object Identifier System) estén reflejadas en las Referencias (pueden obtenerse en <http://goo.gl/gfruh1>). Todas las revistas y libros que no tengan DOI deben aparecer con su link (en su versión online, en caso de que la tengan, acortada, mediante Google Shortener: <http://goo.gl>)

Los artículos de revistas deben ser expuestos en idioma inglés, a excepción de aquellos que se encuentren en su idioma de origen, caso en el que se

expondrá en ambos idiomas utilizando corchetes. Todas las direcciones web que se presenten tienen que ser acortadas en el manuscrito, a excepción de los DOI que deben ir en el formato indicado (<https://doi.org/XXX>).

3.3 Epígrafes

Los epígrafes del cuerpo del artículo se numerarán en arábigo. Irán sin caja completa de mayúsculas, ni subrayados, ni negritas. La numeración ha de ser como máximo de tres niveles: 1. / 1.1. / 1.1.1.

Al final de cada epígrafe numerado se establecerá un espacio.

4 Proceso de envío

Deben remitirse a través del sistema OJS previo registro en la dirección <<http://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/user/register>>de la revista, los siguientes archivos:

Archivo N°1: Cover Letter, Cesión de derechos y declaración de conflictos de interés:
Descargue el modelo "cover letter".

Archivo N°2: Presentación-portada:
Este archivo (Word o Latex), contendrá tres apartados claramente identificables:

- a) Título en español e inglés, nombres y apellidos de los autores de forma estandarizada con número de ORCID, filiación y grado académico.
- b) Resumen, abstract, palabras claves y keywords.
- c) Una declaración de que el manuscrito se trata de una aportación original, no enviada ni en proceso de evaluación en otra revista, confirmación de las autorías firmantes, aceptación (si procede) de cambios formales en el manuscrito conforme a las normas y cesión parcial de derechos a la editorial (descargar "presentación-portada").

Archivo N°3: Manuscrito totalmente anonimizado, conforme a las normas referidas en precedencia.

Archivo N°4: El autor de correspondencia deberá presentar una lista de 5 potenciales revisores del ar-

título que cumplan los siguientes criterios (descargar modelo “evaluadores sugeridos”):

- No ser del mismo país del autor de correspondencia. Por ejemplo, si el autor de correspondencia trabaja en Brasil, el revisor propuesto NO puede estar vinculado a instituciones del mismo país del autor de correspondencia, es decir, “Brasil”).

El formato de este archivo podrá realizarse en cualquier procesador de texto Word / LaTeX y se deberá aportar de cada potencial revisor la siguiente

información:

- Nombres y Apellidos
- Filiación
- Grado académico
- Correo electrónico
- Código Orcid correspondiente

Indicar brevemente la pertinencia de dicho revisor para la evaluación del manuscrito

El no cumplimiento de algunas de los requisitos de la presente normativa podrá ser causal de rechazo AUTOMÁTICO del manuscrito.
Tome el debido tiempo para completar de manera correcta el proceso de envío.

LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

NÚMERO ESPECIAL

Efectos del Fenómeno del Niño en los Sectores Prioritarios de la Región



“Efectos del Fenómeno de El Niño” sequía e inundaciones consecutivas
Vista panorámica mar y cielo nublado. Tomada de FREEP!K
@EyeEm (2024)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR

Juan Cárdenas Tapia, sdb

Rector

©Universidad Politécnica Salesiana

Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja, Cuenca, Ecuador

Teléfono: (+593 7) 205 00 00 Fax: (+593 7) 408 89 58 Casilla postal 2074

Correo electrónico: srector@ups.edu.ec

Web: www.ups.edu.ec