

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

# LA GRANJA 41

REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Vol. (1)

41  
Vol. 1

## Fortalezas

La Granja, Revista de Ciencias de la Vida es la primera revista científica del Ecuador que aborda las temáticas de Ciencias Ambientales, de la Tierra y sus líneas transdisciplinarias como Biotecnología, Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural Sostenible, entre otras. Publicada por la Universidad Politécnica Salesiana en doble formato: impreso y on-line con periodicidad semestral, todos sus artículos se presentan en español e inglés. 23 años de edición y 320 artículos científicos publicados; editada por Abya-Yala con más de 48 años de experiencia en Ecuador.

La Granja tiene presencia en 96 bases de datos internacionales, plataformas de evaluación de revistas, directorios selectivos, portales especializados, catálogos hemerográficos, como: SCOPUS (Q3), ESCI, Emerging Sources Citation Index ESCI de la Web of Science, MIAR, EBSCO, CIRC, LATINDEX, DOAJ, REDIB, DIALNET, REDALYC, BASE, entre otros.

Trabaja con un riguroso y transparente sistema peer review doble ciego de evaluación de manuscritos, sin costo, realizado por un consejo de revisión con 280 reconocidos investigadores de países de todo el mundo.

La administración de manuscritos se realiza a través del Sistema OJS 3, de la Fundación de Ciencia y Tecnología, con compromisos éticos publicados para la comunidad científica de transparencia y puntualidad; revisión de antiplagio realizada a través de Ithenticat y Similarity Check.

Alto nivel de visibilización con múltiples sistemas de búsqueda, DOI, ORCID, PDF dinámicos, xml jats, epub, con conexión a gestores documentales como Mendeley, RefWorks, EndNote y redes sociales científicas como Academia.edu y ResearchGate. Accesible digitalmente a texto completo, de forma gratuita, para toda la comunidad científica e investigadores de todo el mundo en apoyo a la política de Open Access y Early Access.

## Proceso de evaluación por pares

Todos los manuscritos deben ser consignados a través del sistema Open Journal System (OJS 3), que garantiza el registro electrónico y auditable de las interacciones entre la publicación y los autores. Una vez consignados, el Consejo de Editores revisa que los originales cumplan con el objetivo y alcance de la publicación, así como con las normas de autores.

El proceso de revisión íntegro, desde el momento del depósito de los manuscritos a través del OJS 3 hasta la finalización de las revisiones ocupa un tiempo medio de 12-16 semanas, salvo incidencias. Los revisores, a su vez, también deben cumplir unas normativas de revisores y el código ético de revisores.

## Antiplagio

Todos los manuscritos sometidos a revisión en La Granja Revista de Ciencias de la Vida, son inspeccionados por una disciplinada política antiplagio que vela por la originalidad de los artículos. Para ello se utilizan distintos servicios especiales como el sistema Ithenticate, que analiza los textos en busca de coincidencias gramaticales y ortotipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos y asegura cumplir con los estándares de calidad editorial que avalen producción científica propia.

Asimismo, La Granja pone a disposición de autores y revisores, así como de la comunidad científica, un conjunto de herramientas específicas en la detección del plagio: Turnitin, Grammarly, Plagium, Copionic, WriteCheck PaperRater, Plagarisma.net, Viper Plagiarism Scanner y Similarity (CrossCheck). Se trata de un conjunto de interfaces de libre acceso y de pago, que supervisan la originalidad de cualquier manuscrito y permiten controlar el plagio.



LA GRANJA

## NÚMERO ESPECIAL CORREDORES DE CONECTIVIDAD UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS TERRITORIOS



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

### MISCELÁNEOS

Cambio de uso y cobertura de suelo en el corredor de conectividad Llanganates-Sangay para 2030

Presencia de ranas dardo venenosas y consideraciones para su conservación

Características de lluvia y eventos extremos usando un radar de lluvia de apuntamiento vertical

Fotobiorreactor urbano para el secuestro de CO<sub>2</sub> y la producción de biomasa microalgal

Identificación de un péptido antimicrobiano de *Chamaemelum nobile*

**La Granja Revista de Ciencias de la Vida. • Volumen 41 • Número 1 • marzo 2025 - agosto 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 de Corredores de Conectividad (Guest Editors of the Special Issue of Effects of Connectivity Corridor)

Dr. Gorky Ríos Alvear, Investigador Asociado Universidad IKIAM, Afilación Institucional Universidade do Oporto, Portugal  
Dr. Rafael Antelo, Wildlife Connect Leader and PACHA Coordinator, WWF-Bolivia  
MSc. Andrea Mancheno, World, Wildlife Fund, WWF-Ecuador

#### 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, University of Augsburg, Alemania  
Dra. Ximena Borja, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

##### Ciencias de Alimentos (Food Sciences)

Dr. Rómulo Salazar, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador  
Dra. 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. Esteban Inga 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  
Dr (c). 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 Felipe Gualco (Maquetador)  
MSc. 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)

Corredor de Conectividad Llanganates Sangay  
Autor: ©Molestina/WWF-Ecuador

#### Fotografía Retiro (Final Photo)

Guardián de los Andes: El oso andino en el Corredor de Conectividad  
Autor: ©Barrera/WWF-Ecuador

# LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Volumen 41, Número 1, marzo 2025 – agosto 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/>



**ABYA  
YALA** | UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
SALESIANA

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



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 VitaFinzi, 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. Alejandro Heredia Barbero, Universidad Nacional Autónoma  
de México, Facultad de Ciencias  
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

<b>Editorial</b> .....	7
<b>Artículos Científicos</b>	
NÚMERO ESPECIAL: CORREDORES DE CONECTIVIDAD. UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS TERRITORIOS	
<b>Análisis y predicción del cambio de uso y cobertura de suelo en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay para 2030</b> .....	11
Luis Jaramillo, Andrea Mancheno Herrera, Adriana Guzmán y Juan Gabriel Mollocana Lara.	
<b>Análisis multivariado de las provincias y áreas protegidas de Ecuador basado en la presencia de ranas dardo venenosas (<i>Dendrobatidae</i>) y consideraciones para su conservación</b> .....	33
Patricio Yáñez-Moreta, Julio Gereda-García, Alexander Huaraca-Egas, Michael Baldeón-Morales y Darwin Quinteros-Sarmiento.	
CONSERVACIÓN	
<b>Pesticidas y su impacto sobre la entomofauna en fincas de agricultores andinos de Ecuador</b> .....	53
Diego Mina, Jhenny Cayambe, Tatiana Cárdenas, Israel Navarrete y Olivier Dangles.	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
<b>Características de lluvia y eventos extremos en los Andes Tropicales usando un radar de lluvia de Apuntamiento Vertical</b> .....	72
Javier Chinín-Cabrera y Rolando Céleri.	
<b>Valoración contingente dicotómica del servicio ecosistémico hídrico en una microcuenca andina del Ecuador</b> .....	86
Edison Campos Collaguazo y Luis Jimenez.	
BIOTECNOLOGÍA	
<b>Fotobiorreactor urbano para el secuestro de <math>CO_2</math> y la producción de biomasa microalgal...</b> .....	100
Saim Khan, Mehmood Ali, Atif Mustafa y Aqsa Iqbal.	
<b>Identificación de un péptido antimicrobiano de <i>Chamaemelum nobile</i></b> .....	118
Diana Daniela Portela Dussán, Sandra Mónica Estupiñán Torres y Silvio Alejandro Lopez-Pazos.	
CIENCIAS AGROPECUARIAS	
<b>Evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiana e higiénica de la leche de vaca producida por rebaños en los Andes peruanos</b> .....	127
Fernando Arauco Villar, Leonor Guzmán Estremadoyro, Rafael Pantoja Esquivel, Noemí Mayorga Sánchez, Ide Unchupaico Payano y Alex Rubén Huamán de la Cruz.	
<b>Mejora del valor nutritivo de harina de follaje de <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet mediante fermentación en estado sólido con las cepas <i>Aspergillus niger</i> J1 y <i>Trichoderma viride</i> M5-2</b> .....	140
David Catagua, Julio Dustet Mendosa y Elaine Valiño Cabrera.	
<b>Distanciamiento de siembra en <i>Zea mays</i> L. durante la época seca y lluviosa en la costa central del Ecuador</b> .....	151
Camilo Alexander Mestanza Uquillas, Pánfilo José Cedeño Cárcamo, Diana Verónica Véliz Zamora, Santiago Cristóbal Vásquez Matute y John Jairo Pinargote Alava.	
<b>Normas para autores</b> .....	162

Estimadas y estimados lectores,

Es un honor presentar el Volumen 41 de la revista “La Granja”. Este número especial, titulado “Corredores de Conectividad. Una estrategia para la conservación de los territorios”, destaca los esfuerzos de investigadores dedicados a comprender y difundir la importancia de la conectividad ecológica como una herramienta clave para la conservación y gestión del territorio.

Los corredores de conectividad son áreas especiales para la conservación de la biodiversidad establecidas entre el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal Nacional, áreas de importancia hídrica, zonas de amortiguamiento y otras áreas de conservación reconocidas por instrumentos internacionales ratificados por Ecuador, como los sitios RAMSAR y Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA). Su objetivo es reducir los efectos de la fragmentación del paisaje y los riesgos asociados al aislamiento de poblaciones de flora y fauna, mediante el aprovechamiento de hábitat remanente que permita mantener flujos genéticos y procesos ecológicos que aseguren la conectividad de las poblaciones silvestres, resiliencia de los ecosistemas y la provisión continua de servicios ambientales en áreas fuera de las áreas protegidas, donde ocurren diferentes niveles de presiones humanas.

Ecuador ha sido pionero en el establecimiento de corredores de conectividad como un enfoque innovador de conservación. El país cuenta con el Acuerdo Ministerial 0019, el cual permite el diseño, reconocimiento y gestión de corredores de conectividad. A la fecha, el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) ha reconocido oficialmente tres corredores de conectividad. Este reconocimiento les otorga relevancia dentro de la planificación territorial a escala local, ya que la normativa vigente establece su incorporación en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial. Además, el MAATE está liderando un espacio participativo para definir la mejor herramienta de gestión para los corredores, reconociendo que los instrumentos de planificación deben ser integrales, accesibles y fácilmente aplicables.

Su relevancia radica en que son alternativas complementarias a los esquemas de conservación tradicionales, cuya eficiencia para la conservación a largo plazo está determinada por el aislamiento geográfico y disturbios humanos. Además, el reconocimiento de nuevas áreas protegidas representa un desafío técnico y político cada vez más evidente. Por consiguiente, el reconocimiento de los corredores de conectividad, así como el establecimiento y fortalecimiento de sus áreas de conservación

prioritarias, el trabajo con las comunidades y actores locales en la implementación de prácticas de manejo sostenible del suelo y la gestión participativa permiten aumentar la superficie efectiva de conectividad y promover la articulación de actores locales y regionales.

Así, este número especial incluye estudios que aportan evidencia clave para la comprensión sobre la importancia y fortalecimiento de los corredores de conectividad en Ecuador.

El primer estudio, “Análisis y predicción del cambio de uso y cobertura de suelo en el corredor de conectividad Llanganates-Sangay para 2030”, emplea herramientas avanzadas de modelado espacial, como MOLUSCE y redes neuronales artificiales para proyectar escenarios futuros de transformación del uso de suelo en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS). Si bien los resultados indican que en el CELS las tasas de deforestación en áreas protegidas son menores, persisten amenazas en zonas no protegidas. El reconocimiento del CELS es una oportunidad para consolidar las estrategias de conservación en áreas prioritarias para la conectividad y fortalecer áreas con esquemas de conservación oficiales.

El segundo estudio, “Análisis multivariado de las provincias y áreas protegidas de Ecuador basado en la presencia de ranas dardo venenosas (*Dendrobatidae*) y consideraciones para su conservación”, analiza la distribución de 48 especies de ranas venenosas, de las cuales 32 son endémicas del país. Estas especies, consideradas bioindicadores clave, reflejan el estado de salud de los ecosistemas. A través de análisis de clasificación y ordenamiento, el estudio identifica regiones prioritarias para la conservación de estos anfibios y destaca la importancia de los corredores ecológicos

para facilitar la conectividad entre poblaciones fragmentadas.

Dentro de la sección de misceláneos de la revista, y en afinidad con las temáticas de conservación, Diego Mina y su equipo de investigadores de la Pontificia Universidad Católica, el Centro Internacional de la Papa del Ecuador y el Centro de Ecología Funcional y Evolutiva UMR CEFÉ de Montpellier de Francia, nos presentan un estudio sobre el uso de pesticidas y su impacto sobre la entomofauna en fincas de agricultores andinos de Ecuador, destacando la importancia de mejorar las prácticas agrícolas y el uso racional de pesticidas, no sólo para mejorar el rendimiento de los cultivos sino para preservar las especies polinizadoras vitales para el correcto desarrollo agrícola del sector.

Asimismo, Edison Campos Collaguazo y Luis Alberto Jiménez, de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Perú, realizan un estudio de Valoración del Servicio Ecosistémico Hídrico en una microcuenca de páramo del Ecuador, utilizando la metodología de la contingente dicotómica con el fin de determinar la capacidad de pago de la comunidad de este servicio ecosistémico y así propiciar a su conservación.

Por otro lado, desde las ciencias de la tierra, Javier Chinín-Cabrera y Rolando Céleri, investigadores de la Universidad de Cuenca del Ecuador, realizan un estudio para determinar las características de lluvia y sus eventos extremos en la zona de los Andes Tropicales, utilizando un radar de apuntamiento vertical. Esta zona se caracteriza por su gran complejidad y pocos datos disponibles, lo que conlleva grandes dificultades de los modelos atmosféricos en modelar la lluvia; por lo tanto, esta investigación representa un aporte en el entendimiento de la estructura vertical, ciclo diurno y orígenes convectivos o no de la

precipitación y una potencial mejora en la predicción de eventos extremos de lluvia.

Desde el otro lado del mundo, Pakistán, los investigadores Mehmood Ali Khan, Mustafa Atif y Iqbal Aqsa, de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Karachi, nos presentan un fotobiorreactor urbano para el secuestro de CO<sub>2</sub> y la producción de biomasa microalgal que puede tener aplicaciones para la fabricación de biocombustibles así como otros productos de valor agregado, que la hacen interesante ya que se suman a la capacidad de mitigación de cambio climático por el secuestro de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>.

Y mencionando a otras ramas de la biotecnología, Diana Portela Dussán y su equipo de investigadores de la Universidad Antonio Nariño y el Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca de Colombia, nos presentan su investigación sobre la identificación de un péptido antimicrobiano de la manzanilla romana. Los investigadores utilizando enfoques *in silico* y experimentales encontraron que su fluido apoplásico inhibe el desarrollo de *R. solani*, constituyendo una actividad no caracterizada aún.

Finalmente, desde las ciencias agropecuarias, Fernando Arauco Villar, y un extenso equipo de investigadores de Universidad Nacional del Centro del Perú, La Universidad Tecnológica del Perú y la Universidad Peruana Unión, realizan una evaluación de la calidad fisicoquímica, micro-

biana e higiénica de la leche de vaca en los Andes peruanos. Asimismo, David Catagua, Julio Dustet Mendosa y Elaine Valiño Cabrera, en una investigación conjunta entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador y Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" de Cuba, nos presentan su investigación sobre la mejora del valor nutritivo de harina de follaje de chocho mediante fermentación en estado sólido con las cepas hongos lignocelulolíticos, encontrando una importante mejora el valor nutritivo de la harina de la leguminosa.

Como pueden apreciar, estamos seguros de que este volumen representa un esfuerzo inédito en la recopilación y divulgación científica de resultados para los que el fortalecimiento tanto de la conectividad ecológica, como en el desarrollo de las ciencias de la vida y ambientales es relevante. Es claro que la ciencia debe desempeñar un papel fundamental en la planificación local y regional, proporcionando bases sólidas para la implementación y monitoreo de estrategias de conservación con el involucramiento de actores locales y sociedad civil. Este número especial nos muestra la necesidad de investigar en estas áreas y fortalecer la colaboración entre la comunidad académica, instituciones de conservación, gestores de áreas protegidas, propietarios privados y los tomadores de decisiones a nivel local y nacional, a fin de fomentar la toma de decisiones de gestión territorial informada con bases técnicas y científicas.

Cordialmente,

MSc. Andrea Mancheno Herrera  
World Wildlife Fund (WWF), Ecuador  
EDITORA INVITADA

PhD. Gorki Ríos Alvear  
Universidade do Oporto, Portugal  
Universidad IKIAM, Ecuador  
EDITOR INVITADO

PhD. Rafael Antelo  
Wildlife Connect Leader and PACHA Coordinator (WWF), Bolivia  
EDITOR INVITADO

PhD. Sheila Serrano Vincenti  
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador  
EDITORA EN JEFE

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



# ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DEL CAMBIO DE USO Y COBERTURA DE SUELO EN EL CORREDOR DE CONECTIVIDAD LLANGANATES-SANGAY PARA 2030

## ANALYSIS AND PREDICTION OF LAND USE/LAND COVER CHANGE IN THE LLANGANATES-SANGAY CONNECTIVITY CORRIDOR BY 2030

Luis Jaramillo<sup>1,2</sup> , Andrea Mancheno Herrera<sup>1,6</sup> , Adriana Guzmán<sup>\*3,4,6</sup>  y  
Juan Gabriel Mollocana Lara<sup>\*5</sup> 

<sup>1</sup>World Wildlife Fund (WWF) Ecuador, Código Postal 170517, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Nippon Koei Latin America- Caribbean Co. Ltd., Código Postal 170526, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Código Postal EC060155, Riobamba, Ecuador.

<sup>4</sup>Centro de Estudios Integrales de Dinámica Exógena CEIDE. Universidad Nacional de La Plata, Código Postal 1900, La Plata, Argentina.

<sup>5</sup>Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable GIADES, Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana UPS, Quito, 170702, Ecuador.

<sup>6</sup>Red de Investigación del Corredor Ecológico Llanganates Sangay.

\*Autor para correspondencia: catalina.guzman@epoch.edu.ec, jmollocana@ups.edu.ec

Manuscrito recibido el 1 de octubre de 2024. Aceptado, tras revisión el 14 de febrero de 2025. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

Este estudio analiza las tendencias de cambio de uso y cobertura del suelo (LULC) en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) durante el período 2018-2022 y predice tendencias hasta 2030. Los mapas de LULC de MapBiomass revelan tasas anuales de cambio (2018-2022) de -0,37%/año (-1147,33 ha) para Formación de Bosque, -1,17%/año (-30,01 ha) para Formaciones Naturales No Boscosas, 2,21%/año (906,19 ha) para Áreas de Agricultura y Ganadería, 8,50%/año (250,84 ha) para Áreas sin Vegetación y 0,17%/año (30,31 ha) para Cuerpos de Agua. La mayor tasa de cambio anual dentro de Formación de Bosque, -0,58%/año (-990,35 ha), ocurre en áreas no protegidas. Las proyecciones para 2030 se realizaron utilizando la herramienta MOLUSCE, que combina una Red Neuronal Artificial (ANN) con simulaciones de Autómatas Celulares. La ANN fue entrenada con cinco variables explicatorias y mapas de LULC de 2018 y 2020, logrando un error de entrenamiento de 8,46%. La precisión predictiva se evaluó comparando el mapa simulado de LULC para 2022 con el mapa de MapBiomass 2022, obteniendo un coeficiente Kappa de 0,95, lo que indica una excelente precisión. Además, las simulaciones de LULC para 2022-2030 predicen tasas anuales de cambio de -0,27%/año (-1628,97 ha) para Formación de Bosque, -1,39%/año (-63,49 ha) para Formaciones Naturales No Boscosas, 1,92%/año (1778,26 ha) para Áreas de Agricultura y Ganadería, 0,97%/año (30,38 ha) para Áreas No Vegetadas y 0,63%/año (-146,18 ha) para Cuerpos de Agua. Los resultados sugieren que las tasas anuales

de deforestación se mantendrán bajas y que las áreas protegidas tendrán menos deforestación que las áreas que no están protegidas.

**Palabras clave:** Deforestación, CELS, MOLUSCE, cambios de cobertura y uso de suelo.

---

### Abstract

This paper analyses Land Use and Land Cover (LULC) change trends in the Llanganates-Sangay Connectivity Corridor (CELS) from 2018 to 2022 and predicts trends through 2030. MapBiomass LULC maps reveals annual change rates (2018–2022) of -0.37%/year (-1147.33 ha) for Forest Formation, -1.17%/year (-30.01 ha) for Non-Forest Natural Formation, 2.21%/year (906.19 ha) for Agriculture and Livestock Areas, 8.50%/year (250.84 ha) for Non-Vegetated Areas, and 0.17%/year (30.31 ha) for Water Bodies. The higher annual change rate inside Forest Formation is -0.58%/year (-990.35 ha) occurring in areas not designated under any conservation status. Projections for 2030 were made using the MOLUSCE tool, combining an Artificial Neural Network (ANN) model with Cellular Automata simulations. The ANN model was trained on five explanatory variables and LULC maps from 2018 and 2020, achieving a training error of 8.46%. Predictive accuracy was assessed by comparing the simulated 2022 LULC map with the 2022 MapBiomass map, resulting in a Kappa coefficient of 0.95, indicating excellent predictive accuracy. Additionally, LULC simulations from 2022 to 2030 predict annual rates of change of -0.27%/year (-1628.97 ha) for Forest Formation, -1.39%/year (-63.49 ha) for Non-Forest Natural Formation, 1.92%/year (1778.26 ha) for Agriculture and Livestock Areas, 0.97%/year (30.38 ha) for Non-Vegetated Areas, and 0.63%/year (-146.18 ha) for Water Bodies. The findings show that annual rates of deforestation will remain low and protected areas will have less deforestation than non-protected areas.

**Keywords:** Deforestation, CELS, MOLUSCE, LULC changes.

---

Forma sugerida de citar: Jaramillo, L., Mancheno Herrera, A., Guzmán, A. y Mollocana Lara, J.G. (2025). Análisis y predicción del cambio de uso y cobertura de suelo en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay para 2030. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):11-32. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.01>.

---

IDs Orcid:

Luis Jonathan Jaramillo Coronel: <https://orcid.org/0000-0002-3127-9855>  
Andrea Cecilia Mancheno Herrera: <https://orcid.org/0009-0000-5525-1665>  
Adriana Catalina Guzmán Guaraca: <https://orcid.org/0000-0003-0473-2041>  
Juan Gabriel Mollocana Lara: <https://orcid.org/0000-0002-2430-8400>

## 1 Introducción

Ecuador es reconocido mundialmente como uno de los 13 países más biodiversos del mundo, pero enfrenta una amenaza creciente, ya que entre 1990 y 2000 el país perdió el 15% de su área de bosques nativos, alcanzando una de las tasas de deforestación más altas en América Latina (Rivas et al., 2024). Esta dinámica afecta principalmente a la Amazonía, considerada una de las regiones más biodiversas del planeta (Mainville et al., 2006). La pérdida de bosques compromete la capacidad del país para mantener el calentamiento global por debajo de los 1,5°C, dado que esta región almacena entre 367 y 733 Gt de CO<sub>2</sub> en su vegetación y suelos (Vergara et al., 2022).

La deforestación y el cambio de uso del suelo han provocado una acelerada fragmentación de las áreas de vegetación natural en los Andes y la Amazonía ecuatoriana. Entre 1990 y 2018, las zonas más afectadas han sido las áreas de amortiguamiento de las zonas protegidas, donde se perdió el 25,5% de su cobertura en los alrededores (Kleemann et al., 2022). Estas dinámicas comprometen la efectividad de las estrategias de conservación, incluso en áreas con altos niveles de protección. La fragmentación afecta la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad. En este contexto, se considera crucial implementar medidas integrales que incluyan la conservación de los bosques y el manejo sostenible de las áreas de amortiguamiento (Vergara et al., 2022).

En la actualidad, herramientas basadas en la teledetección y la inteligencia artificial permiten avanzar en el análisis y la predicción de cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés), tanto en el espacio como en el tiempo. Técnicas de clasificación como el Random Forest (RF) y las Support Vector Machines (SVM) han demostrado alta precisión en la generación de mapas de uso y cobertura del suelo, facilitando la observación y el análisis de los procesos de deforestación y transformación de LULC (Admas, 2024; Elagouz et al., 2020; Lukas et al., 2023; Tikuye et al., 2023).

En este estudio también utilizamos el complemento de QGIS MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation), que combina datos espaciales

y temporales con técnicas avanzadas de modelado, como autómatas celulares (CA) y redes neuronales artificiales (ANN). Esta herramienta permite simular y predecir cambios en el uso y la cobertura del suelo. MOLUSCE ha demostrado su efectividad en diversos contextos (Muhammad et al., 2022; Talukdar et al., 2020).

El Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) es un vínculo ecológico crítico que conecta el Parque Nacional Llanganates en el norte, el Parque Nacional Sangay en el sur y varias áreas de conservación reconocidas bajo diversos esquemas dentro de sus límites. El CELS abarca un ecotono significativo que conecta las tierras altas andinas con la cuenca amazónica y desempeña un papel fundamental en la preservación de los ecosistemas únicos de la región (Ríos-Alvear et al., 2024). En esta área se ha desarrollado investigación científica relevante durante más de 150 años, obteniendo resultados importantes como la identificación de 178 especies de orquídeas y cerca de 200 especies de plantas endémicas, superando incluso a las Islas Galápagos en diversidad botánica (Jost, 2004). Además, alberga casi 700 especies de aves y 285 especies de reptiles y anfibios, superando los registros del Parque Nacional Yasuní (INABIO et al., 2023). Sin embargo, las actividades humanas han transformado esta zona. Por ejemplo, los procesos de colonización tardía en ciudades como Baños y Puyo, impulsados por asentamientos humanos y actividades económicas como el turismo y la agricultura, han influido significativamente en los cambios de uso del suelo en la región, llevando a la conversión de áreas naturales en espacios agrícolas y urbanos (Herrera and Rodríguez, 2016). La deforestación y el cambio en LULC han incrementado la fragmentación del paisaje y reducido significativamente la conectividad de los ecosistemas, poniendo en riesgo la supervivencia de especies y la provisión de servicios ecosistémicos (Reyes-Puig et al., 2023).

Este estudio tiene como objetivo determinar los cambios en el uso y la cobertura del suelo en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) entre 2018 y 2022, y proyectar tendencias hasta 2030 utilizando la herramienta MOLUSCE. Se centra en cuantificar la pérdida de cobertura forestal durante el período de análisis y prever escenarios futuros de cambio en LULC, basándose en los cambios registrados entre 2018 y 2022.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

El Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) abarca las provincias de Tungurahua, Pastaza y Morona Santiago (Figura 1) y comprende una extensión de 92,148 hectáreas (Viteri-Basso et al., 2024). Este corredor actúa como un enlace ecológico que conecta el Parque Nacional Llanganates en el norte con el Parque Nacional Sangay en el sur, constituyendo una zona clave de transición entre los Andes orientales y la Amazonía occidental. En 2002, esta área fue designada como un “Regalo para la Tierra” por el WWF, en reconocimiento a su importancia global para la biodiversidad. El CELS fue oficialmente reconocido como un Corredor de Conectividad en 2023 por el Ministerio del Ambiente y

Recursos Naturales de Ecuador (Ríos-Alvear et al., 2024).

El CELS tiene una altitud que varía entre los 760 y los 3812 metros sobre el nivel del mar y posee un clima tropical lluvioso (Viteri-Basso et al., 2024), con una precipitación anual que oscila entre los 2500 y los 5500 mm, y temperaturas que fluctúan entre los 9 y los 22°C. Estas variaciones climáticas y altitudinales favorecen la formación de hábitats que promueven una biodiversidad excepcional (Gaglio et al., 2017; Ríos-Alvear et al., 2024). Esta área desempeña un papel fundamental en la provisión de recursos hídricos para las cuencas de los ríos Pastaza y Napo, los cuales son esenciales para las comunidades locales, las actividades agrícolas y turísticas, así como para la generación de energía hidroeléctrica (Gaglio et al., 2017).

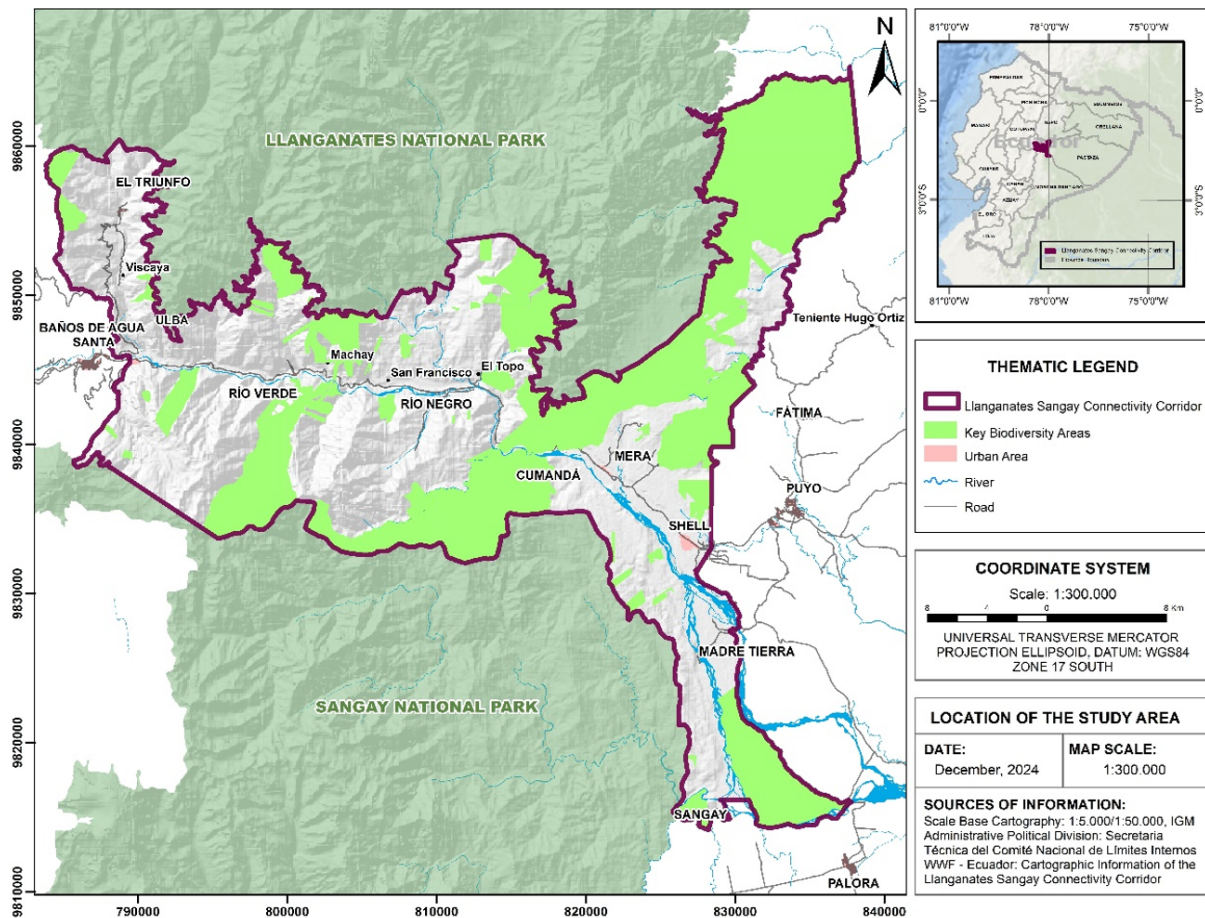


Figura 1. Mapa de localización del CELS.

Las principales actividades económicas en esta área incluyen la agricultura, la ganadería, el turismo, la piscicultura y la producción de madera. Aunque estas actividades son fundamentales para la economía local, han tenido un impacto significativo en los ecosistemas, generando deforestación y fragmentación de hábitats (Delgado Fernández et al., 2023). Durante las últimas dos décadas, se han implementado diversas iniciativas de conservación en esta región, lideradas por organizaciones locales, nacionales e internacionales, como la Fundación EcoMinga, los gobiernos locales, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador (MAATE), el WWF, entre otros. Las iniciativas de turismo del CELS se pueden encontrar en el geoportail <https://geocels-upsq.hub.arcgis.com/>

Las estrategias de conservación han incluido, por ejemplo, el establecimiento de zonas protegidas reconocidas oficialmente, la gestión de zonas de conservación privada no reconocidas oficialmente pero designadas para la conservación de ecosistemas, y la colaboración con las comunidades locales para promover prácticas de gestión sostenible de la tierra. Esto último incluye el apoyo a la adopción de prácticas agroecológicas para evitar la degradación del suelo, mantener la fertilidad y frenar la expansión de la frontera agrícola (Aneloa et al., 2024). Además, se ha impulsado el turismo basado en la naturaleza como estrategia de desarrollo sostenible para mejorar los medios de vida locales y preservar al mismo tiempo los ecosistemas naturales. A pesar de estos esfuerzos, persiste la necesidad de integrar de manera más efectiva a las comunidades locales en estrategias de manejo sostenible que logren un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la conservación ambiental (Alvarado, 2020; Aneloa et al., 2024).

## 2.2 Recolección de datos

La imagen satelital es fundamental para el monitoreo de precipitaciones, deforestación, cambios en el uso del suelo y los impactos ambientales (Perea-Ardila et al., 2021). Sin embargo, la alta cobertura de nubes en la Amazonía ecuatoriana, ubicada dentro de la zona de convergencia intertropical, limita la disponibilidad de datos espaciales (Heredia-R et al., 2021). Para abordar este desafío, se seleccionó la Colección 1.0 de *MapBiomias* (MapBiomias, 2024), debido a su amplia cobertura temporal (1985–2022) y su capacidad para evitar una categoría de cobertura nubosa que ocupa cerca del 10% del CELS en otros conjuntos de datos. Esto permite una mejor diferenciación entre las clases de uso y cobertura del suelo.

La Colección 1.0 de *MapBiomias* proporciona mapas anuales de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) para Ecuador, con una resolución de 30 metros. Estos mapas se generan mediante clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest, aplicado a nivel de píxel sobre mosaicos de imágenes satelitales de las series Landsat 4, 5, 7, 8 y 9. Además, utiliza una leyenda estandarizada adaptada específicamente a la cobertura del suelo de Ecuador, dividiendo el territorio en cinco categorías principales: Formación Forestal, Formación Natural No Forestal, Áreas de Agricultura y Ganadería, Áreas No Vegetadas y Cuerpos de Agua (Tabla 1). Los bosques naturales se incluyen en la categoría de Formación Forestal, mientras que las plantaciones forestales, incluyendo la silvicultura, se clasifican como Áreas de Agricultura y Ganadería. Para obtener definiciones detalladas de las categorías de LULC, consulte Borja et al. (2023).

**Tabla 1.** Categorías de uso y cobertura del suelo.

N°	Categorías	Uso de suelo
1	Formación Forestal	Bosque, bosque abierto, manglar y bosque inundable.
2	Formación Natural No Forestal	Humedal no forestal, pastizal, afloramiento rocoso, otras formaciones no forestales
3	Zonas Agrícolas y Ganaderas	Silvicultura, Mosaico de tierras de cultivo y pastos
4	Área No Vegetada	Minería, zonas urbanas, otras zonas sin vegetación
5	Cuerpos de Agua	Ríos, lagos, glaciares, acuicultura

### 2.3 Análisis y predicción del cambio LULC para 2030

Para alcanzar los objetivos de este estudio, se obtuvieron mapas de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) correspondientes al período 2018–2022 desde la plataforma MapBiomas, y se generaron variables explicativas relevantes relacionadas con los cambios en LULC utilizando fuentes oficiales de datos. Los mapas de LULC de 2018 a 2022 se emplearon para realizar el análisis de cambios en LULC. Además, los mapas de LULC de 2018, 2020 y 2022, junto con mapas de variables explicativas, se utilizaron para desarrollar y validar un modelo diseñado para predecir cambios en LULC mediante simulaciones hasta 2030. El análisis de cambios en LULC, el modelado, la validación y las simulaciones se llevaron a cabo utilizando la herramienta MOLUSCE (Figura 2).

#### 2.3.1 Análisis de los cambios LULC

Para describir los cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) entre 2018 y 2022 se analizaron los mapas de LULC de MapBiomas en intervalos anuales. Este análisis permitió identificar cambios históricos en LULC, detectar tendencias y calcular la tasa anual de cambio de LULC. Se utilizó la herramienta MOLUSCE para calcular la matriz de transición entre 2018 y 2022, y la tasa anual de cambio se estimó mediante la Ecuación 1 (Puyravaud, 2003), originalmente propuesta para estudios de deforestación, pero aplicable a cualquier cambio de LULC debido a su formulación general (Kouassi et al., 2021). Dónde  $q$  es la tasa de variación anual (1/año or%/año),  $A_1$  es la superficie LULC en el año  $t_1$  y  $A_2$  es la superficie LULC en el año  $t_2$ , con  $t_2 > t_1$ .

$$q = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{t_2 - t_1}} - 1 \quad (1)$$

#### 2.3.2 MOLUSCE

Se utilizó la herramienta MOLUSCE para analizar y simular los cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC) hasta el año 2030. Este complemento de QGIS permite calcular matrices de transición e incorporar algoritmos ampliamente aceptados para modelado y simulaciones, como Redes Neuronales Artificiales (ANN), Autómatas Celulares (CA)

y el coeficiente Kappa para la validación de la precisión. Este índice varía de 0 a 1, interpretándose como pobre y casi perfecto, respectivamente (Gaur and Singh, 2023; Jain, 2024; Mollocana Lara and Paredes Obando, 2024). Estos algoritmos han sido ampliamente aplicados en estudios de modelado de LULC, como los realizados por Souza et al. (2020); Xu et al. (2024).

El algoritmo ANN aprende patrones espaciales y relaciones entre datos históricos y variables explicativas, modelando el potencial de transición. Por su parte, los Autómatas Celulares (CA) simulan procesos espaciales dinámicos, aplicando reglas de transición basadas en condiciones de vecindad (Alipbeki et al., 2024; Tenorio et al., 2022).

Para predecir mapas de LULC utilizando la herramienta MOLUSCE, es necesario recopilar información cartográfica que represente variables explicativas relacionadas con los cambios en LULC. Esto permite que el algoritmo de Redes Neuronales Artificiales (ANN) dentro de MOLUSCE considere estas variables durante el entrenamiento, replicando comportamientos aprendidos e identificando patrones espaciales (Al Mazroa et al., 2024). Se generaron cinco variables explicativas en formato raster relacionadas con los cambios de LULC, las cuales fueron integradas en la herramienta MOLUSCE. Estas variables se presentan en la Tabla 2.

Estudios previos han identificado la proximidad a carreteras y centros urbanos como factores determinantes en los cambios de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés), ya que las áreas cercanas a estas características tienden a experimentar mayores tasas de pérdida de cobertura natural debido a la mayor accesibilidad y actividad humana (Gaur and Singh, 2023). La vegetación cercana a carreteras y áreas pobladas es más susceptible a la remoción debido a la expansión de la frontera agrícola y la creación de pastizales para la ganadería (Fischer et al., 2021).

Las características topográficas como la altitud y la pendiente desempeñan un papel importante en la determinación de la idoneidad del terreno para la agricultura y el desarrollo, dado que las actividades humanas se ven restringidas o enfrentan dificultades en áreas de gran altitud o con pendientes pronunciadas (Xu et al., 2024). Una parte significativa

del Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) se encuentra bajo algún tipo de conservación legal, lo que actúa como una barrera importante contra el avance de actividades antropogénicas.

Estas variables explicativas son comúnmente utilizadas en el modelado de LULC debido a que pueden obtenerse de fuentes cartográficas accesibles. En contraste, los factores socioeconómicos, de

aplicación de la ley o relacionados con políticas son menos utilizados debido a la escasez de datos, la complejidad de su representación espacial y las discrepancias temporales. A pesar de estas limitaciones, varios estudios han demostrado buenos resultados de modelado utilizando únicamente variables topográficas y de infraestructura, como lo señalan Barbosa de Souza et al. (2023); Alipbeki et al. (2024); Hasan et al. (2020).

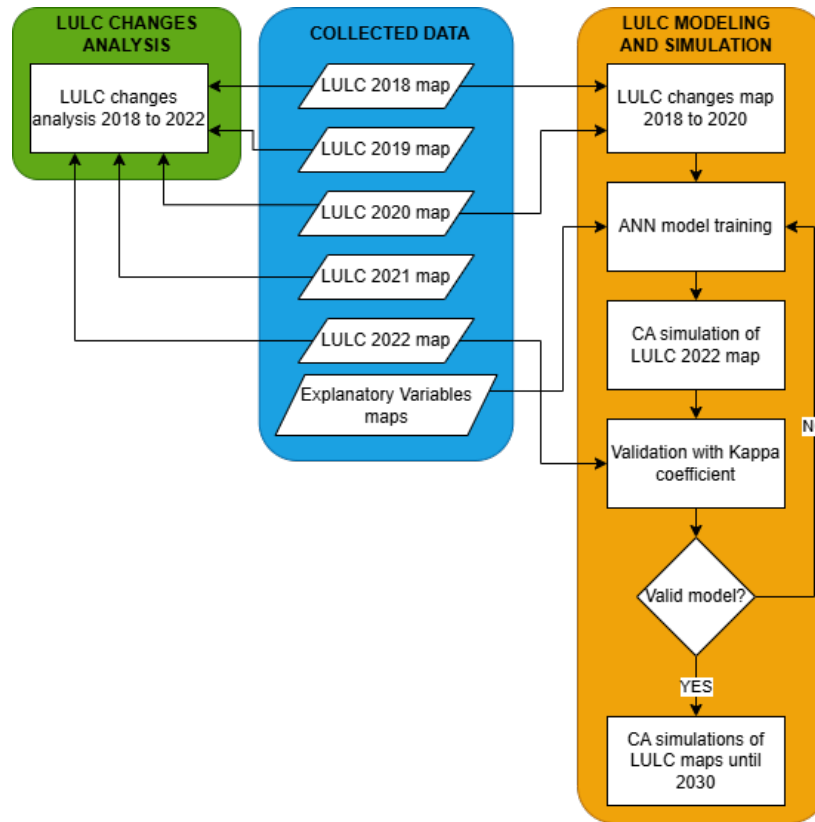


Figura 2. Diagrama metodológico para el análisis y la predicción de LULC.

Aunque numerosos estudios han explorado cómo las áreas protegidas ayudan a prevenir la deforestación, son pocos los que han integrado los niveles de protección como una variable en los modelos de cambio de uso del suelo (Kim and Anand, 2021). Dado que el CELS incluye diversos tipos de áreas de protección y conservación, el nivel de protección fue integrado al análisis para evaluar su influencia en las dinámicas de LULC. Este nivel fue determinado mediante encuestas realizadas a tres expertos, quienes evaluaron, en una escala de 1 a 5, la efectividad de las diferentes categorías de protección dentro del CELS para prevenir la defo-

restación. En esta escala, 1 representa un bajo nivel de protección, mientras que 5 indica un alto nivel de protección frente a la deforestación.

Con fines de modelado y predicción, se calculó una matriz de transición para el periodo 2018-2020 (intervalo de dos años) utilizando la herramienta MOLUSCE. Esta matriz fue empleada por MOLUSCE para crear un mapa de cambio, el cual, junto con los raster de variables explicativas, sirvió como insumo para el entrenamiento del modelo ANN, que evalúa iterativamente la precisión de sus predicciones y ajusta su estructura para minimizar errores.

Por otro lado, los Autómatas Celulares (CA) generan simulaciones basadas en el modelo ANN entrenado (Mustafa et al., 2021). En este estudio, cada iteración del algoritmo CA produce un mapa LULC proyectado con dos años de adelanto.

La primera iteración generó un mapa LULC para 2022, el cual se comparó con el mapa LULC real de 2022 obtenido de MapBiomias para validar el modelo. Posteriormente, se realizaron cuatro iteraciones adicionales para producir un mapa LULC proyectado para 2030. A partir del mapa LULC proyectado para 2022 y el de 2030, se calculó una matriz de transición para analizar los cambios en LULC y estimar las tasas anuales de cambio utilizando la Ecuación 1.

Tras el entrenamiento del modelo ANN y la ge-

neración de un mapa LULC proyectado para 2022 mediante el algoritmo CA, es esencial verificar que las predicciones realizadas por el algoritmo de Autómatas Celulares y el modelo ANN sean lo suficientemente confiables para respaldar la toma de decisiones (Bao Pham et al., 2024). Para garantizar esto, el modelo fue validado comparando el mapa LULC proyectado para 2022 generado por el algoritmo con el mapa LULC real de MapBiomias para el mismo año. La comparación se realizó utilizando el coeficiente Kappa de Cohen, una métrica ampliamente utilizada para la comparación de datos espaciales (Mollocana Lara et al., 2021). MOLUSCE permite múltiples iteraciones de cálculo del coeficiente Kappa, reduciendo errores causados por el muestreo aleatorio. La interpretación del coeficiente Kappa sigue los criterios establecidos por Santos et al. (2020).

**Tabla 2.** Definiciones de variables explicativas para el entrenamiento de ANN.

Variable	Definición
Proximidad a carreteras	Ráster que representa la distancia euclidiana medida en metros de cada píxel a la carretera más cercana
Proximidad a asentamientos	Ráster que representa la distancia euclidiana medida en metros de cada píxel a los centros urbanos
Nivel de protección de las áreas naturales	Ráster que representa el nivel de protección de las zonas naturales contra la eliminación de la cubierta natural en una escala de 0 a 5, donde 0 indica zonas no protegidas y 5 representa el nivel más alto de protección.
Altitud	Ráster que muestra la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) de cada píxel
Pendiente	Ráster que indica la pendiente o inclinación del terreno para cada píxel medida en grados

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Análisis de cambios de LULC de 2018 a 2022

Las dinámicas de cambio en el uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) entre 2018 y 2022 (Figura 3) muestran una disminución gradual de las áreas de Formación Forestal, especialmente en las zonas de amortiguamiento del CELS. Esto sugiere un proceso de deforestación, probablemente asociado a actividades humanas como la expansión agrícola y ganadera, dado que este tipo de uso presenta un notable incremento en la misma área, indicando que las zonas periféricas al

CELS están sometidas a una mayor presión antrópica. Este cambio implica una transformación significativa de los ecosistemas forestales hacia usos más intensivos.

La pérdida gradual de las áreas de Formación Forestal sugiere un aumento en la fragmentación del paisaje, lo que afecta la conectividad ecológica entre los ecosistemas montanos y amazónicos (Jokisch and Lair, 2002). Los Cuerpos de Agua y las Áreas No Negetadas permanecen relativamente constantes, sin cambios perceptibles en su extensión, mientras que las Formaciones Naturales No Forestales muestran variaciones menores, las cuales podrían estar relacionadas con procesos de degradación o regeneración.

La Tabla 3 y la Figura 4 destacan los cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay (CELS) entre 2018 y 2022, cuantificando la transformación del paisaje. La categoría de Formación Forestal experimentó una pérdida acumulada de 1 147,33 hectáreas, con una tasa promedio anual de cambio de -0,37%, alcanzando su valor máximo de disminución entre 2021-2022 con -515.03 hectáreas (-0,67%/año).

Esta dinámica de disminución en las categorías relacionadas con la vegetación natural confirma que la agricultura es el principal impulsor del cambio en el uso del suelo, contribuyendo significativamente a la deforestación y a la presión sobre los ecosistemas forestales, que pierden su función ecológica en el mantenimiento de la diversidad y la conectividad del paisaje. La expansión agrícola, a su vez, responde a la estabilidad económica, la cual genera fluctuaciones a corto plazo en el mercado.

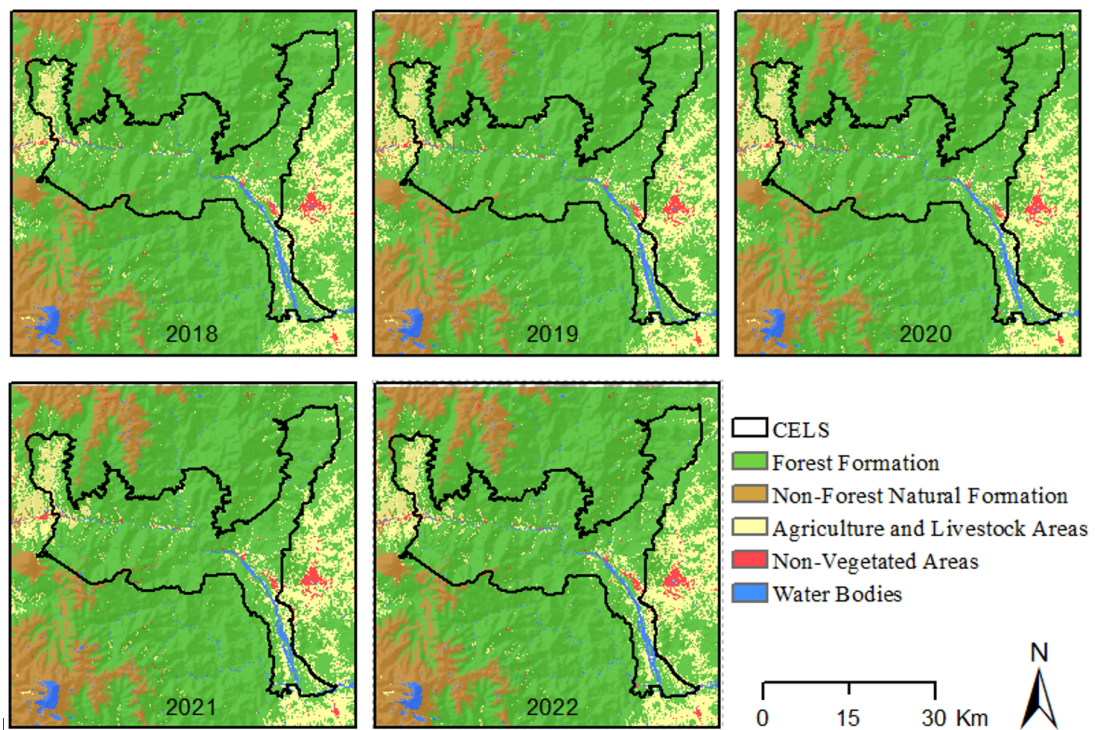


Figura 3. Mapas de LULC de MapBiomias de 2018 a 2022 (MapBiomias, 2024).

Las Áreas No Negetadas aumentaron en 250,84 hectáreas (+8.50%/año), mostrando su mayor crecimiento entre 2021-2022 (+107,31 ha, +13,52%/año). Este aumento puede reflejar procesos de degradación del suelo relacionados con la erosión, urbanización y abandono de tierras, los cuales alteran la funcionalidad del corredor y generan una creciente amenaza para los ecosistemas naturales. Esta tendencia es consistente con otros estudios realizados en la Amazonía ecuatoriana (Gutiérrez et al., 2016; Calvas et al., 2024; Viteri-Basso et al., 2024). Por su parte, los Cuerpos de Agua mostraron fluctuaciones significativas, con pérdidas entre 2020-

2021 (-3,09%/año) y una recuperación parcial entre 2021-2022 (+3,58%/año). Estas dinámicas, probablemente influenciadas por variaciones estacionales y procesos de sedimentación, requieren monitoreo hidrológico continuo para comprender sus causas y efectos en el corredor.

La Tabla 4 corresponde a la matriz de transición de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) entre 2018 y 2022. El 96,93% (75.577,18 ha) del área ocupada por la categoría de Formación Forestal permaneció estable, mientras que el 2,49% cambió a Áreas de Agricultura y Ganadería,

y el 0,15% a Áreas No Vegetadas. Esto refleja que la expansión agrícola es el principal impulsor de la deforestación.

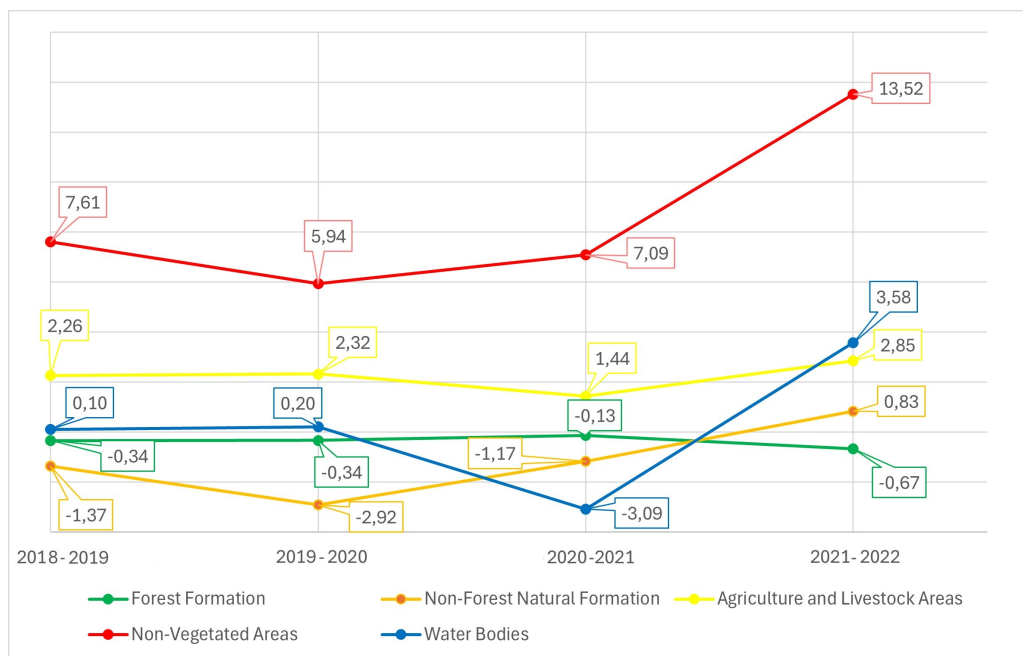
La categoría de Formación Natural No Forestal presentó una permanencia del 88,57% (578,7 ha), mientras que el 7,55% se transformó en Formación Forestal y el 3,19% en Áreas de Agricultura y Ganadería. En contraste, el 87,17% (8629,23 ha) permaneció como Áreas de Agricultura y Ganadería, las cuales se expandieron en 1058,96 ha (10,7%) a par-

tir de la Formación Forestal y en 100,9 ha (1,02%) a partir de Áreas No Vegetadas. Esto confirma que la agricultura es el principal factor de transformación del paisaje. En las Áreas No Vegetadas, el 93,95% (610,72 ha) se mantuvo sin cambios, registrándose un incremento de 120,57 ha (0,15%) provenientes de la Formación Forestal y de 64,49 ha (2,17%) provenientes de los Cuerpos de Agua. Este aumento podría asociarse a procesos de degradación y urbanización.

**Tabla 3.** Cambios en el uso/cobertura del suelo del CELS de 2018 a 2022.

Categorías	Unidades	2018 a 2019	2019 a 2020	2020 a 2021	2021 a 2022	2018 a 2022
Formación Forestal	ha	-266,94	-263,28	-102,09	-515,03	-1147,33
	q	-0,34	-0,34	-0,13	-0,67	-0,37
Formación Natural No Forestal	ha	-8,96	-18,84	-7,32	5,12	-30,01
	q	-1,37	-2,92	-1,17	0,83	-1,17
Zonas Agrícolas y Ganaderas	ha	223,39	234,64	149,02	299,14	906,19
	q	2,26	2,32	1,44	2,85	2,21
Áreas No Vegetadas	ha	49,49	41,53	52,51	107,31	250,84
	q	7,61	5,94	7,09	13,52	8,50
Cuerpos de Agua	ha	3,02	5,95	-92,12	103,46	20,31
	q	0,10	0,20	-3,09	3,58	0,17

\*El símbolo negativo representa la reducción de la superficie; ha representa el cambio en hectáreas y q representa la tasa anual de cambio en %/año.



**Figura 4.** Evolución de las tasas de cambio de LULC anuales (q%/año) a intervalos de un año desde 2018 hasta 2022.

**Tabla 4.** Matriz de transición para LULC entre 2018 y 2022.

Período 2018 - 2022	Formación Forestal	Formación Natural No Forestal	Zonas Agrícolas y Ganaderas	Áreas No Vegetadas	Cuerpos de Agua	Total 2018
<b>Formación Forestal</b>	75577,18 (96,93%)	23,6 (0,03%)	1941,1 (2,49%)	120,57 (0,15%)	311,3 (0,4%)	77973,75 (100%)
<b>Formación Natural No Forestal</b>	49,31 (7,55%)	578,7 (88,57%)	20,86 (3,19%)	4,21 (0,64%)	0,27 (0,04%)	653,34 (100%)
<b>Zonas Agrícolas y Ganaderas</b>	1058,96 (10,7%)	19,03 (0,19%)	8629,23 (87,17%)	100,9 (1,02%)	91,48 (0,92%)	9899,6 (100%)
<b>Áreas No Vegetadas</b>	10,43 (1,6%)	0,37 (0,06%)	25,71 (3,95%)	610,72 (93,95%)	2,84 (0,44%)	650,05 (100%)
<b>Cuerpos de Agua</b>	130,54 (4,39%)	1,65 (0,06%)	188,9 (6,35%)	64,49 (2,17%)	2589,5 (87,04%)	2975,09 (100%)
<b>Total 2022</b>	76826,42	623,34	10805,80	900,89	2995,3	
<b>Variación de 2018 a 2022</b>	-1147,33	-30,01	906,19	250,84	20,31	

\*Los cambios se expresan en hectáreas, con los porcentajes entre paréntesis. Los valores de variación positivos indican ganancias de superficie, y los negativos, pérdidas.

En cuanto a los Cuerpos de Agua, el 87,04% (2589,5 ha) permaneció como tal, mientras que 64,49 ha (2,17%) se redujeron a Áreas No Vegetadas y 130,54 ha (4,39%) se transformaron en Formación forestal, posiblemente debido a cambios en la dinámica hídrica, procesos de sedimentación, la temporalidad estacional de las imágenes satelitales Landsat utilizadas en la clasificación de MapBiomas o errores inherentes al algoritmo.

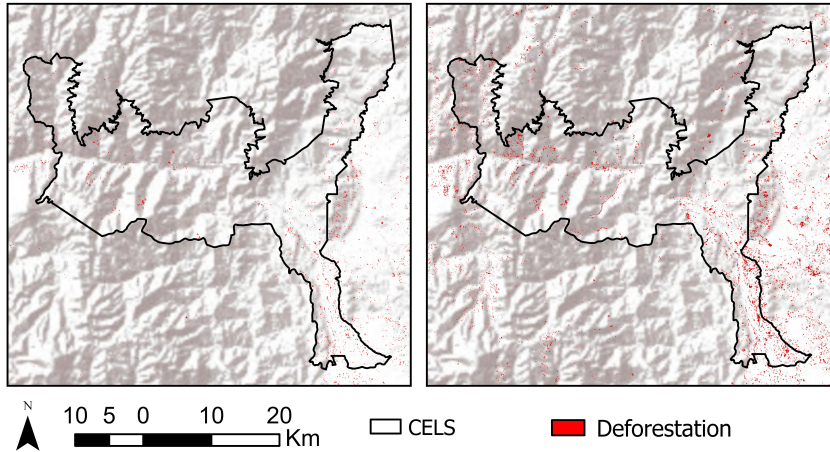
La matriz de transición evidencia que la deforestación y la conversión a tierras agrícolas son las dinámicas predominantes en el CELS, impulsadas por la expansión agrícola. Adicionalmente, el aumento de las Áreas No Vegetadas refleja procesos de degradación que podrían intensificarse si no se implementan medidas de manejo sostenible.

Dado que las tasas anuales de cambio en la Formación Forestal son bajas, resulta difícil observar la disminución de su área (deforestación). Para mejo-

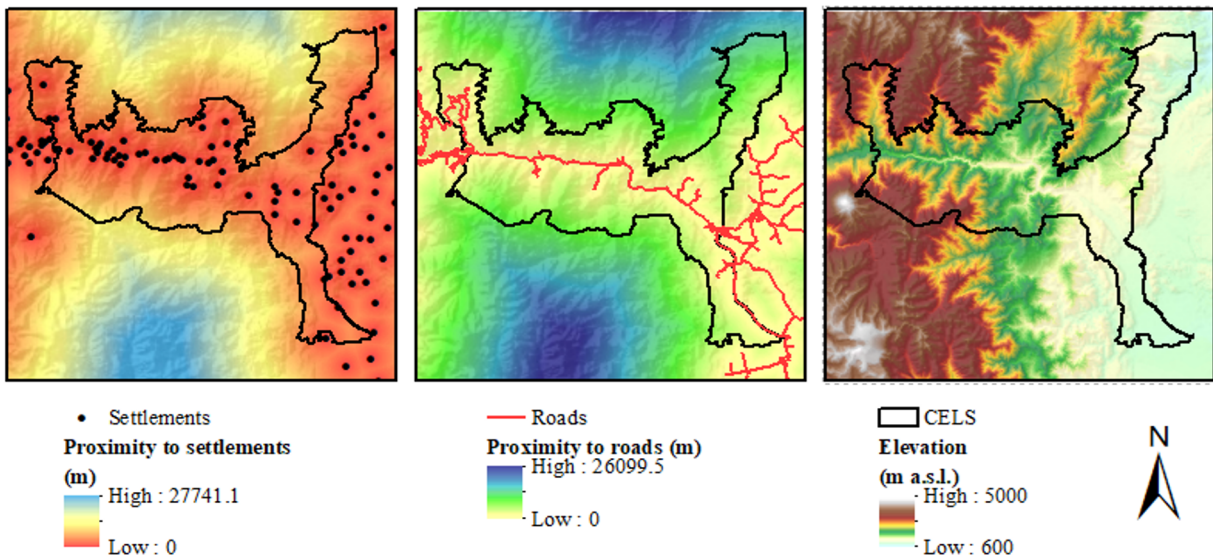
rar esta comprensión, la Figura 5 destaca las diferencias en los cambios de la Formación Forestal entre 2018 y 2019, así como entre 2018 y 2022.

### 3.2 Variables explicativas para la predicción de LULC en 2030

Los rásteres que representan las variables explicativas para el modelo de predicción se presentan en la Figura 6 y la Figura 7. Los rásteres de proximidad a carreteras, proximidad a asentamientos, altitud y pendiente se generaron a partir de información oficial del Instituto Geográfico Militar (IGM). El ráster del nivel de protección se elaboró con base en información proporcionada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), una ONG de conservación que apoya áreas privadas en el CELS, y las opiniones de expertos sobre el nivel efectivo de protección de los diferentes tipos de áreas protegidas.



**Figura 5.** Deforestación representada como la transición de la clase Formación forestal a cualquier otra categoría LULC entre 2018-2019 (izquierda) y 2018-2022 (derecha).



**Figura 6.** Variables explicativas: proximidad a asentamientos, proximidad a carreteras y elevación.

No todas las áreas de conservación poseen el mismo nivel de protección contra la deforestación, y el tipo de área de conservación varía significativamente. Algunas forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) regulado por el Código Orgánico del Ambiente, el cual proporciona un marco legal sólido que respalda la conservación de estas áreas. Además, cuentan con una mayor capacidad financiera y técnica, lo que incrementa su nivel de protección. Sin embargo, su efectividad puede verse comprometida por actividades extractivas permitidas bajo excepciones legales, como la explo-

tación minera en ciertas áreas protegidas.

Las áreas gestionadas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) disponen de menos recursos y apoyo técnico, lo que limita su capacidad para implementar medidas de conservación efectivas. En el caso de las áreas de propiedad privada, en algunos casos representan modelos exitosos de conservación que dependen principalmente del compromiso de sus propietarios, pero carecen de un marco consolidado de monitoreo (Mendoza-Montesdeoca et al., 2022; Mestanza-Ramón et al., 2020).

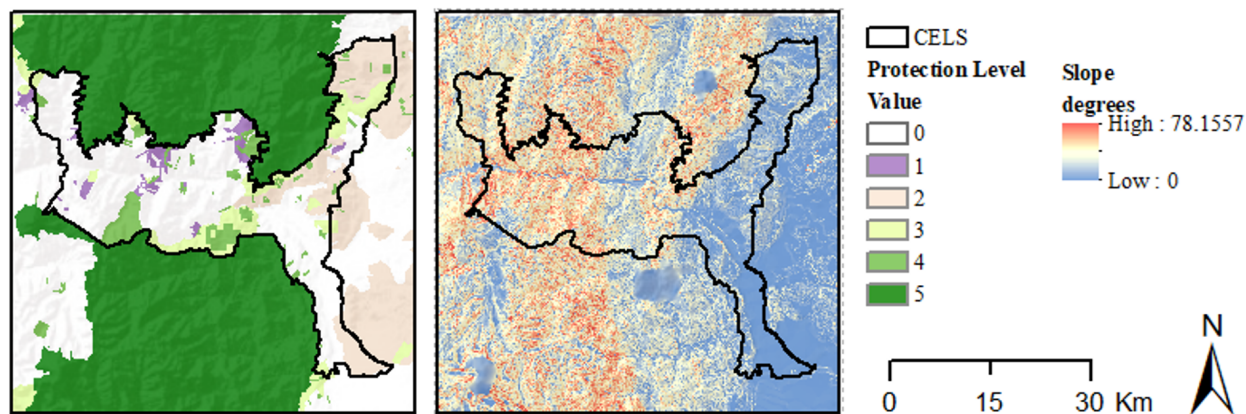


Figura 7. Variables explicativas: nivel de protección y pendiente.

Para tener en cuenta estas diferencias, se consultaron a tres expertos para evaluar el nivel de protección contra la deforestación en diversos tipos de áreas de conservación. Los expertos seleccionados tienen al menos cinco años de experiencia en conservación y provienen de distintas instituciones en Ecuador que han trabajado en corredores de conectividad oficialmente reconocidos (MAATE y dos ONG diferentes), proporcionando perspectivas diferentes y un entendimiento amplio de las prácticas y desafíos de conservación en el país. Los resultados se presentan en la Tabla 5. Cada nivel de protección se calificó en una escala de 1 a 5, asignándose un valor de 0 a las áreas no protegidas.

La importancia de incorporar el nivel de protección de un área protegida en el modelo (Barreto et al., 2017; Pessôa et al., 2023) se demuestra en la Tabla 6, la cual evidencia su influencia significativa en las tasas de deforestación. Las tasas de cambio anual se calcularon utilizando la ecuación 1. Como era de esperarse, las áreas sin ninguna forma de protección (nivel de protección 0) presentan las tasas de deforestación más altas, seguidas por el Área Ecológica de Desarrollo Sostenible Provincial del GAD de Pastaza (AEDSP), donde se permiten actividades productivas sostenibles (nivel de protección 2). En contraste, las áreas protegidas como ACMUS, APH y los Bosques Protectores (nivel de protección 3) presentan las tasas de deforestación anual más bajas, seguidas por las áreas protegidas privadas (nivel de protección 1).

Las áreas protegidas privadas muestran una notable diferencia entre el nivel de protección repor-

tado por los expertos y las bajas tasas de deforestación calculadas en este análisis. Dos de los expertos entrevistados fundamentan sus opiniones en la falta de garantías legales para la protección a largo plazo, ya que el estatus de conservación en áreas privadas puede cambiar dependiendo de la visión de los propietarios. Sin embargo, estas áreas suelen alcanzar resultados de conservación más elevados debido a su enfoque específico, adaptabilidad y gestión por parte de organizaciones no gubernamentales, familias o consorcios, los cuales implementan prácticas rigurosas de conservación y reducen la presión antropogénica directa. A pesar de estas ventajas, persisten desafíos, entre ellos las tensiones con las comunidades locales debido al acceso restringido a recursos tradicionales y la vulnerabilidad de los enfoques de conservación frente a cambios en las prioridades de los propietarios (Iñiguez-Gallardo et al., 2021).

### 3.3 Entrenamiento del modelo de Red Neuronal Artificial

El algoritmo de Red Neuronal Artificial (ANN) en la herramienta MOLUSCE se configuró con un tamaño de vecindad de 2 píxeles y una tasa de aprendizaje de 0.002. Además, se estableció un momento (momentum) de 0,002, que son parámetros que ayudan a estabilizar el aprendizaje y acelerar la convergencia. La Figura 8 muestra la curva de aprendizaje que ilustra el proceso de entrenamiento del algoritmo a lo largo de 2000 iteraciones, en las cuales se utilizaron 40,000 puntos de muestreo estratificado para entrenar y validar la red neuronal. El error mínimo alcanzado por la red neuronal fue de 8,46%.

**Tabla 5.** Resultados de la encuesta para evaluar el nivel de protección contra la deforestación, con 1 representando un nivel bajo de protección y 5 un nivel alto.

Tipo de zona protegida	Nivel de protección			
	Grado 1 <sup>a</sup>	Grado 2 <sup>b</sup>	Grado 3 <sup>a</sup>	Media
Áreas de conservación privadas	1	1	2	1
Áreas de conservación Municipal y Uso Sostenible (ACMUS)	3	4	3	3
Áreas de Protección Hídrica (APH)	3	3	4	3
Programa de conservación Socio Bosque	4	4	3	4
Área Ecológica de Desarrollo Sostenible Provincial de Pastaza (AEDSP)	2	2	2	2
Bosques y vegetación protectores	1	4	4	3
Parques Nacionales (parte del SNAP)	5	5	5	5
Áreas privadas protegidas (parte del SNAP)	3	5	5	4

<sup>a</sup>Especialistas en conservación- ONG.

<sup>b</sup>Especialista en Áreas Protegidas- MAATE.

**Tabla 6.** Tasa de variación anual de la formación forestal según el nivel de protección contra la deforestación de las zonas protegidas de 2018 a 2022.

Nivel de protección	Formación Forestal 2018	Formación Forestal 2022	Cambio 2018 - 2022	
	ha	ha	ha	q (%/año)
0	42952,59	41962,24	-990,35	-0,58
1	3730,25	3727,59	-2,65	-0,02
2	13003,95	12889,33	-114,62	-0,22
3	9269,31	9264,46	-4,85	-0,01
4	8911,26	8876,59	-34,67	-0,10
5	106,39	106,21	-0,18	-0,04
<b>Total</b>	<b>77973,75</b>	<b>76826,42</b>	<b>-1147,33</b>	<b>-0,37%</b>

\*Los valores negativos indican una reducción de la superficie.

### 3.4 Simulación con autómatas celulares

Los mapas de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) proyectados para el período 2022-2030, con intervalos de dos años, se ilustran en la Figura 9, mientras que la Tabla 7 detalla la transición de las predicciones de LULC entre 2022 y 2030 en hectáreas, con porcentajes en paréntesis.

Los valores de variación positiva indican ganancias de área, mientras que los valores negativos representan pérdidas. Además, la Figura 9 muestra la evolución de las tasas anuales de cambio proyectadas de LULC (%/año) en intervalos de dos años entre 2022 y 2030, y la Tabla 7 presenta la matriz de transición correspondiente. Por otro lado, la Figura 10 muestra las tendencias futuras proyectadas y las

variaciones en las tasas anuales de cambio de las categorías de LULC durante el período 2022-2030.

La Formación Forestal, el mayor uso del suelo, muestra una disminución de área (tasas de cambio negativas), que va de 77025,39 ha en 2022 a 75396,42 ha en 2030, lo que indica una reducción continua pero moderada en la cobertura forestal, probablemente debido a la deforestación (Souza et al., 2020). La conversión de bosques en pastizales, tierras agrícolas e infraestructura es un impulsor clave de la deforestación, causando efectos significativos en los ecosistemas y el clima. Este proceso acelera la pérdida de biodiversidad, interrumpe los sistemas hídricos y libera carbono almacenado, intensificando el cambio climático y alterando las condiciones am-

bientales locales y regionales (Kumar et al., 2022). Aunque la mayoría de las Áreas de Formación Forestal (95,59%, 73628,13 ha) permanecieron intactas

en la simulación, un 3,72% se convirtió en Áreas de Agricultura y Ganadería.

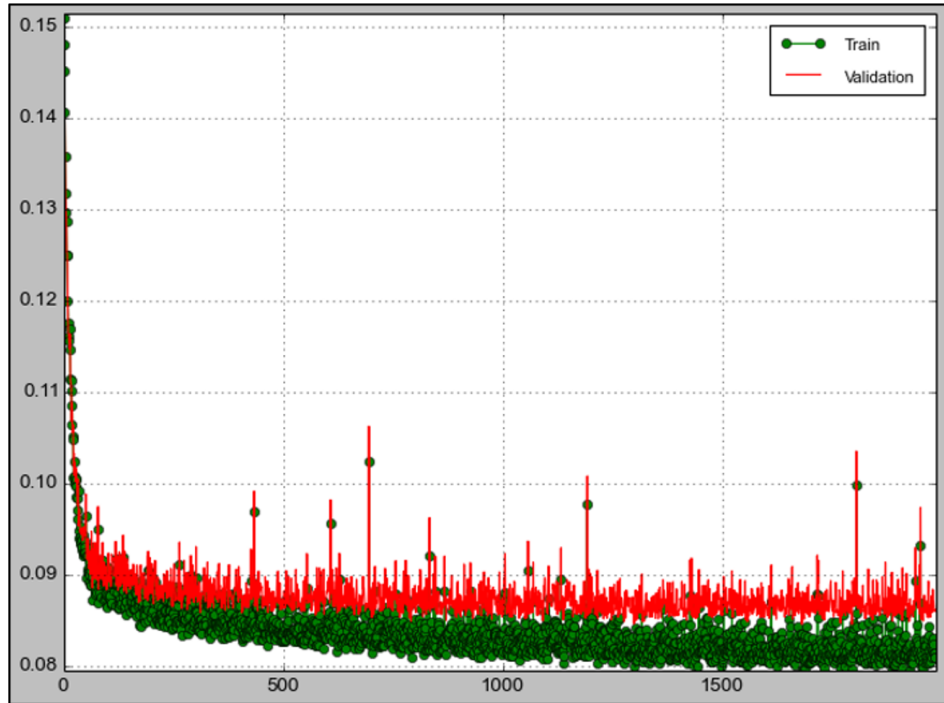


Figura 8. Curva de aprendizaje de la red neuronal artificial.

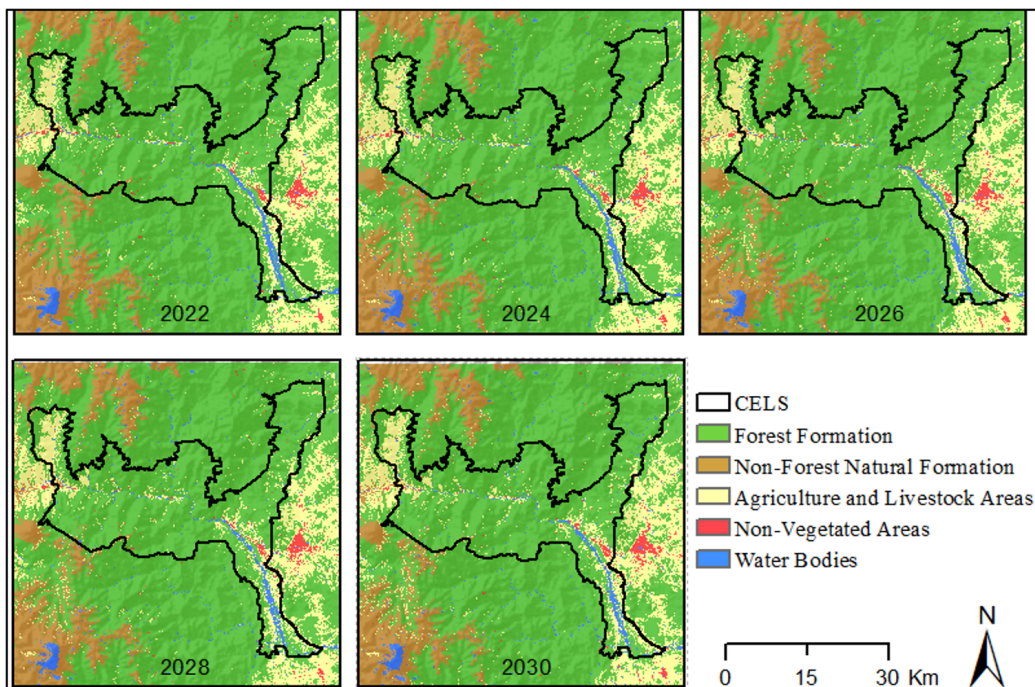


Figura 9. Mapas de LULC predichos del 2022 al 2030.

De manera similar, el 59,7% de las Formaciones Naturales No Forestales de 2022 persistieron, mientras que el 21,04% se transformó en tierras agrícolas, lo que refleja una presión significativa sobre estos ecosistemas debido al crecimiento agrícola (Tabla 7).

La disminución de las Formaciones Naturales No Forestales puede tener consecuencias ecológicas significativas, incluyendo la pérdida de biodiversidad y la degradación de ecosistemas. Por ejemplo, la reducción de humedales naturales se ha relacionado con una disminución en la calidad del hábitat y la fragmentación, agravando aún más la degradación ambiental (Wilson et al., 2016).

Las Áreas de Agricultura y Ganadería se expanden de manera constante, pasando de 10804,52 ha en 2022 a 12582,78 ha en 2030, reflejando la incursión agrícola. Aunque estas áreas permanecieron predominantemente estables en la simulación (83,72%, 9045,19 ha), 1412,07 ha se transformaron en Formación Forestal. Este cambio puede indicar la influencia de esfuerzos de conservación e iniciativas implementadas en el CELS, como la promoción

de prácticas agroecológicas que pueden facilitar la restauración forestal (Knapp and Sciarretta, 2023). Las Áreas de Agricultura y Ganadería muestran tasas de cambio positivas, pero ligeramente desaceleradas, lo que indica un aumento continuo de tierras agrícolas, aunque a un ritmo más lento con el tiempo.

En contraste, las Áreas No Vegetadas exhiben tasas de cambio positivas y crecientes, reflejando una expansión gradual, probablemente asociada al crecimiento periurbano (Souza et al., 2020) y otras actividades antropogénicas. Esta expansión también podría estar influenciada por deslizamientos de tierra y el aumento de bancos de arena expuestos en ríos, visibles debido a la disminución en los cuerpos de agua. Aunque las Áreas No Vegetadas mantuvieron el 71,77% de su cobertura, la conversión de 163,84 ha en Áreas de Agricultura y Ganadería podría atribuirse a esfuerzos de recuperación de tierras y restauración ecológica que facilitan su transición hacia paisajes agrícolas productivos (Zine et al., 2024).

**Tabla 7.** Matriz de transición para las predicciones de LULC entre 2022 y 2030.

Período 2022 - 2030	Formación Forestal	Formación Natural No Forestal	Zonas Agrícolas y Ganaderas	Áreas No Vegetadas	Cuerpos de Agua	Total 2022
<b>Formación Forestal</b>	73628,13 (95,59%)	82,88 (0,11%)	2866,5 (3,72%)	97,52 (0,13%)	350,37 (0,45%)	77025,39 (100%)
<b>Formación Natural</b>	112,06 (18,76%)	356,68 (59,7%)	125,69 (21,04%)	2,01 (0,34%)	1,01 (0,17%)	597,45 (-100%)
<b>Zonas Agrícolas y Ganaderas</b>	1412,07 (13,07%)	74,92 (0,69%)	9045,19 (83,72%)	130,45 (1,21%)	141,88 (1,31%)	10804,52 (100%)
<b>Áreas No Vegetadas</b>	15,73 (2,1%)	17,29 (2,31%)	163,84 (21,86%)	537,81 (71,77%)	14,73 (1,97%)	749,4 (-100%)
<b>Cuerpo de Agua</b>	228,42 (7,71%)	2,2 (0,07%)	381,56 (12,87%)	41,99 (1,42%)	2309,48 (77,93%)	2963,65 (100%)
<b>Total 2030</b>	75396,42	533,96	12582,78	809,77	2817,47	
<b>Variación de 2022 a 20230</b>	-1628,97	-63,49	1778,26	60,38	-146,18	

\*Los cambios se expresan en hectáreas, con los porcentajes entre paréntesis. Los valores de variación positivos indican ganancias de superficie, y los negativos, pérdidas.

Los Cuerpos de Agua, aunque mantuvieron una estabilidad del 77,93%, experimentaron pérdidas hacia la Formación Forestal y Áreas de Agricultura y Ganadería, probablemente impulsadas por procesos de sedimentación y alteraciones en la dinámica

hidrológica. Además, esta tendencia puede reflejar la influencia de los datos utilizados para entrenar la red neuronal artificial (ANN), ya que la disminución observada en los Cuerpos de Agua entre 2018 y 2022 parece haber guiado al modelo a predecir

reducciones similares en escenarios futuros. Se requieren estudios adicionales para comprender mejor los factores detrás de estos cambios y evaluar si representan fluctuaciones temporales, tendencias a largo plazo o posibles errores en el proceso de mo-

delado. La Figura 11 muestra una comparación entre los cambios de Formación Forestal a cualquier otra categoría de LULC en los períodos 2022-2024 y 2022-2030.

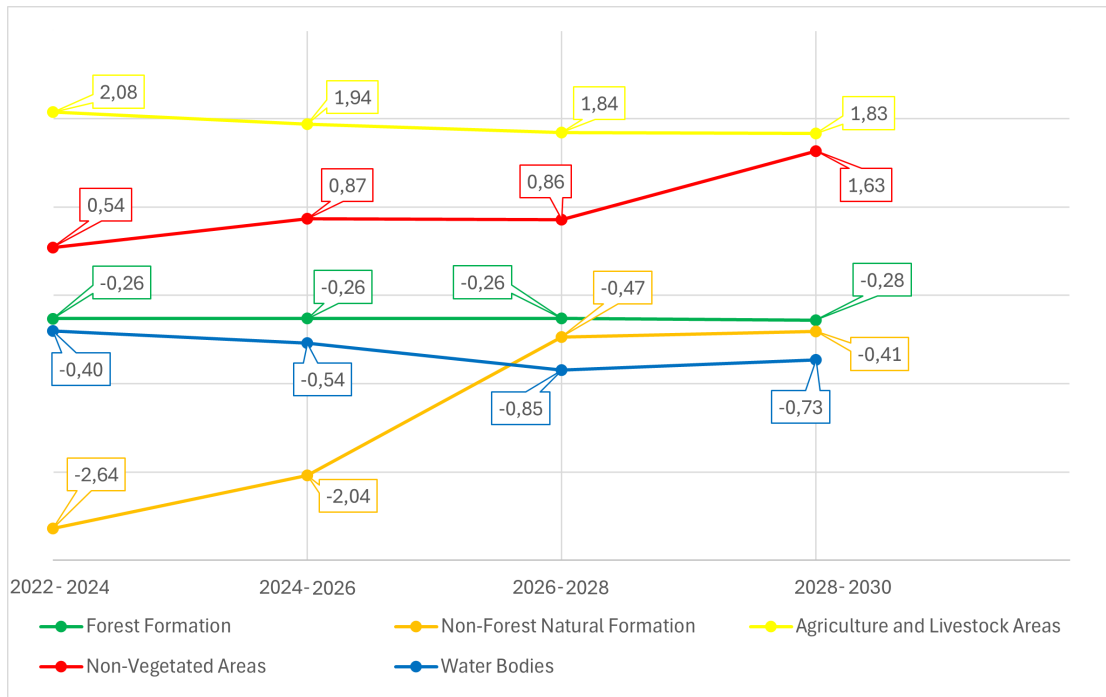


Figura 10. Evolución de las tasas de cambio anuales de LULC predichas (%/año) a intervalos de dos años de 2022 a 2030.

### 3.5 Validación del modelo

Mediante cinco iteraciones con 40000 puntos de muestra estratificados, se obtuvo un coeficiente Kappa promedio de 0,95, con valores estables observados en todas las iteraciones. Esto indica un excelente nivel de concordancia entre el mapa predicho y el mapa de 2022 de MapBiomias, lo que sugiere que el modelo tiene un desempeño consistente y puede ser una herramienta útil en los procesos de toma de decisiones.

### 3.6 Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones de este estudio incluyen la baja disponibilidad de imágenes satelitales debido a la alta cobertura de nubes presentes durante el período de análisis. Por esta razón, se utilizaron los mapas de uso y cobertura del suelo generados por MapBiomias. Aunque esta herramienta emplea técnicas avanzadas de filtrado y corrección

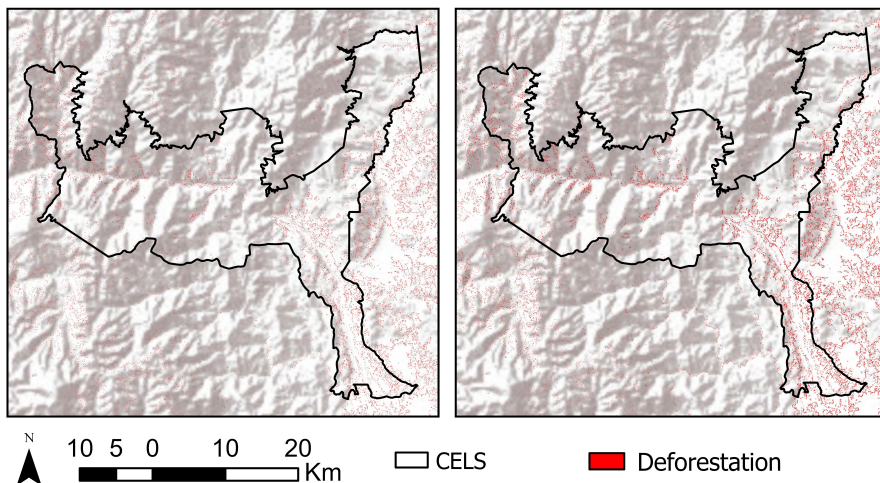
de imágenes, su cartografía presenta un margen de error con una precisión del 80%. Asimismo, el uso de la herramienta MOLUSCE, a pesar de su robustez y frecuente aplicación para generar tendencias, incluye un margen de error asociado, con un coeficiente Kappa de 0,95.

El enfoque naturalista del artículo priorizó el análisis de los cambios en la cobertura natural y las diferentes formas de conservación dentro del CELS. Los factores socioeconómicos, políticos, de políticas públicas y de disponibilidad de recursos no se incluyeron en el análisis debido a la falta de datos disponibles y a las complejidades asociadas con la integración de estas variables en modelos geoespaciales. Esto representa una oportunidad para realizar investigaciones complementarias que aborden esta limitación mediante la incorporación de datos sobre crecimiento poblacional, actividades económicas, implementación de políticas, disponibilidad de recursos y capacidades de gestión de áreas prote-

gidas, con el fin de capturar de manera más integral las dinámicas que influyen en los cambios de LULC.

A pesar de estas limitaciones, los resultados presentados en este estudio reflejan de manera confia-

ble las dinámicas observadas en el CELS. Las variables utilizadas son ampliamente aplicadas en el modelado de LULC, y el modelo fue entrenado y validado utilizando diferentes conjuntos de datos, alcanzando un alto nivel de precisión.



**Figura 11.** Deforestación prevista representada como la transición de la clase Formación forestal a cualquier otra categoría LULC entre 2022 - 2024 (izquierda) y 2022-2030 (derecha).

## 4 Conclusiones

Este estudio examinó mapas de uso y cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) obtenidos de la plataforma MapBiomas para el período 2018-2022. Los mapas predictivos de LULC para el período 2022-2030 se generaron utilizando la herramienta MOLUSCE en QGIS. La deforestación se representó como la transición de la clase Formación Forestal a cualquier otra categoría de LULC. Los hallazgos confirman la tendencia esperada de reemplazo de las áreas de cobertura natural por usos antropogénicos, destacándose la expansión de las Áreas de Agricultura y Ganadería en los límites oriental y occidental del CELS. Para mitigar este fenómeno, se recomienda promover prácticas antropogénicas sostenibles, como la agroecología.

Además, se observó que las áreas de conservación presentan tasas de deforestación más bajas, mientras que la mayor parte de la deforestación ocurre en áreas sin ningún estatus de conservación. Por lo tanto, se sugiere fortalecer las áreas de conservación existentes, establecer nuevas áreas y abordar la proporción significativa de cobertura natural sin protección dentro del CELS como estrategias

prioritarias.

Las tasas relativamente bajas de deforestación identificadas plantearon desafíos para detectar cambios en los mapas de LULC. Este desafío también se reflejó en el algoritmo de red neuronal artificial (ANN), donde los intervalos de entrenamiento tuvieron que extenderse a dos años debido a los mínimos cambios observados anualmente. Utilizando el modelo ANN y el algoritmo de simulación de autómatas celulares, el estudio estimó las tasas anuales de cambio entre 2018 y 2022 de la siguiente manera: una disminución de 0,37% por año, equivalente a 1147,33 hectáreas para la Formación Forestal; una reducción del 1,17% por año, o 30,01 hectáreas, para la Formación Natural No Forestal; un incremento del 2,21% por año, correspondiente a 906,19 hectáreas, para las Áreas de Agricultura y Ganadería; un aumento del 8,50% por año, equivalente a 250,84 hectáreas, para las Áreas No Vegetadas; y un ligero incremento del 0,17% por año, o 30,31 hectáreas, para los Cuerpos de Agua.

En contraste, las simulaciones de LULC para el período 2022-2030 predicen: una disminución anual de 0,27%, equivalente a 1628,97 hectáreas para la

Formación Forestal; una reducción del 1,39% por año o 63,49 hectáreas para la Formación Natural No Forestal; un aumento del 1,92% por año, correspondiente a 1778,26 hectáreas, para las Áreas de Agricultura y Ganadería; un incremento del 0,97% por año, sumando 30,38 hectáreas, para las áreas no vegetadas; y un leve descenso del 0,63% por año, equivalente a 146,18 hectáreas, para los Cuerpos de Agua. La precisión predictiva del modelo, evaluada mediante el coeficiente Kappa, indicó un gran desempeño.

## Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a la Fundación Hempel por financiar el estudio sobre deforestación en el Corredor de Conectividad Llanganates-Sangay, cuyo proceso y resultados se presentan en este artículo. Agradecemos también a WWF-Ecuador por su valiosa información y contribuciones técnicas. Un agradecimiento especial a la Universidad Politécnica Salesiana por su interés y esfuerzos en la difusión del conocimiento sobre los corredores de conectividad, y a la Red de Investigación del CELS, de la cual forma parte la ESPOCH, por hacer posible esta oportunidad de trabajo colaborativo.

## Contribución de los autores

L.J.J.C.: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Supervisión, Recursos, Software, Validación, Visualización, Escritura– borrador original. A.C.M.H.: Conceptualización, Adquisición de financiación, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Recursos, Supervisión, Escritura– borrador original, Escritura– revisión y edición. A.C.G.G.: Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Escritura de la introducción, metodología y resultados. J.G.M.L.: Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Visualización, Escritura – revisión y edición.

## Referencias

Admas, M. (2024). Predicting the impacts of land use/cover and climate changes on water and

sediment flows in the megech watershed, upper blue Nile basin. *Remote Sens*, 16:2385. Online: <https://n9.cl/p2v51k>.

Al Mazroa, A., Maashi, M., Kouki, F., Othman, K., Salih, N., Elfaki, M., and Begum, S. (2024). An analysis of urban sprawl growth and prediction using remote sensing and machine learning techniques for Vila Velha, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 142:104988. Online: <https://n9.cl/sseqj>.

Alipbeki, O., Alipbekova, C., Mussaif, G., Grossul, P., Zhenshan, D., Muzyka, O., Turekeldiyeva, R., Yelubayev, D., Rakhimov, D., Kupidura, P., and Alikan, E. (2024). Analysis and prediction of land use/land cover changes in Korgalzhyn district, Kazakhstan. *Agronomy*, 14(2):268. Online: <https://n9.cl/5tvd8>.

Alvarado, O. (2020). La conservación neoliberal: otra cara de la economía verde. estudio de caso en el corredor ecológico Llanganates Sangay, Ecuador. *Sociedad y ambiente*, (22):97–123. Online: <https://n9.cl/0yycl>.

Aneloa, W. E., Lara, J., Mendoza, C., Herrera, A., and Jacho, A. (2024). Development of a geoportal for the integrated management of cartographic information in the Llanganates-Sangay connectivity corridor. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(11):e08768. Online: <https://n9.cl/wppfn>.

Bao Pham, Q., Ajim Ali, S., Parvin, F., Van On, V., Mohd Sidek, L., Đurin, B., Cetl, V., Šamanović, S., and Nguyet Minh, N. (2024). Multi-spectral remote sensing and GIS-based analysis for decadal land use land cover changes and future prediction using random forest tree and artificial neural network. *Advances in Space Research*, 74(1):17–47. Online: <https://n9.cl/v4gdo>.

Barbosa de Souza, K., Rosa dos Santos, A., Macedo Pezzopane, J., Machado Dias, H., Ferrari, J., Machado de Oliveira Peluzio, T., Toledo, J., Freire Carvalho, R., Rizzo Moreira, T., and França Araújo, E. (2023). Modeling dynamics in land use and land cover and its future projection for the Amazon biome. *Forests*, 14(7):1281. Online: <https://n9.cl/2egr1>.

Barreto, J., González, T., and Armenteras, D. (2017). Dinámica espacio temporal de ocurrencia de incendios en zonas con diferentes tipos de manejo

- en el noroeste de la amazonia:¿ barrera efectiva? *Revista facultad de ciencias básicas*, 13(1):19–25. Online:<https://n9.cl/susqb>.
- Borja, M., Holguín, W., Aguilar, C., Terán, K., Rodríguez, A., and Josse, C. (2023). Documento de bases teóricas de algoritmo (atbd) raisg - map-biomas ecuador colección 1.0 de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de ecuador. Online:<https://n9.cl/89xt1>.
- Calvas, B., Castro, L., Kindu, M., Bingham, L., Pintado, K., Torres, J., Knoke, T., and Cueva-Ortiz, J. (2024). Large differences between observed and expected ecuadorian deforestation from 2001 to 2009: a counterfactual simulation approach. *Regional Environmental Change*, 24(2):1–15. Online:<https://n9.cl/o4k9v>.
- Delgado Fernández, E., León Peralta, M., Cantos Guamán, C., and J., G. (2023). Effect of mining activity on biodiversity in a sector of the paquisha parish, province of zamora chinchipe-ecuador. *La Granja*, 38(2):106–123. Online:<https://n9.cl/65gby>.
- Elagouz, M., Abou-Shleel, S., Belal, A., and El-Mohandes, M. (2020). Detection of land use/cover change in egyptian nile delta using remote sensing. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1):57–62. Online:<https://n9.cl/die101>.
- Fischer, R., Cordero, F., Luna, T., Velasco, R., De-Decker, M., Torres, B., Giessen, L., and Günter, S. (2021). Interplay of governance elements and their effects on deforestation in tropical landscapes: Quantitative insights from ecuador. *World Development*, 148:105665. Online:<https://n9.cl/5x86g>.
- Gaglio, M., Aschonitis, V., Mancuso, M., Reyes Puig, J., Moscoso, F., Castaldelli, G., and Fano, E. (2017). Changes in land use and ecosystem services in tropical forest areas: a case study in andes mountains of ecuador. *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag*, 13(1):264–279. Online:<https://n9.cl/4q5fe>.
- Gaur, S. and Singh, R. (2023). A comprehensive review on land use/land cover (lulc) change modeling for urban development: current status and future prospects. *Sustainability*, 15(2):903. Online:<https://n9.cl/9stqv>.
- Gutiérrez, R., Puig, J., Tapia, A., Terán, A., de Vargas, K., Bermudez, D., and Rodríguez, X. (2016). Desarrollo local y conservación en la vertiente oriental andina: corredor ecológico llanganates-sangay-valle del anzu. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología*, 5(1):52–68. Online:<https://n9.cl/wvv9v>.
- Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S., and Khan, H. (2020). Future simulation of land use changes in rapidly urbanizing south china based on land change modeler and remote sensing data. *Sustainability*, 12(11):4350. Online:<https://n9.cl/jhna4>.
- Heredia-R, M., Torres, B., Cabrera-Torres, F., Torres, E., Díaz-Ambrona, C., and Pappalardo, S. (2021). Land use and land cover changes in the diversity and life zone for uncontacted indigenous people: Deforestation hotspots in the yasuní biosphere reserve, ecuadorian amazon. *Forests*, 12(11):1539. Online:<https://n9.cl/r3qb1>.
- Herrera, G. and Rodríguez, G. (2016). Resiliencia y turismo: El caso de la ciudad de baños de agua santa-ecuador. *Holos*, 3:229–250. Online:<https://n9.cl/hso6tb>.
- INABIO, Ecominga Foundation, Sumak Kawsay In Situ, and Waska Amazonía (2023). *Amphibians and Reptiles of the Llanganates-Sangay Ecological Corridor*. National Biodiversity Institute Publication Series.
- Iñiguez-Gallardo, V., Reyes-Bueno, F., and Peñaranda, O. (2021). Conservation debates: people’s perceptions and values towards a privately protected area in southern ecuador. *Land*, 10(3):233. Online:<https://n9.cl/147n4>.
- Jain, M. (2024). Future land use and land cover simulations with cellular automata-based artificial neural network: A case study over delhi megacity (india). *Heliyon*, 10(14):e34662. Online:<https://n9.cl/zdry6>.
- Jokisch, B. and Lair, B. (2002). One last stand? forests and change on ecuador’s eastern cordillera. *Geographical Review*, 92(2):235–256. Online:<https://n9.cl/1o8235>.
- Jost, L. (2004). Explosive local radiation of the genus teagueia (orchidaceae) in the upper pastaza watershed of ecuador. *Lyonia*, 7(1):41–47. Online:<https://n9.cl/kmuuf>.

- Kim, D. and Anand, A. (2021). Effectiveness of protected areas in the pan-tropics and international aid for conservation. *Geomatics*, 1(3):335–346. Online: <https://n9.cl/m0dwx>.
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J., Fürst, C., and Thiel, M. (2022). Deforestation in continental Ecuador with a focus on protected areas. *Land*, 11(2):268. Online: <https://n9.cl/8p6fh>.
- Knapp, J. and Sciarretta, A. (2023). Agroecology: protecting, restoring, and promoting biodiversity. *BMC Ecology and Evolution*, 23(1):29. Online: <https://bit.ly/3Xgk2Ki>.
- Kouassi, J., Gyau, A., Diby, L., Bene, Y., and Kouamé, C. (2021). Assessing land use and land cover change and farmers' perceptions of deforestation and land degradation in south-west Côte d'Ivoire, West Africa. *Land*, 10(4):429. Online: <https://n9.cl/ke4z50>.
- Kumar, R., Kumar, A., and Saikia, P. (2022). *Environmental Degradation: Challenges and Strategies for Mitigation*, volume 104, chapter Deforestation and forests degradation impacts on the environment, pages 19–46. Springer.
- Lukas, P., Melesse, A., and Kenea, T. (2023). Prediction of future land use/land cover changes using a coupled CA-Markov model in the upper Omo-Gibe river basin, Ethiopia. *Remote Sensing*, 15(4):1148. Online: <https://n9.cl/o3xdi1>.
- Mainville, N., Webb, J., Lucotte, M., Davidson, R., Betancourt, O., Cueva, E., and Mergler, D. (2006). Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River valley, Ecuador. *Science of the Total Environment*, 368(1):88–98. Online: <https://n9.cl/i2nwt>.
- MapBiomás (2024). Colección 1.0 de la serie de mapas anuales de cobertura y uso de suelo de Ecuador. WebPage. Online: <https://bit.ly/40GqWJU>.
- Mendoza-Montesdeoca, I., Rivera-Mateos, M., and Doumet-Chilán, Y. (2022). Políticas públicas ambientales y desarrollo turístico sostenible en las áreas protegidas de Ecuador. *Revista de Estudios Andaluces*, (43):106–124. Online: <https://n9.cl/eaxg3>.
- Mestanza-Ramón, C., Henkanaththegedara, S., Vásconez, P., Vargas, Y., Sánchez, M., Constante, D., Jiménez, M., Charco-Guamán, M., and Mestanza, P. (2020). In-situ and ex-situ biodiversity conservation in Ecuador: A review of policies, actions and challenges. *Diversity*, 12(8):315. Online: <https://n9.cl/56go9>.
- Mollocana Lara, J., Álvarez Mendoza, C., and Jaramillo Coronel, L. (2021). Evaluación de información relacionada con combustibles en el distrito metropolitano de Quito para el modelado y simulación de incendios forestales, caso de estudio: Incendio del Cerro Atacazo. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2):45–62. Online: <https://n9.cl/d57zh>.
- Mollocana Lara, J. and Paredes Obando, J. (2024). Assessment and selection of fuel models in areas with high susceptibility to wildfires in the metropolitan district of Quito. In *International Conference on Innovation and Research*, pages 54–68. Online: <https://n9.cl/j39e4z>.
- Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., and Gwiazdzinski, L. (2022). Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS Molusc plugin and remote sensing big data: a case study of Linzi, China. *Land*, 11(3):419. Online: <https://n9.cl/b0y84k>.
- Mustafa, A., Ebaid, A., Omrani, H., and McPhearson, T. (2021). A multi-objective Markov chain Monte Carlo cellular automata model: Simulating multi-density urban expansion in NYC. *Computers, Environment and Urban Systems*, 87:101602. Online: <https://n9.cl/1jt25>.
- Perea-Ardila, M., Leal-Villamil, J., and Oviedo-Barrero, F. (2021). Spectral characterization and monitoring of mangrove forests with remote sensing in the Colombian Pacific coast: Bajo Baudó, Chocó. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2):27–44. Online: <https://bit.ly/3CKfBA3>.
- Pessôa, A., Morelo, R., Silva-Junior, C., Doblás, J., Carvalho, N., Aragão, L., and Anderson, L. (2023). Protected areas are effective on curbing fires in the Amazon. *Ecological Economics*, 214:107983. Online: <https://n9.cl/82kct>.
- Puyravaud, J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest*

- ecology and management*, 177(1-3):593–596. Online: <https://n9.cl/yhlg7>.
- Reyes-Puig, J., Reyes-Puig, C., Pacheco-Esquivel, J., Recalde, S., Recalde, F., Recalde, D., Salazar, J., Peña, E., Paredes, S., Robalino, M., Flores, F., Paredes, V., Sailema, E., and Ríos-Alvear, G. (2023). First insights in terrestrial mammals monitoring in the candelaria and machay reserves in the ecuadorian tropical andes. *Biodiversity Data Journal*, 11:e98119. Online: <https://n9.cl/bl2ojr>.
- Ríos-Alvear, G., Meneses, P., Ortega-Andrade, H., Santos, C., Muzo, A., López, K., Bentley, A., and Villamarín, F. (2024). Key connectivity areas in the llanganates-sangay ecological corridor in ecuador: A participative multicriteria analysis based on a landscape species. *Landscape and Urban Planning*, 246:105039. Online: <https://n9.cl/w0pn4>.
- Rivas, C., Guerrero-Casado, J., and Navarro-Cerrillo, R. (2024). Functional connectivity across dominant forest ecosystems in ecuador: A major challenge for a country with a high deforestation rate. *Journal for Nature Conservation*, 78:126549. Online: <https://n9.cl/msrhe>.
- Santos, F., Telles, L., Rosas, J., Gomes, A., Martins, R., Nascimento, A., and Sousa, E. (2020). Open source iterative bayesian classifier algorithm for quality assessment of processed coffee beans. *Nativa*, 8(1):118–123. Online: <https://n9.cl/ugjvpj>.
- Souza, C., Z. Shimbo, J., Rosa, M., Parente, L., Alencar, A., Rudorff, B., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L., and Souza-Filho, P. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17):2735. Online: <https://n9.cl/ybrqd>.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y., and Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations-a review. *Remote sensing*, 12(7):1135. Online: <https://n9.cl/v7m3k>.
- Tenorio, C., Álvarez, G., Perez-Alania, M., Blanco, J., Paulino, C., Blanco, J., and Uribe, E. (2022). Bloom of *procentrum cordatum* in paracas bay, peru. *Diversity*, 14(10):844. Online: <https://n9.cl/tkn7s>.
- Tikuye, B., Rusnak, M., Manjunatha, B., and Jose, J. (2023). Land use and land cover change detection using the random forest approach: The case of the upper blue Nile river basin, ethiopia. *Global Challenges*, 7(10):2300155. Online: <https://n9.cl/495uf>.
- Vergara, A., Arias, M., Gachet, B., Naranjo, L., Román, L., Surkin, J., and Tamayo, V. (2022). Informe de amazonía viva 2022. Technical report, WWF. Online: <https://n9.cl/wov9ve>.
- Viteri-Basso, E., Puig, J., Reyes-Puig, C., and Ríos-Alvear, G. (2024). Shadows in the forest: Uncovering unusual colouration records in mammals from the ecuadorian tropical andes. *Biodiversity Data Journal*, 12:e137463. Online: <https://n9.cl/z1aa5n>.
- Wilson, M., Chen, X., Corlett, R., Didham, R., Ding, P., Holt, R. and Holyoak, M., Hu, G., Hughes, A., and Jiang, L. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*, 31:219–227. Online: <https://n9.cl/95fg8>.
- Xu, J., Jiao, C., Zheng, D., and Li, L. (2024). Agricultural land suitability assessment at the county scale in taiyuan, china. *Agriculture*, 14(1):16. Online: <https://n9.cl/kiut6>.
- Zine, H., Hakkou, R., Papazoglou, E., Elmansour, A., Abrar, F., and Benzaazoua, M. (2024). Revegetation and ecosystem reclamation of post-mined land: toward sustainable mining. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, page 9775–9798. Online: <https://n9.cl/rqhhbx>.



# ANÁLISIS MULTIVARIADO DE LAS PROVINCIAS Y ÁREAS PROTEGIDAS DE ECUADOR BASADO EN LA PRESENCIA DE RANAS DARDO VENENOSAS (*DENDROBATIDAE*) Y CONSIDERACIONES PARA SU CONSERVACIÓN

MULTIVARIATE ANALYSIS OF ECUADORIAN PROVINCES AND PROTECTED  
AREAS BASED ON THE PRESENCE OF POISON DART FROGS (*DENDROBATIDAE*)  
AND SOME INSIGHTS FOR THEIR CONSERVATION

Patricio Yáñez-Moretta\*, Julio Gereda-García, Alexander Huaraca-Egas,  
Michael Baldeón-Morales y Darwin Quinteros-Sarmiento

*Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay: Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería, Urcuquí, Ecuador.*

\*Autor para correspondencia: [ayanez@yachaytech.edu.ec](mailto:ayanez@yachaytech.edu.ec)

Manuscrito recibido el 01 de octubre de 2024. Aceptado, tras revisión, el 05 de enero de 2025. Publicado el 01 de marzo de 2025.

## Resumen

La comprensión de los patrones de distribución de las especies es fundamental para desarrollar estrategias de conservación efectivas, especialmente en regiones con alta biodiversidad y endemismo como Ecuador. Los anfibios, y en particular las ranas venenosas (*Dendrobatidae*), son importantes bioindicadores de la salud ambiental, pero enfrentan amenazas significativas como la pérdida de hábitat, el cambio climático y otros factores antropogénicos. Este estudio analiza los patrones de distribución de las especies de ranas venenosas en varias provincias y áreas protegidas de Ecuador, utilizando una base de datos actualizada que incluye 48 especies, 32 de las cuales son endémicas del país. Se emplearon técnicas de Análisis de Clasificación (Cluster analysis) y de Ordenamiento (Análisis de componentes principales) para comparar provincias y áreas protegidas en función de su riqueza de especies, identificando regiones con mayor y menor presencia de estas ranas venenosas. Además, se discuten los factores ecológicos y la influencia de las áreas protegidas en la distribución de estas especies. Los hallazgos revelan regiones con alta riqueza de especies, resaltan los posibles efectos de los cambios ambientales en las comunidades de ranas venenosas y subrayan el papel crucial de las áreas protegidas en la preservación de la biodiversidad. El presente estudio enfatiza la importancia de integrar estos análisis en la planificación de conservación y en los procesos de toma de decisiones, contribuyendo a la protección de las ranas venenosas y de sus hábitats, así como a la preservación de la singular diversidad de anfibios en Ecuador.

**Palabras clave:** Ranas dardo venenosas, *Dendrobatidae*, análisis multivariado, biodiversidad, provincias ecuatorianas, áreas protegidas de Ecuador.

---

**Abstract**

Understanding the distribution patterns of species is crucial for developing effective conservation strategies, particularly in regions with high biodiversity and endemism like Ecuador. Amphibians, especially poison dart frogs (*Dendrobatidae*), serve as important bioindicators of environmental health, yet they face significant threats from habitat loss, climate change, and other anthropogenic factors. This study examines the distribution patterns of poison dart frog species across various provinces and protected areas in Ecuador, utilizing an updated database containing 48 species, 32 of which are endemic to the country. Cluster Analysis and Principal Component Analysis (PCA) were applied to compare provinces and protected areas based on species richness, effectively identifying regions with higher and lower poison dart frog species presence. Additionally, ecological factors and the influence of protected areas on the distribution of these frogs are discussed. The findings reveal regions of high species richness, underscore the potential effects of environmental changes on poison dart frog communities, and highlight the crucial role of protected areas in safeguarding biodiversity. This study underscores the importance of integrating these analyses into conservation planning and decision-making processes, aiming to protect poison dart frogs and their habitats. By addressing these challenges, this research contributes complementary perspectives into preserving Ecuador's unique amphibian diversity.

**Keywords:** Poison dart frogs, *Dendrobatidae*, multivariate analysis, biodiversity, Ecuadorian provinces, Ecuadorian protected areas.

---

Forma sugerida de citar: Yáñez-Moreta, P., Gereda-García, J., Huaraca-Egas, A., Baldeón-Morales, M. y Quinteros-Sarmiento, D. (2025). Análisis multivariado de las provincias y áreas protegidas de Ecuador basado en la presencia de ranas dardo venenosas (*Dendrobatidae*) y consideraciones para su conservación. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):33-52. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.02>.

---

IDs Orcid:

Patricio Yanez-Moreta: <https://orcid.org/0000-0003-4436-7632>  
Julio Gereda-García: <https://orcid.org/0000-0001-5065-3542>  
Alexander Huaraca-Egas: <https://orcid.org/0000-0002-4439-6380>  
Michael Baldeón-Morales: <https://orcid.org/0000-0002-2705-723X>  
Darwin Quinteros-Sarmiento: <https://orcid.org/0000-0001-6137-2981>

## 1 Introducción

Ecuador es un país excepcionalmente biodiverso, que alberga una amplia variedad de hábitats y nichos ecológicos que sustentan numerosas especies de vertebrados e invertebrados. Hasta 2023, se han registrado 676 especies de anfibios en Ecuador, de las cuales 324 son endémicas (Ron and Ortiz, 2024). Entre ellas, la familia *Dendrobatidae*, comúnmente conocida como ranas dardo venenosas, comprende anuros neotropicales caracterizados por su llamativa coloración (Figuras 1-4), la cual funciona como una señal aposemática asociada a la presencia de alcaloides tóxicos en su piel (Daly et al., 2005; Patocka et al., 1999).



**Figura 1.** Un espécimen de *Ameerega bilinguis* (*Dendrobatidae*) (Gallice, 2009).



**Figura 2.** Un espécimen de *Epipedobates anthonyi* (*Dendrobatidae*) (Tubifex, 2010).

El estudio de las ranas dendrobátidas es relevante en múltiples disciplinas científicas. De las secreciones dérmicas de estas especies se han aislado

diversos alcaloides con propiedades farmacológicas potencialmente importantes (Daly et al., 1985, 2005; Spande et al., 1992). Dentro de esta familia, especies del género *Phyllobates* sintetizan batrachotoxinas, algunas de las toxinas no peptídicas más potentes conocidas.

Estas sustancias afectan principalmente los tejidos cardíaco y nervioso, al inducir una despolarización irreversible de la membrana celular, lo que interfiere con la depolarización normal (Patocka et al., 1999). En contraste, las especies con menores concentraciones de toxinas dérmicas tienden a presentar una coloración más opaca o críptica, lo que sugiere una adaptación que reduce el riesgo de depredación en ausencia de mecanismos químicos de defensa (Santos et al., 2003).



**Figura 3.** Un espécimen de *Hyloxalus infraguttatus* (*Dendrobatidae*) (Klimsa, 2020).



**Figura 4.** Un espécimen de *Epipedobates machalilla* (*Dendrobatidae*) (Amphibiaweb, 2022).

Según un modelo de riqueza desarrollado por Gómez (2017), las regiones de Ecuador con mayor diversidad de especies de la familia *Dendrobatidae* son el sureste y noroeste de la Amazonía ecuatoriana, las estribaciones occidentales del Chocó ecuatoriano y las estribaciones centro-orientales de los

Andes. Estos resultados evidencian una preferencia de estas especies por áreas húmedas y de tierras bajas, un patrón también reportado por Valencia et al. (2009a,b).

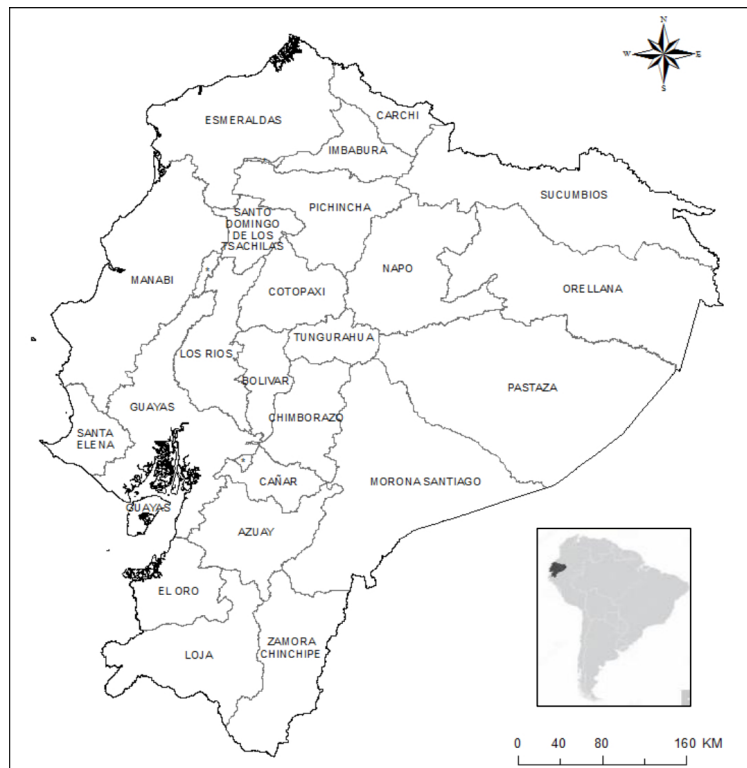
Los objetivos de esta investigación son: (i) analizar los patrones de distribución de las especies de ranas venenosas de dardo en diversas provincias y áreas protegidas de Ecuador, mediante el uso de métodos estadísticos multivariados, como el Análisis de Conglomerados Aglomerativo (Cluster Analysis) y el Análisis de Componentes Principales, para identificar áreas (provincias o reservas) con alta riqueza de especies y similitudes entre ellas; y (ii) evaluar la influencia de las distintas condiciones ecológicas, así como el papel de las áreas protegi-

das, en la presencia, distribución y conservación de las especies de ranas venenosas de dardo en Ecuador.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

Este estudio se centra en 23 provincias (Figura 5; Anexo 1) y 18 áreas protegidas nacionales (Figura 6; Anexo 2) a lo largo del Ecuador continental. El análisis abarca una amplia variedad de hábitats, incluyendo bosques tropicales de tierras bajas y bosques nublados montanos, los cuales constituyen entornos característicos para las ranas venenosas de dardo.



**Figura 5.** Provincias del Ecuador continental: Información detallada sobre ellas disponible en el Apéndice 1.

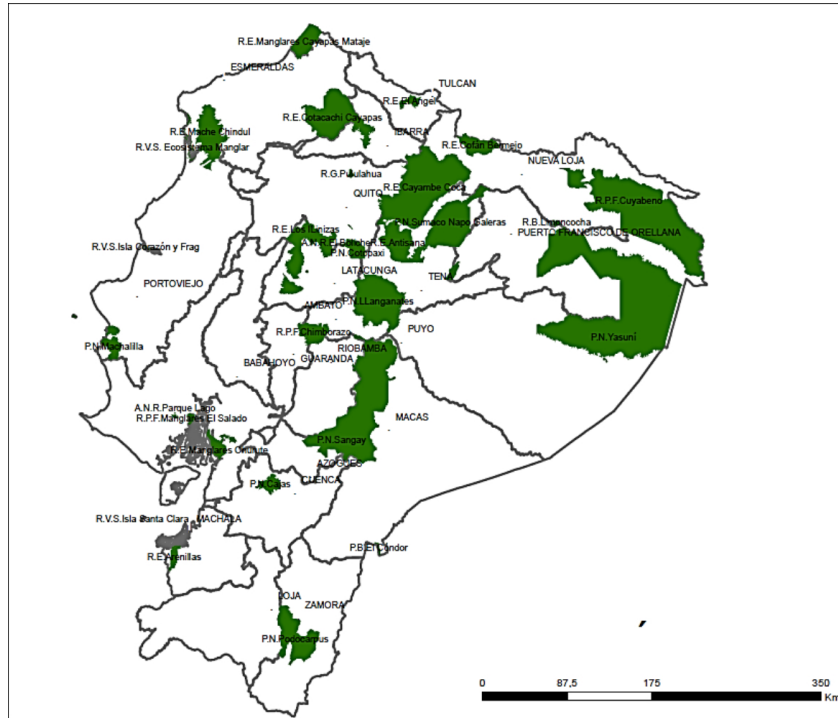
Las provincias incluidas en el estudio abarcan regiones de la Costa, la zona Andino-Coquera occidental, la zona Andino-Amazónica oriental y la Amazonía ecuatoriana. Las áreas protegidas analizadas comprenden exclusivamente parques nacio-

nales y reservas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2023), desempeñando un papel crucial en la conservación oficial de la biodiversidad de anfibios en el país.

## 2.2 Recolección y procesamiento de datos

Se utilizó una base de datos que registra la presencia-ausencia de 48 especies de ranas de la familia *Dendrobatidae* (Anexo 3), de las cuales 32 son endémicas de Ecuador, distribuidas en las provincias y áreas protegidas mencionadas previamente.

Es importante destacar que la base de datos se fundamentó en información obtenida de BioWeb, una plataforma desarrollada por el Museo de Zoología QCAZ (Ron and Ortiz, 2024). Este sitio web proporciona información detallada sobre los anfibios de Ecuador, organizada por familias y especies, además de sus datos geográficos.



**Figura 6.** Áreas Protegidas del Ecuador continental pertenecientes al SNAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas): Información detallada sobre ellas disponible en el Apéndice 2.

### 2.2.1 Análisis de Conglomerados

Para realizar un análisis comparativo de las diferentes provincias y áreas protegidas del SNAP en Ecuador en función de su similitud (basada en la presencia/ausencia de especies de *Dendrobatidae*), se aplicó un Análisis de Conglomerados Aglomerativo utilizando el software Community Analysis Package 4.0 (Pisces Conservation Ltd, 2014).

El Análisis de Conglomerados Aglomerativo, en este caso basado en el índice de disimilitud Bray-Curtis, es un método estadístico empleado para agrupar elementos o muestras (provincias o áreas protegidas) en función de su similitud en términos

de composición de especies dendrobátidas. Este índice permite cuantificar las diferencias entre pares de muestras, evaluando la presencia de las especies de interés.

El análisis comienza considerando cada muestra (provincia o área protegida) como una rama independiente y, posteriormente, se va fusionando iterativamente los conglomerados más similares hasta alcanzar un número determinado de grupos o una solución óptima de clasificación. Este método es ampliamente utilizado en estudios ecológicos para clasificar sitios, comunidades o hábitats en función de su composición de especies, permitiendo identificar patrones de biodiversidad y estructuras

comunitarias (Legendre and Legendre, 2012; Yáñez and Quishpe, 2013).

Las técnicas de agrupamiento aglomerativo también se emplean en ecología para generar dendrogramas, los cuales ilustran la formación de conglomerados entre los elementos de estudio, en este caso, provincias o áreas protegidas. Estos dendrogramas proporcionan una representación visual de la similitud entre elementos y sus diferencias con otros, permitiendo comprender mejor las relaciones y patrones dentro de los datos (Clarke et al., 2016; Kassambara, 2017).

En el presente estudio, esta técnica se utilizó para evaluar grupos de provincias o áreas protegidas que comparten similitudes en la riqueza de especies de ranas venenosas de dardo.

### 2.2.2 Análisis de Componentes Principales (PCA)

El Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) es un modelo estadístico útil que permite extraer los principales patrones en un conjunto de datos, considerando variables y características denominadas componentes principales, los cuales se combinan linealmente para explicar la variabilidad de todas las variables analizadas (Greenacre et al., 2022; Wold et al., 1987).

El PCA es también una técnica estadística de ordenamiento empleada para simplificar la complejidad de datos de alta dimensionalidad sin perder su estructura esencial. Esto se logra transformando las variables originales en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, denominadas componentes principales, que se ordenan de manera que los primeros componentes retengan la mayor parte de la variabilidad de los datos originales. Esta técnica permite identificar la estructura subyacente de los datos, reducir su dimensionalidad y resaltar relaciones importantes entre variables. En este sentido, el PCA es una herramienta eficaz para resumir la información esencial de un conjunto de datos (Jolliffe and Cadima, 2016) y se emplea ampliamente en diversas disciplinas, como biología, ecología y ciencias sociales, para facilitar el análisis de datos y extraer información relevante (Abdi and Williams, 2010; Jolliffe, 2002; Molina et al., 2018).

En este estudio, el PCA se ejecutó mediante el software Community Analysis Package 4.0 (Pisces Conservation Ltd, 2014) para explorar las relaciones entre las especies de ranas dendrobátidas, así como su asociación con las provincias o áreas protegidas de Ecuador. Los resultados se plasmaron en dos Planos de Ordenamiento, proporcionando una representación clara y detallada de la distribución de las especies y sus respectivas localizaciones.

## 3 Resultados y Discusión

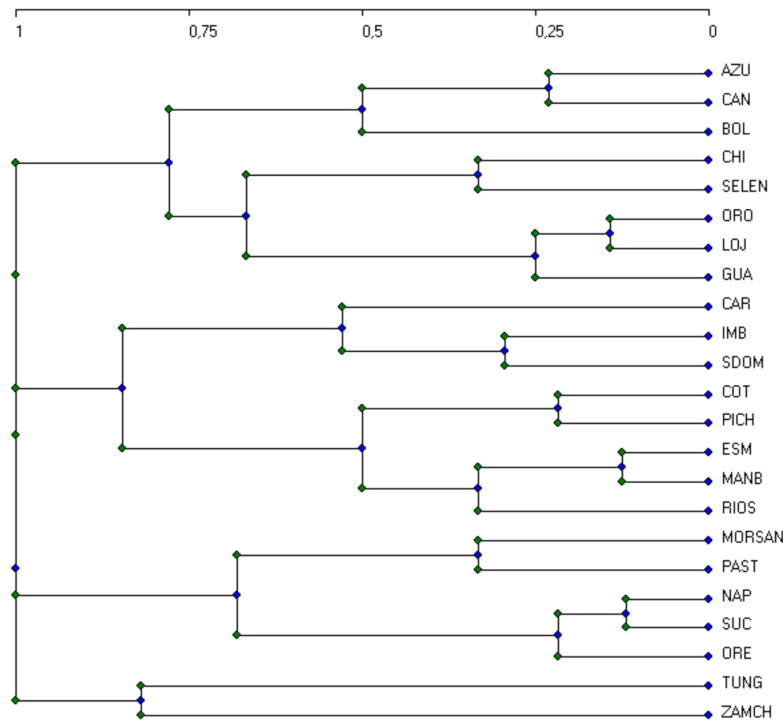
### 3.1 Similitud entre provincias según la riqueza de especies de Dendrobatidae

La riqueza total de especies por provincia se detalla en el Anexo 1. Cabe destacar que las provincias con mayor número de especies registradas ( $\geq 10$ ) son Morona Santiago y Napo (14 especies cada una), Pastaza y Cotopaxi (13 cada una), Sucumbíos (11), y Santo Domingo y Pichincha (10 cada una).

El dendrograma presentado en la Figura 7 muestra el agrupamiento jerárquico de las provincias ecuatorianas en función de la similitud en su composición de especies de Dendrobatidae. Cada rama individual representa una provincia, mientras que la longitud de las ramas indica el nivel de disimilitud entre los conglomerados formados.

El eje horizontal del dendrograma representa una escala de disimilitud basada en el índice de Bray-Curtis, que varía entre 0 (similitud completa) y 1 (máxima disimilitud). Las provincias que forman conglomerados con ramas más cortas presentan composiciones de especies más similares, lo que sugiere la existencia de características ecológicas compartidas o tipos de hábitats similares.

El Plano de Ordenamiento presentado (basado en un Análisis de Componentes Principales - Matriz de Covarianza; Figura 8) ilustra las relaciones entre las especies de Dendrobatidae (vectores verdes) y las provincias de Ecuador (cuadrados rojos). Las provincias ubicadas en posiciones cercanas comparan composiciones de especies más similares, lo que sugiere la existencia de características ecológicas comunes o tipos de hábitat compartidos.



**Figura 7.** Dendrograma de 23 provincias del Ecuador continental basado en la presencia-ausencia de 48 especies de ranas dendrobátidas. Método utilizado: Agrupamiento Jerárquico Aglomerativo, con Enlace Completo y disimilitud de Bray-Curtis entre provincias o grupos de provincias (eje superior).

El análisis de la distribución de las especies de *Dendrobatidae* en las provincias de Ecuador revela patrones notables de similitud, agrupando a las provincias en cuatro grupos distintos (Figuras 7 y 8). Estos grupos reflejan cómo los factores geográficos, climáticos y ecológicos influyen en la riqueza y composición de especies, proporcionando información clave para comprender las tendencias biogeográficas y las necesidades de conservación.

**Grupo 1:** Azuay, Cañar, Bolívar, Chimborazo, Santa Elena, El Oro, Loja y Guayas

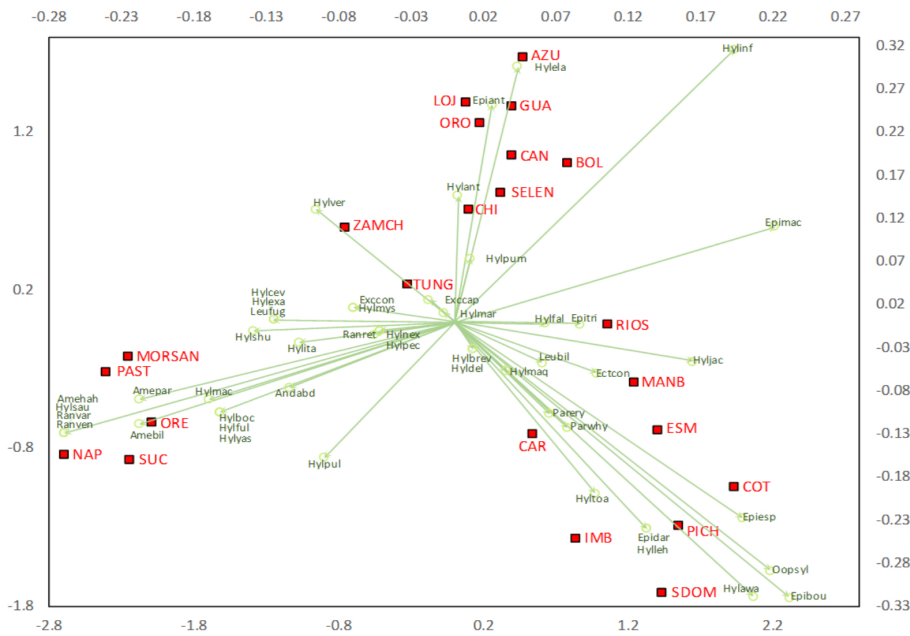
Este grupo se caracteriza principalmente por la presencia de *Hyloxalus infraguttatus* (Hylinf), que se encuentra en todas las provincias del grupo, así como de *Hyloxalus elachyhistus* (Hylela) y *Epipedobates machalilla* (Epimac), ambas registradas en cinco provincias. Adicionalmente, *Epipedobates anthonyi* (Epiant) está presente en cuatro provincias. La distribución de estas especies sugiere la existencia de condiciones ambientales compartidas, incluidas altitudes y ecosistemas similares (al menos en las

regiones donde históricamente se han registrado estas ranas).

Otras especies, como *Hyloxalus vertebralis* (Hylver) y *Hyloxalus jacobuspetersi* (Hyljac), tienen una distribución más restringida pero contribuyen a la biodiversidad del grupo. Estos patrones coinciden con los hallazgos de Santos and Cannatella (2011) y Gómez (2017), quienes resaltan el papel de la conectividad del hábitat en la riqueza de especies compartidas.

**Grupo 2:** Carchi, Imbabura, Santo Domingo, Cotacachi, Pichincha, Esmeraldas, Manabí y Los Ríos

Las provincias de este grupo presentan una alta similitud en su composición de especies, destacando *Epipedobates boulengeri* (Epibou), presente en todas las provincias del grupo. Otras especies compartidas incluyen *Hyloxalus awa* (Hylawa) y *Oophaga sylvatica* (Oopsyl), registradas en siete provincias, y *Epipedobates espinosai* (Epiesp), presente en seis provincias. Además, *Epipedobates machalilla* (Epimac) y



**Figura 8.** Plano de Ordenamiento (basado en un Análisis de Componentes Principales - Matriz de Covarianza) de las 23 provincias de Ecuador y su riqueza de especies de Dendrobatiidae (48 especies). Nota: F1 (eje horizontal) explica el 43,4% de la varianza, mientras que F2 (eje vertical) explica el 22,6%.

*Hyloxalus infraguttatus* (Hylinf) están presentes en cinco y cuatro provincias, respectivamente.

La proximidad geográfica de estas provincias y la presencia de hábitats comunes de bosques tropicales y subtropicales de tierras bajas facilitan una elevada superposición de especies de Dendrobatiidae, lo que concuerda con estudios previos sobre la distribución de anfibios en Ecuador (Jongsma et al., 2014; Gómez, 2017).

**Grupo 3:** Morona Santiago, Pastaza, Napo, Sucumbíos y Orellana

Este grupo abarca provincias amazónicas y se caracteriza por la presencia de *Ranitomeya ventrimaculata* (Ranven), *Ameerega hahneli* (Amegah), *Ranitomeya variabilis* (Ranvar) y *Hyloxalus sauteri* (Hylsau), todas registradas en las cinco provincias. Asimismo, *Ameerega bilineata* (Amebil) y *Ameerega parvula* (Amepar) están presentes en cuatro provincias.

La riqueza de especies observadas en esta región refleja la cobertura forestal continua y la diversidad de nichos ecológicos en la cuenca amazónica. Estu-

dios previos (Myers et al., 2000) destacan el papel de la Amazonía como un hotspot de biodiversidad, subrayando la necesidad urgente de mitigar amenazas como la deforestación y la fragmentación del hábitat.

**Grupo 4:** Tungurahua y Zamora Chinchipe

Este grupo se define por la presencia de *Hyloxalus shuar* (Hylshu) en ambas provincias, junto con otras especies como *Hyloxalus anthracinus* (Hylant), *Hyloxalus marmoriventris* (Hylmar), *Hyloxalus mystax* (Hylmys), *Hyloxalus exasperatus* (Hylexa) y *Leucostethus fugax* (Leufug), cada una registrada en una sola provincia.

La composición particular de especies en este grupo sugiere que las barreras altitudinales y los microhábitats especializados desempeñan un papel determinante en la biodiversidad de estas áreas. Estos patrones son consistentes con los hallazgos de Ortiz et al. (2013), que destacan los Andes como centros de diversidad endémica de anfibios.

En términos geográficos, Tungurahua y Zamora

Chinchipec están físicamente separadas y comparten pocos entornos similares, especialmente en la región oriental de Tungurahua y la región occidental de Zamora Chinchipec. Esta separación geográfica y ecológica contribuye a la baja cantidad de especies de *Dendrobatidae* compartidas entre ambas provincias, con *Hyloxalus shuar* como una de las pocas excepciones. En consecuencia, la similitud entre estas dos provincias es una de las más bajas registradas (Figura 7).

### Consideraciones clave

El agrupamiento de las provincias refleja los factores biogeográficos y ecológicos que determinan la distribución de las especies de *Dendrobatidae*. Mientras que las provincias amazónicas forman conglomerados cohesivos debido a sus condiciones ambientales homogéneas, las provincias andinas y costeras presentan agrupaciones más diferenciadas, influenciadas por gradientes altitudinales, variabilidad climática y especialización del hábitat. Los patrones observados en el dendrograma destacan la interacción entre barreras geográficas y conectividad ecológica en la estructuración de la biodiversidad, proporcionando información fundamental para la planificación de estrategias de conservación focalizada.

La Amazonía desempeña un papel fundamental en la preservación de la diversidad de *Dendrobatidae* en Ecuador, lo que subraya la urgente necesidad de proteger sus hábitats frente a amenazas como la deforestación y otras presiones antropogénicas. En contraste, provincias andinas como Tungurahua, Chimborazo y Bolívar albergan un menor número de especies de dendrobátidos debido a condiciones climáticas más rigurosas y hábitats fragmentados.

Las provincias costeras, que presentan ecosistemas relativamente continuos, favorecen la dispersión y persistencia de especies. Sin embargo, enfrentan crecientes amenazas debido a la expansión agrícola y la urbanización, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de conservación específicas.

Los patrones de similitud y disimilitud entre provincias evidencian el impacto de las barreras biogeográficas en la distribución de especies. Por ejemplo, a pesar de su relativa proximidad, Zamora

Chinchipec y Napo presentan ensamblajes de especies distintas, moldeados por diferencias en microhábitats y condiciones ambientales. Las herramientas como el índice de Bray-Curtis permiten resaltar estas diferencias, proporcionando información clave sobre los factores ecológicos y evolutivos que determinan la distribución de las especies de *Dendrobatidae*.

Estos hallazgos subrayan la importancia de los análisis espaciales en la planificación de la conservación. Las provincias andinas y costeras, debido a sus composiciones únicas de especies, requieren estrategias de conservación específicas. La similitud entre provincias amazónicas resalta la necesidad de mantener la conectividad del hábitat.

La diversidad de *Dendrobatidae* en Ecuador reafirma el papel del país como un hotspot global de biodiversidad de anfibios. Esto destaca la urgencia de conservar microhábitats clave para proteger poblaciones vulnerables frente a presiones inducidas por la actividad humana.

### 3.2 Similitud entre las áreas protegidas del SNAP según la riqueza de especies de *Dendrobatidae*

La riqueza total de especies en las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) se detalla en el Anexo 2. Destacan el Parque Nacional Yasuní y la Reserva Ecológica Ilinizas, con 7 especies cada una, así como el Parque Nacional Sangay y la Reserva Cuyabeno, con 5 especies cada una. Además, se identificaron 21 especies en áreas fuera del SNAP, principalmente en zonas de conservación privada. Estas cuatro áreas protegidas también albergan el mayor número de especies endémicas.

El dendrograma presentado en la Figura 9 muestra el agrupamiento jerárquico de las áreas protegidas ecuatorianas dentro del sistema SNAP, basado en la similitud de su composición de especies de *Dendrobatidae*. Además, una de las ramas del dendrograma representa las áreas fuera del sistema (F-SNAP).

Cada rama del dendrograma corresponde a un área protegida, y la longitud de las ramas refleja el grado de disimilitud entre los grupos formados. El

eje horizontal representa el índice de disimilitud de Bray-Curtis, con valores entre 0 (similitud completa) y 1 (máxima disimilitud).

Las áreas protegidas que se agrupan con ramas más cortas presentan composiciones de especies más similares, lo que sugiere la existencia de características ecológicas compartidas o la presencia de tipos de hábitat semejantes.

El Plano de Ordenamiento presentado (basado en un Análisis de Componentes Principales - Matriz de Covarianza; Figura 10) ilustra las relaciones entre las especies de Dendrobatidae (vectores verdes) y las áreas protegidas del SNAP (cuadrados rojos).

Las áreas protegidas que aparecen agrupadas presentan composiciones de especies más similares, lo que sugiere la existencia de características ecológicas compartidas, tipos de hábitat semejantes o proximidad geográfica.

El análisis de la distribución de las especies de Dendrobatidae en las áreas protegidas de Ecuador (AAPP) revela patrones de similitud distintivos, agrupando las áreas en ocho grupos según la composición compartida de especies (Figuras 9-10). Estas agrupaciones destacan el papel de la proximidad geográfica, la conectividad del hábitat y las características ecológicas en la configuración de la riqueza y diversidad de especies, proporcionando información clave sobre tendencias biogeográficas y prioridades de conservación.

#### **Grupo 1: Parque Nacional Machalilla y Refugio de Vida Silvestre en los Manglares Churute**

Este grupo de áreas protegidas costeras se caracteriza exclusivamente por la presencia de *Epipedobates machalilla* (Epimac), una especie endémica de esta región. La existencia de ecosistemas de tierras bajas y remanentes de bosques costeros favorece la composición de este grupo, aunque la pérdida de hábitat debido a la urbanización y la expansión agrícola representa amenazas significativas.

#### **Grupo 2: Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y Refugio de Vida Silvestre Pasochoa**

Este grupo se define por la presencia exclusiva de *Hyloxalus jacobuspetersi* (Hyljac) en ambas áreas. Las condiciones altitudinales y climáticas particulares de estas regiones pueden limitar la riqueza de especies, pero al mismo tiempo, proporcionan refugios críticos para taxones especializados.

#### **Grupo 3: Parque Nacional Yasuní, Reserva de Producción Faunística Cuyabeno y Reserva Biológica Limoncocha**

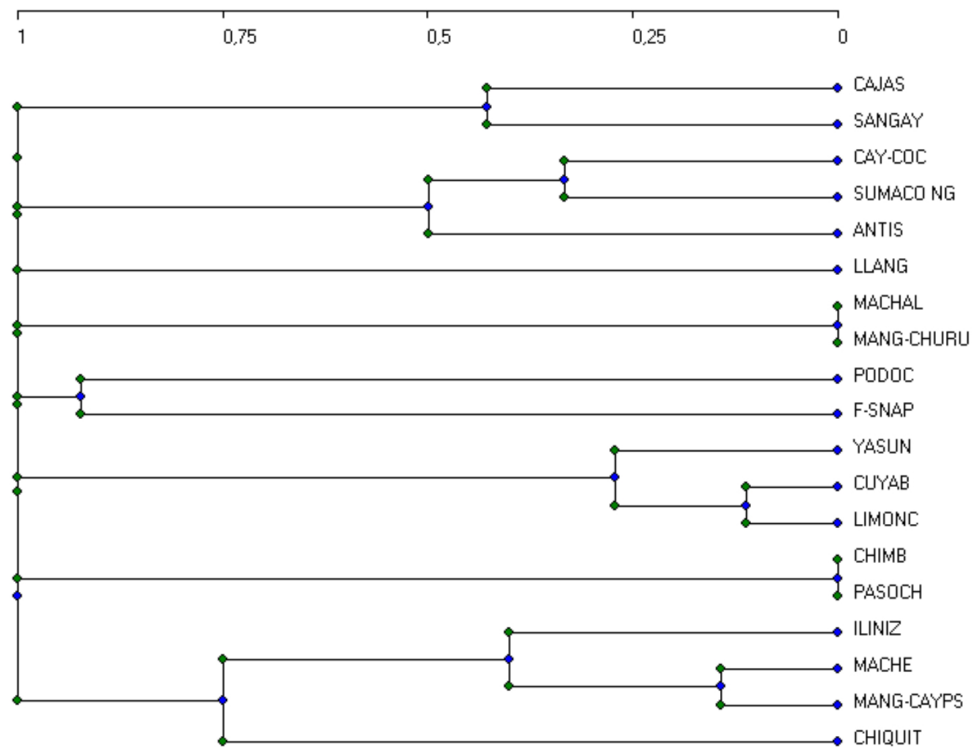
Este grupo está definido por la presencia de *Ameerega bilinguis* (Amebil), *Ameerega hahneli* (Amehah), *Hyloxalus sauteri* (Hylsau) y *Ranitomeya variabilis* (Ranvar), todas registradas en las tres áreas. Estas especies se benefician de la cobertura forestal continua de la cuenca amazónica, la cual facilita la dispersión y el flujo genético. Estos hallazgos coinciden con estudios previos (Myers et al., 2000), que destacan la Amazonía como un hotspot de biodiversidad.

#### **Grupo 4: Reserva Ecológica Mache-Chindul, Refugio de Vida Silvestre de Los Manglares Cayapas Mataje, Reserva Ecológica Ilinizas y Refugio de Vida Silvestre La Chiquita**

Este grupo está caracterizado por la presencia de *Epipedobates boulengeri* (Epibou) en las cuatro áreas, junto con *Hyloxalus infraguttatus* (Hylinf) y *Oophaga sylvatica* (Opsyl), ambas registradas en tres áreas (excepto en La Chiquita). Estas especies se benefician de hábitats tropicales de tierras bajas y una relativamente alta conectividad de hábitat en estas áreas protegidas.

#### **Grupo 5: Parque Nacional Sangay y Parque Nacional Cajas**

La presencia compartida de *Hyloxalus vertebralis* (Hylver) e *Hyloxalus anthracinus* (Hylant) define este grupo. Ambas especies están asociadas con hábitats de altitud media a alta, resaltando la influencia de los ecosistemas andinos en la distribución de Dendrobatidae. La existencia de gradientes altitudinales similares y condiciones climáticas homogéneas favorece la composición compartida de especies en este grupo.



**Figura 9.** Dendrograma de 18 Áreas Protegidas del Ecuador continental dentro del SNAP, basado en la presencia-ausencia de 48 especies de ranas *Dendrobatidae*, e incluyendo un área general que representa sitios fuera del SNAP (F-SNAP). El análisis se llevó a cabo mediante el Método Jerárquico Aglomerativo con Enlace Completo y utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis (eje superior).

### Grupo 6: Reserva Ecológica Cayambe-Coca, Parque Nacional Sumaco-Napo Galeras y Reserva Ecológica Antisana

Este grupo se distingue por la presencia de *Hyloxalus pulchellus* (Hylpul) e *Hyloxalus bocagei* (Hylboc) en las tres áreas. Estas áreas protegidas comparten bosques montañosos, caracterizados por pendientes pronunciadas, alta precipitación y una gran variedad de nichos ecológicos, lo que favorece la persistencia de las especies.

### Grupo 7: Parque Nacional Llanganates

Este parque se agrupa de manera independiente debido a la presencia exclusiva de *Hyloxalus maculosus* (Hylmac). Su agrupación solitaria refleja condiciones ecológicas y geográficas particulares, y la distribución restringida de esta especie enfatiza la necesidad de preservar hábitats andinos aislados.

### Grupo 8: Parque Nacional Podocarpus

El Parque Nacional Podocarpus también se agrupa de manera independiente, con la presencia exclusiva de *Hyloxalus cevallosi* (Hylcev), *Hyloxalus mystax* (Hylmys) y *Leucostethus fugax* (Leufug). Además, comparte *Hyloxalus brevipartus* (Hylbrev) con áreas fuera del SNAP (F-SNAP). Esta composición de especies refleja la complejidad ecológica de Podocarpus, caracterizada por bosques nublados de altitud media-alta y una flora y fauna con alto grado de endemismo.

El Parque Nacional Podocarpus se incorpora en las fases finales del cladograma, asociándose con áreas fuera del SNAP (F-SNAP).

Más allá del sistema SNAP (F-SNAP), se han registrado 21 especies de *Dendrobatidae* (Figura 10), exclusivamente en áreas de conservación privadas o en entornos naturales fuera de los esquemas de

protección nacional formal. Estas incluyen reservas privadas (por ejemplo, Bosque Protector Mindo Nambillo, Reserva Maquipucuna, Reserva Tesoro Escondido, Estación Biológica Bilsa y el Centro de Investigación Río Palenque) y áreas de conservación municipales o provinciales.

La presencia de estas especies en entornos no protegidos resalta la importancia de estrategias de conservación más amplias, que vayan más allá del SNAP.

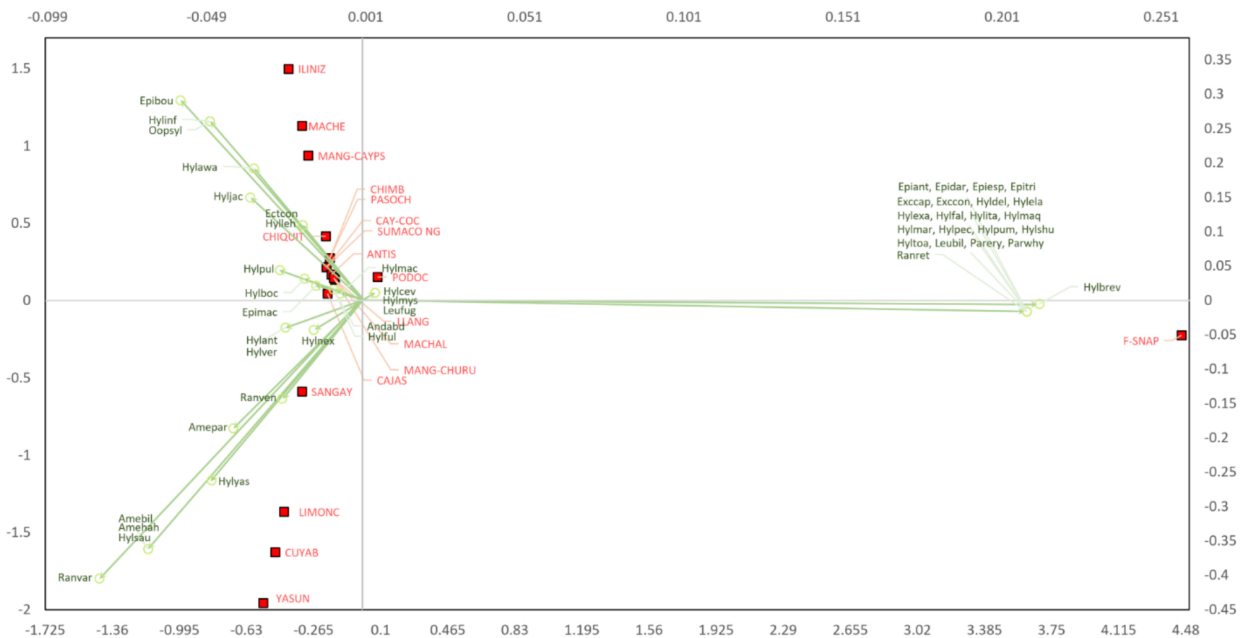
### Consideraciones clave

El agrupamiento de las áreas protegidas de Ecuador en función de la composición de Dendrobatidae evidencia cómo los factores ecológicos, geográficos y biogeográficos influyen en los patrones de biodiversidad.

Las áreas amazónicas presentan alta similitud, debido a su cobertura forestal continua.

Las regiones andinas y costeras presentan agrupaciones más diferenciadas, determinadas por gradientes altitudinales, especialización de hábitat y variabilidad climática. El alto grado de disimilitud entre ciertas áreas destaca la necesidad de un enfoque en red para la conservación. Los métodos, como la teoría de redes, han demostrado ser efectivos para delimitar regiones biogeográficas, permitiendo estrategias de conservación más específicas y eficientes (Vilhena and Antonelli, 2015). Cada área protegida contribuye de manera única a la biodiversidad general, y proteger una diversidad de hábitats es crucial, ya que muchas especies con distribuciones restringidas dependen de condiciones ambientales específicas para su supervivencia (Guisan et al., 2013).

Estos hallazgos refuerzan la urgente necesidad de implementar acciones de conservación dirigidas para preservar la gran diversidad de anfibios de Ecuador y mitigar amenazas como la deforestación, fragmentación del hábitat y presiones antropogénicas.



**Figura 10.** Plano de Ordenamiento (basado en un Análisis de Componentes Principales- Matriz de Covarianza) de las 18 Áreas Protegidas del Ecuador continental (SNAP) y una categoría general que representa sitios fuera del SNAP (F-SNAP) en relación con su riqueza de especies de Dendrobatidae (48 especies). Nota: F1 (eje horizontal) explica el 31,5% de la varianza, mientras que F2 (eje vertical) explica el 20,2%.

### 3.3 Patrones de distribución e implicaciones para la conservación de las ranas dardo venenosas incluidas en categorías de especies amenazadas

Según la información sobre categorías de especies amenazadas proporcionada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (International Union for Conservation of Nature, 2009) (Anexo 3), las siguientes especies de ranas venenosas de dardo están clasificadas dentro de estas categorías:

#### 3.3.1 Especies en categoría vulnerable

Las siguientes especies están categorizadas como Vulnerables: *Epipedobates espinosai*, *Hyloxalus infraguttatus*, *H. nexipus*, *H. peculiaris*, *H. pulchellus*, *H. shuar*, *H. toachi* y *H. vertebralis*. Estas ranas enfrentan un riesgo de disminución poblacional debido a factores como la pérdida de hábitat, la degradación ambiental y el cambio climático.

#### 3.3.2 Especies en categoría en peligro

Las siguientes especies están categorizadas como En Peligro: *Ectopoglossus confusus*, *Epipedobates tricolor*, *Excidobates captivus*, *E. condor*, *Hyloxalus breviquartus*, *H. elachyhistus*, *H. fuliginosus*, *H. lehmanni*, *H. maculosus*, *H. marmoreoventris*, *H. mystax*, *Parurobates erythromos* y *P. whymperi*. Estas especies enfrentan graves riesgos de extinción en estado silvestre si no se implementan acciones de conservación inmediatas. La destrucción del hábitat y las actividades humanas son los principales factores que contribuyen al declive de sus poblaciones.

#### 3.3.3 Especies en la categoría en peligro crítico

Estas especies presentan un riesgo extremadamente alto de extinción, debido a su distribución restringida, poblaciones fragmentadas y destrucción continua de hábitats. Es necesario enfocar los esfuerzos de conservación en su supervivencia. Las especies en peligro crítico incluyen: *Andinobates abditus*, *Hyloxalus anthracinus*, *H. bocagei*, *H. delatorrae*, *H. exasperatus*, *H. fallax*, *H. jacobuspetersi*, *H. maquipucuna*, *H. marmoreoventris* y *H. pumilus*.

### 3.3.4 Importancia de los datos provinciales y de áreas protegidas

Se necesita comprender la distribución de estas especies en las provincias y áreas protegidas para identificar los puntos críticos de biodiversidad (hotspots) y priorizar estrategias de conservación.

En Ecuador, los principales hotspots de ranas *Dendrobatidae* se localizan en tres regiones (Tapia et al., 2017; Centro Jambatu de Investigación y Conservación de Anfibios, 2024):

- Cuenca Amazónica (este de Ecuador): Especialmente en las provincias de Napo, Morona Santiago y Sucumbíos, conocidas por su alta biodiversidad general. Los densos bosques lluviosos y humedales de esta región proporcionan la humedad y micro hábitats esenciales para la supervivencia de estas ranas.
- Bioregión del Chocó (oeste de Ecuador): Especialmente en las provincias de Esmeraldas y Pichincha, que albergan muchas especies de *Dendrobatidae* debido a la presencia de bosques húmedos y gradientes altitudinales diversos.
- Pendientes orientales de los Andes: Incluyendo Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Azuay, que también contienen *Dendrobatidae* especialmente en bosques nublados de altitudes variables.

Cada provincia y área protegida posee características ecológicas únicas que influyen en la presencia y supervivencia de estas ranas y otras especies (Delgado et al., 2023; Crespo et al., 2022). Mediante la cartografía de su distribución, los conservacionistas pueden identificar regiones con mayor biodiversidad o aquellas con las poblaciones más amenazadas, garantizando la asignación eficiente de recursos.

Por ejemplo, provincias con alta concentración de especies en peligro o en peligro crítico pueden requerir leyes más estrictas de protección del hábitat, proyectos de restauración dirigidos, o el establecimiento de corredores ecológicos para mantener la conectividad entre poblaciones.

## 4 Conclusiones e implicaciones para la gestión

Este estudio destaca la importante biodiversidad de las ranas venenosas de Ecuador, con distintos patrones de distribución influidos por factores geográficos, climáticos y ecológicos. La agrupación de provincias y áreas protegidas en grupos basados en la composición de especies revela claros patrones biogeográficos, en donde las regiones amazónicas muestran una alta riqueza y similitud de especies. En cambio, las zonas andinas y costeras presentan grupos de especies más particulares, configurados por gradientes altitudinales y condiciones de hábitat variables. Estos resultados subrayan la necesidad de realizar esfuerzos de conservación específicos para cada región, adaptados a las características medioambientales únicas de cada zona o a la composición de las especies.

La agrupación de provincias también ilustra cómo se necesita la integridad de los ecosistemas para mantener la biodiversidad de los anfibios. En particular, las provincias amazónicas que comparten una cobertura forestal continua albergan una mayor diversidad de especies. En cambio, las provincias andinas que se enfrentan a condiciones ambientales más difíciles presentan menos especies, lo que muestra la vulnerabilidad de estos ecosistemas de mayor altitud. Los resultados sugieren que la protección de los hábitats de bosque continuo en las regiones de tierras bajas es fundamental para conservar la diversidad de anfibios de Ecuador.

Además, resulta evidente el papel del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) de Ecuador en la protección de la biodiversidad. Las áreas protegidas como Yasuní, Cuyabeno y Sangay albergan una gran variedad de especies, lo que demuestra la importancia de estas áreas en el mantenimiento de la riqueza de especies. Sin embargo, la diferencia observada entre algunas áreas del SNAP indica que algunas regiones pueden requerir estrategias de gestión más específicas para enfrentar diferentes desafíos ecológicos. La identificación de zonas con menor riqueza de especies muestra la necesidad de tomar acciones de conservación centradas en la restauración del hábitat y en evitar una mayor fragmentación.

Aunque las zonas SNAP desempeñan un pa-

pel clave en la conservación de la biodiversidad, el estudio también revela la importancia de ampliar los esfuerzos nacionales de conservación más allá de estos espacios protegidos formales. Las reservas más pequeñas y las áreas gestionadas de forma privada, como el Bosque Protector Mindo Nambillo y la Reserva Maquipucuna, también albergan importantes especies de Dendrobatidae. Estas áreas, aunque fuera del SNAP, son esenciales para mantener la conectividad y preservar especies con distribuciones limitadas, generalmente categorizadas como especies amenazadas. Por lo tanto, se necesita un enfoque de conservación más integrado, que incluya esfuerzos privados y comunitarios para la sostenibilidad a largo plazo de las poblaciones de anfibios de Ecuador.

Las conclusiones del estudio permiten comprender mejor los patrones de distribución de las especies de Dendrobatidae de Ecuador y los factores ecológicos que los determinan. La planificación de la conservación debería priorizar la preservación de hábitats continuos, la conectividad entre áreas protegidas, la presencia de especies amenazadas de ranas dardo y la protección de ecosistemas especializados, especialmente en las regiones andinas y costeras. De igual forma, se necesita un enfoque de conservación en red que combine los esfuerzos del SNAP y de iniciativas de conservación más pequeñas para asegurar el futuro de la excepcional biodiversidad de anfibios de Ecuador. Las estrategias eficaces de gestión deben centrarse tanto en la protección de los hábitats existentes como en la restauración de las zonas fragmentadas para evitar una mayor pérdida de biodiversidad.

## Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay por el apoyo brindado a través del proyecto de investigación BIO23-13. Su compromiso con el avance del conocimiento científico y el fomento de iniciativas de investigación ha sido fundamental para el éxito de este estudio.

## Contribución de los autores

P.Y.M.: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de financiación, Investi-

gación, Metodología, Administración de proyecto, Recursos informáticos, Supervisión, Validación, Visualización, Escritura– borrador original, Escritura – revisión y edición. J.G.G.: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Escritura – borrador original, Escritura – revisión y edición. A.H.E., M.B.M. y D.Q.S. realizaron la Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación y Escritura – borrador original.

## Referencias

- Abdi, H. and Williams, L. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4):433–459. Online:https://n9.cl/j3ur5.
- Amphibiaweb (2022). A specimen of *Epipedobates machalilla* (*Dendrobatidae*). Amphibiaweb. Online:https://bit.ly/3QwfETF.
- Centro Jambatu de Investigación y Conservación de Anfibios (2024). Tres nuevas especies de ranas se suman a la riqueza de anfibios que hay en Ecuador. Anfibios Ecuador. Online:https://anfibiosecuador.ec/.
- Clarke, K., Somerfield, P., and Gorley, R. (2016). Clustering in non-parametric multivariate analyses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 483:147–155. Online:https://n9.cl/7kqch.
- Crespo, S., Solórzano, C., and Guerrero, J. (2022). Tráfico nacional de fauna silvestre y especies amenazadas: Un estudio descriptivo en Manabí (Ecuador). *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1):33–44. Online:https://n9.cl/p3gmx.
- Daly, J., McNeal, E., Overman, L., and Ellison, D. (1985). A new class of cardiotoxic agents: structure-activity correlations for natural and synthetic analogs of the alkaloid pumiliotoxin b (8-hydroxy-8-methyl-6-alkylidene-1-azabicyclo [4.3. 0] nonanes). *Journal of medicinal chemistry*, 28(4):482–486. Online:https://n9.cl/0i510.
- Daly, J., Spande, T., and Garraffo, H. (2005). Alkaloids from amphibian skin: a tabulation of over eight-hundred compounds. *Journal of natural products*, 68(10):1556–1575. Online:https://n9.cl/2nbub.
- Delgado, E., León, M., Cantos, C., and Guzmán, M. (2023). Efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad en un sector del cantón Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. *La Granja*, 38(2):104–121. Online:https://n9.cl/51xta.
- Gallice, G. (2009). A specimen of *ameerega bilinguis* (*Dendrobatidae*) in Coca, Orellana. Wikimedia Commons. Online:https://shorturl.at/Xdg9v.
- Gómez, M. and Ortega-Andrade, H. (2017). Biogeography of the *Dendrobatidae* family in Ecuador: Ecological Niche Models, diversity, endemism and threats. Master's thesis, Autonomous University of Barcelona.
- Greenacre, M., Groenen, P., Hastie, T., d'Enza, A., Markos, A., and Tuzhilina, E. (2022). Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1):100. Online:https://n9.cl/g8x5m.
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P., Tulloch, A., Regan, T., Brotons, L., McDonald-Madden, E., and Mantyka-Pringle, C. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology letters*, 16(12):1424–1435. Online:https://n9.cl/i8ae8.
- International Union for Conservation of Nature (2009). The IUCN red list of threatened species. IUCN. Online:https://n9.cl/bk3tb.
- Jolliffe, I. (2002). *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics, 2nd ed edition.
- Jolliffe, I. and Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065):20150202. Online:https://n9.cl/6j3ha.
- Jongsma, G., Hedley, R., Durães, R., and Karubian, J. (2014). Amphibian diversity and species composition in relation to habitat type and alteration in the mache-chindul reserve, northwest Ecuador. *Herpetologica*, 70(1):34–46. Online:https://n9.cl/ltaoh.
- Kassambara, A. (2017). Agglomerative hierarchical clustering. Data Novia. Online:https://shorturl.at/gP2g2.
- Klimsa, E. (2020). A specimen of *Hyloxalus infraguttatus* (*Dendrobatidae*). iNaturalis. Online:https://shorturl.at/cLTOj.

- Legendre, P. and Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology*. Springer Series in Statistics, 3rd ed. edition.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2023). A specimen of *Hyloxalus infraguttatus* (Dendrobatidae). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Online: <https://n9.cl/1xvp9>.
- Molina, M., Terneus, E., Yáñez, P., and Cueva, M. (2018). Resilience of phytoplankton community in the Andean Papallacta lagoon and its tributaries, eight years after an oil spill. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2):67–83. Online: <https://n9.cl/j79nwd>.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Da Fonseca, G., and Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772):853–858. Online: <https://bit.ly/3CNBAGz>.
- Ortiz, C., Páez, V., and Zapata, F. (2013). Temperature and precipitation as predictors of species richness in northern Andean amphibians from Colombia. *Caldasia*, 35(1):65–80. Online: <https://n9.cl/lldo52>.
- Patocka, J., Wulff, K., and Palomeque, M. (1999). Dart poison frogs and their toxins. *ASA newsletter*, 74:16–18. Online: <https://n9.cl/gxsq1>.
- Pisces Conservation Ltd (2014). Community Analysis Package 4.0. Software.informer. Online: <https://n9.cl/s7xvl>.
- Ron, S. and Merino-Viteri, A. and Ortiz, D. (2024). Anfibios del Ecuador. version 2024.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Online: <https://n9.cl/iwuij4>.
- Santos, J. and Cannatella, D. (2011). Phenotypic integration emerges from aposematism and scale in poison frogs. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(15):6175–6180. Online: <https://n9.cl/0h77xr>.
- Santos, J., Coloma, L., and Cannatella, D. (2003). Multiple, recurring origins of aposematism and diet specialization in poison frogs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(22):12792–12797. Online: <https://n9.cl/f7isa>.
- Spande, T., Garraffo, H., Edwards, M., Yeh, H., Pannell, L., and Daly, J. (1992). Epibatidine: a novel (chloropyridyl) azabicycloheptane with potent analgesic activity from an Ecuadorian poison frog. *Journal of the American Chemical Society*, 114(9):3475–3478. Online: <https://n9.cl/dgpmk1>.
- Tapia, E., Coloma, L., Pazmiño-Otamendi, G., and Peñafiel, N. (2017). Rediscovery of the nearly extinct longnose harlequin frog *Atelopus longirostris* (Bufonidae) in Junín, Imbabura, Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1):157–167. Online: <https://bit.ly/41ldIIY>.
- Tubifex (2010). A specimen of *Epipedobates anthonyii* (Dendrobatidae). Wikimedia Commons. Online: <https://n9.cl/63j57>.
- Valencia, J., Betancourt, R., Yáñez, P., Asanza, O., Benalcázar, Y., Hidalgo, J., and Campaña, J. (2009a). *Anfibios y Reptiles en ambientes cercanos a Pedro Vicente Maldonado y Balao*. Fundación Herpetológica Gustavo Orcés.
- Valencia, J., Betancourt, R., Yáñez, P., Olmedo, J., and Flores, R. (2009b). *Anfibios y Reptiles en ambientes cercanos a Nueva Loja y Lumbaquí*. Ecofondo y Fundación Herpetológica Gustavo Orcés.
- Vilhena, D. and Antonelli, A. (2015). A network approach for identifying and delimiting biogeographical regions. *Nature communications*, 6(1):6848. Online: <https://n9.cl/yvgyh>.
- Wold, S., Esbensen, K., and Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chimometrics and intelligent laboratory systems*. In *Conference on Emerging Technologies Factory Automation Efta*, number 2, pages 704–706.
- Yáñez, P. and B. J. and Quishpe, C. (2013). Multivariate characterization of the entities that make up the patrimony of natural areas of the Ecuadorian state: Phase i. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 18(2):5–32. Online: <https://n9.cl/xegcev>.

## Anexos

### Anexo 1

**Tabla 1.** Provincias del Ecuador continental abordadas en el estudio

No.	Provincia	Región	Acrónimo de la provincia utilizado en el análisis multivariante	Riqueza de especies de dendrobátidos por provincia
1	Azuay	Andina	AZU	8
2	Bolívar	Andina	BOL	7
3	Cañar	Andina	CAÑ	5
4	Carchi	Andina	CAR	7
5	Chimborazo	Andina	CHI	1
6	Cotopaxi	Andina	COT	13
7	El Oro	Costa y oeste andino	ORO	3
8	Esmeraldas	Costa y oeste andino	ESM	9
9	Guayas	Costa y oeste andino	GUA	4
10	Imbabura	Andina	IMB	7
11	Loja	Andina	LOJ	4
12	Los Ríos	Andes occidentales	RIOS	6
13	Manabí	Costa y oeste andino	MANB	7
14	Morona Santiago	Amazonía y Andes orientales	MORSAN	14
15	Napo	Andes orientales	NAP	14
16	Orellana	Amazonía y Amazonía y	ORE	9
17	Pastaza	Andes orientales	PAST	13
18	Pichincha	Andina	PICH	10
19	Santa Elena	Costa	SELEN	2
20	Santo Domingo de los Tsáchilas	Andes occidentales	SDOM	10
21	Sucumbíos	Amazonía y Andes orientales	SUC	11
22	Tungurahua	Andina	TUNG	3
23	Zamora Chinchipe	Amazonía y Andes orientales	ZAMCH	8

## Anexo 2

**Tabla 2.** Áreas Nacionales Protegidas del SNAP abordadas en el estudio

No.	Categoría de zona protegida	Zona protegida	Región	Acrónimo de las provincias utilizado en el análisis multivariante	Riqueza de especies de dendrobátidos por zona
1	Parque Nacional	PN Cajas	Andina	CAJAS	2
2	Parque Nacional	PN Cayambe Coca	Amazonía y Andes orientales	CAY-COC	3
3	Parque Nacional	PN Llanganates	Amazonía y Andes orientales	LLANG	1
4	Parque Nacional	PN Machalilla	Costa	MACHAL	1
5	Parque Nacional	PN Podocarpus	Amazonía y Andes orientales	PODOC	4
6	Parque Nacional	PN Sangay	Amazonía y Andes orientales	SANGAY	5
7	Parque Nacional	PN Sumaco Napo Galeras	Amazonía y Andes orientales	SUMACO NG	3
8	Parque Nacional	PN Yasuní	Amazonía	YASUN	7
9	Reserva de Producción Faunística	RPF Chimborazo	Andina	CHIMB	1
10	Reserva de Producción Faunística	RPF Cuyabeno	Amazonía	CUYAB	5
11	Reserva Biológica	RB Limoncocha	Amazonía	LIMONC	4
12	Reserva Ecológica	RE Antisana	Andes orientales	ANTIS	1
13	Reserva Ecológica	RE Ilinizas	Andina	ILINIZ	7
14	Reserva Ecológica	RE Mache Chindul	Costa	MACHE	4
15	Reserva Ecológica	RE Manglares Cayapas Mataje	Costa	MANG-CAYPS	3
16	Reserva Ecológica	RE Manglares Churute	Costa	MANG-CHURU	1
17	Refugio de Vida Silvestre	RVS Pasochoa	Andina	PASOCH	1
18	Refugio de Vida Silvestre	RVS La Chiquita	Costa	CHIQUIT	1
—	Sólo fuera de las zonas protegidas por el SNAP *	—	Varios	F-SNAP	21

\* Aunque algunas especies de ranas de la familia Dendrobatidae se registraron fuera de las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), cabe mencionar que la mayoría de ellas se registraron en áreas de conservación privadas, provinciales o municipales más pequeñas, como bosques protectores o áreas similares

### Anexo 3

**Tabla 3.** Especies de ranas *Dendrobatidae* incluidas en el estudio

No.	Especies	Acrónimo de especie utilizado en el análisis multivariante	Nombre común	Origen en relación con Ecuador	Categoría de conservación (UICN, 2024)
1	<i>Ameerega bilinguis</i>	Amebil	Rana venenosa de Ecuador	Endémica	Preocupación Menor
2	<i>Ameerega hahneli</i>	Amehah	Rana venenosa de Yurimaguas	Nativa	Preocupación Menor
3	<i>Ameerega parvula</i>	Amepar	Rana cohete de Valle Santiago	Nativa	Preocupación Menor
4	<i>Andinobates abditus</i>	Andabd	Rana venenosa de Collins	Endémica	En peligro crítico
5	<i>Ectopoglossus confusus</i>	Ectcon	Rana cohete confusa	Endémica	En peligro
6	<i>Epipedobates anthonyi</i>	Epiant	Epibatidina rana venenosa	Nativa	Casi amenazada
7	<i>Epipedobates boulengeri</i>	Epibou	Rana venenosa jaspeada	Nativa	Preocupación Menor
8	<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	Epidar	La rana venenosa de Darwin y Wallace	n.d.	n.d.
9	<i>Epipedobates espinosai</i>	Epiesp	Rana venenosa de Espinosa	Endémica	Vulnerable
10	<i>Epipedobates machalilla</i>	Epimac	Rana Machalilla	Endémica	Preocupación Menor
11	<i>Epipedobates tricolor</i>	Epitri	Rana venenosa tricolor	Endémica	En peligro
12	<i>Excidobates captivus</i>	Exccap	Rana venenosa de Río Santiago	Nativa	En peligro
13	<i>Excidobates condor</i>	Exccon	Rana venenosa de Cóndor	Endémica	En peligro
14	<i>Hyloxalus anthracinus</i>	Hylant	Rana cohete sudamericana	Endémica	En peligro crítico
15	<i>Hyloxalus awa</i>	Hylawa	Rana cohete Awa	Endémica	Casi amenazada
16	<i>Hyloxalus bocagei</i>	Hylboc	Rana cohete de Bocage	Endémica	En peligro crítico
17	<i>Hyloxalus breviquartus</i>	Hylbrev	Rana cohete Urrao	Nativa	En peligro
18	<i>Hyloxalus cevallosi</i>	Hylcev	Rana cohete de Palanda	Endémica	Casi amenazada
19	<i>Hyloxalus delatorreae</i>	Hyltel	Rana cohete Stella	Endémica	En peligro crítico
20	<i>Hyloxalus elachyhistus</i>	Hylela	Rana cohete Loja	Nativa	En peligro
21	<i>Hyloxalus exasperatus</i>	Hylexa	Rana cohete Yapitya	Endémica	En peligro crítico
22	<i>Hyloxalus fallax</i>	Hylfal	Rana cohete de Cotopaxi	Endémica	En peligro crítico
23	<i>Hyloxalus fuliginosus</i>	Hylful	Rana cohete de Quiijos	Endémica	En peligro

24	<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	Hylinf	Rana cohete de Chimbo	Endémica	Vulnerable
25	<i>Hyloxalus italoii</i>	Hylita	Rana cohete de Pastaza	Endémica	Casi amenazada
26	<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	Hyljac	Rana cohete de Quito	Endémica	En peligro crítico
27	<i>Hyloxalus lehmanni</i>	Hylleh	Rana cohete de Lehmann	Nativa	En peligro
28	<i>Hyloxalus maculosus</i>	Hylmac	Rana cohete moteada	Endémica	En peligro
29	<i>Hyloxalus maquipucuna</i>	Hylmaq	Rana cohete maquipucuna	Endémica	En peligro crítico
30	<i>Hyloxalus marmoreoventris</i>	Hylmar	Rana cohete de Río Negro	Endémica	En peligro crítico
31	<i>Hyloxalus mystax</i>	Hylmys	Rana cohete del bosque nuboso	Endémica	En peligro
32	<i>Hyloxalus nexipus</i>	Hylnex	Rana cohete de Los Tayos	Native	Vulnerable
33	<i>Hyloxalus peculiaris</i>	Hylpec	Rana cohete graciosa	Endémica	Vulnerable
34	<i>Hyloxalus pulchellus</i>	Hylpul	Rana cohete de Espada	Native	Vulnerable
35	<i>Hyloxalus pumilus</i>	Hylpum	Rana cohete de San Vicente	Endémica	En peligro crítico
36	<i>Hyloxalus sauli</i>	Hylsau	Rana cohete de Santa Cecilia	Nativa	Casi amenazada
37	<i>Hyloxalus shuar</i>	Hylshu	Rana cohete shuar	Endémica	Vulnerable
38	<i>Hyloxalus toachi</i>	Hyltoa	Rana cohete Toachi	Endémico	Vulnerable
39	<i>Hyloxalus vertebralis</i>	Hylver	Rana cohete de Cuenca	Endémica	Vulnerable
40	<i>Hyloxalus yasuni</i>	Hylyas	Rana cohete yasuní	Endémica	Casi amenazada
41	<i>Leucostethus bilsa</i>	Leubil	Rana de pecho blanco Bilsa	Endémica	No evaluado
42	<i>Leucostethus fugax</i>	Leufug	Rana cohete Pastaza	Endémica	Casi amenazada
43	<i>Oophaga sylvatica</i>	Oopsyl	Rana venenosa del diablo pequeño	Nativa	Casi amenazada
44	<i>Paruwrobates erythromos</i>	Parery	Rana venenosa de Palenque	Endémica	En peligro
45	<i>Paruwrobates whymperi</i>	Parwhy	Rana cohete Tanti	Endémica	En peligro
46	<i>Ranitomeya reticulata</i>	Ranret	Rana venenosa de dorso rojo	Nativa	Casi amenazada
47	<i>Ranitomeya variabilis</i>	Ranvar	Rana venenosa de rayas amarillas	Nativa	Preocupación Menor
48	<i>Ranitomeya ventrimaculata</i>	Ranven	Rana venenosa amazónica	Nativa	Preocupación Menor



# PESTICIDAS Y SU IMPACTO SOBRE LA ENTOMOFAUNA EN FINCAS DE AGRICULTORES ANDINOS DE ECUADOR

## PESTICIDES AND THEIR IMPACT ON ENTOMOFAUNA IN ANDEAN FARMERS' FIELDS IN ECUADOR

Diego Mina\*<sup>1</sup>, Jhenny Cayambe<sup>2</sup>, Tatiana Cárdenas<sup>3</sup>, Israel Navarrete<sup>4</sup> y Olivier Dangles<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 170143, Quito-Ecuador.

<sup>2</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra. 100150, Ibarra-Ecuador.

<sup>3</sup>UMR CEFE. 1919 route de Mende. 34090 Montpellier-France.

<sup>4</sup>Centro Internacional de la Papa. 170143, Quito-Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [diego.mina@ird.fr](mailto:diego.mina@ird.fr)

Manuscrito recibido el 12 de mayo de 2022. Aceptado, tras revisión el 14 de septiembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

El desconocimiento del uso racional de insecticidas conlleva a que agricultores de países en desarrollo como Ecuador sobrepasen el límite de aplicaciones permitidas. Además, poco se conoce del efecto que tienen los insecticidas sobre la entomofauna de *Lupinus mutabilis* (chocho). Este estudio busca analizar el efecto de los insecticidas sobre plagas e insectos benéficos con especial énfasis en polinizadores, sin descuidar el efecto sobre el rendimiento del cultivo. Se tomó como referencia la entomofauna asociada al cultivo de chocho. Se evaluaron 79 campos agrícolas en Cotopaxi-Ecuador, con tratamientos con químico, sin químico y sin ningún control. Una vez socializado el experimento, los agricultores eligieron el manejo para sus campos con las recomendaciones de los investigadores. Para el monitoreo de insectos se usaron trampas pegantes y de plato de color amarillo. Se obtuvieron variables de abundancia y diversidad de insectos. El uso y aplicación de plaguicidas se registró usando encuestas desarrolladas con Survey 123. Los resultados muestran que la aplicación de insecticidas no siempre fue efectiva en el control de las plagas analizadas. Además, los tratamientos evaluados tuvieron efectos distintos según el tipo de insecto polinizador analizado. Por otro lado, se observó que ciertas plagas, en especial barrenadores podrían inducir un efecto de respuesta positivo (70% más de flores) que beneficiaría el rendimiento final. Estos resultados podrían sugerir que los controles de plagas para este cultivo deberían ser más dirigidos y realizarse antes de la floración, esto evitaría causar daños a polinizadores, barrenadores y probablemente enemigos naturales de plagas.

**Palabras clave:** chocho, insecticidas, polinizadores, rendimiento, entomofauna.

---

**Abstract**

Ignorance of the rational use of insecticides leads farmers in developing countries such as Ecuador to exceed the limit of permitted applications. In addition, little is known about the effect of insecticides on entomofauna of *Lupinus mutabilis* (lupine). This study aims to analyze the effect of insecticides on pests and beneficial insects, with special emphasis on pollinators, without neglecting the effect on crop yield. The entomofauna associated with Andean Lupin was used as a reference. Seventy-nine agricultural fields were evaluated in Cotopaxi-Ecuador, with the treatments with chemicals, without chemicals, and without any control. Once the experiment was presented to the participating group, the farmers chose the management treatment for their fields with recommendations from the researchers. For insect monitoring, yellow sticky and plate traps were used to obtain variables of insect abundance and diversity. The use and application of pesticides was recorded using surveys developed with Survey 123. The results showed that the application of insecticides was not always effective in controlling the pests studied. In addition, the treatments evaluated had different effects according to the type of insect pollinator analyzed. On the other hand, the study also showed that certain pests, especially borers, could induce a positive response (70% more flowers) that can actually benefit the final yield. These results suggest that pest controls for this crop should be more targeted and carried out before flowering to avoid causing damage to pollinators and borers, as well as natural enemies of pests.

**Keywords:** lupin, insecticides, pollinators, yield, entomofauna.

---

Forma sugerida de citar: Mina, D., Cayambe, J., Cárdenas, T., Navarrete, I. y Dangles, O. (2025). Pesticidas y su impacto sobre la entomofauna en fincas de agricultores andinos de Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):53-71. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.03>.

---

IDs Orcid:

Diego Mina: <https://orcid.org/0000-0001-8821-6575>

Jhenny Cayambe: <https://orcid.org/0000-0001-7413-2151>

Tatiana Cárdenas: <https://orcid.org/0000-0001-9956-3169>

Israel Navarrete: <https://orcid.org/0000-0002-9779-4809>

Olivier Dangles: <https://orcid.org/0000-0002-1987-8433>

## 1 Introducción

El uso de plaguicidas es una práctica mundial, especialmente en países de bajos ingresos, debido a la falta de capacitación, bajos niveles de educación de los agricultores, falta de alternativas a los pesticidas, influencia de vendedores, etc. (Berni et al., 2021; Jallow et al., 2017; Khan et al., 2015). Por otro lado según la FAO (2017), el consumo mundial de plaguicidas alcanzó más de 4,11 millones de toneladas para ese año. La FAO indica que, en los últimos 20 años, países como Italia, Francia y Japón han reducido el uso de pesticidas en un 36% aproximadamente, contrario a lo que ocurre en países como Malawí, Bangladesh y Etiopía donde su demanda ha incrementado en un 1325%. En América Latina se usan más de 5Kg pesticida/hectárea, mientras en países como Ecuador, la aplicación de pesticidas entre 1990 y 2017 se ha incrementado en más de 1500% (FAO, 2017). La mayoría de los estudios presentan al agricultor como responsable de este mal manejo (Damte and Tabor, 2015; Mengistie et al., 2017). La falta de una comprensión básica y una perspectiva integrada sobre las plagas podría causar el “mal uso” por parte de los agricultores (Wyckhuys et al., 2019), sin tomar en cuenta factores externos influyentes como: la acción del gobierno, las universidades, ONGs, empresa privada, etc (Pan et al., 2021). Sin embargo, la toma de decisiones sobre los plaguicidas y la gestión de la resistencia no es responsabilidad únicamente de los agricultores (Gould et al., 2018), sino de todos los actores involucrados en la cadena de comercialización y consumo. De hecho, los mismos agricultores reconocen que se les atribuye la disminución de insectos, la pérdida de biodiversidad en general y el uso excesivo de pesticidas. Sin embargo, ellos también consideran esto como un problema multicausal (Busse et al., 2021).

La aplicación de pesticidas tiene muchos impactos, pasando por la contaminación del suelo, la salud humana y el ambiente (Budzinski and Couderchet, 2018). De hecho, esta es una de las prácticas agrícolas que más afecta a la agrobiodiversidad (Mengistie et al., 2017). Los estudios confirman el impacto negativo de los insecticidas sobre la entomofauna, observándose disminuciones y/o pérdidas de la misma (Catarino et al., 2019; Goulson, 2019). Entre otras cosas los científicos responsabilizan al uso de insecticidas, con los efectos dañinos más extensos (Chemnitz, 2022). Se cree que el uso

intensivo de insecticidas acelera la adaptación de plagas, haciendo más sensibles a insectos benéficos (Potts et al., 2010; Chivian and Bernstein, 2015). Por ejemplo, la sinergia de fungicidas IBE + neonicotinoides ha ocasionado mayor mortalidad de la abeja solitaria *Osmia lignaria*, el abejorro *Bombus terrestris* y *Apis mellifera* (Botías and Sánchez-Bayo, 2018). Esto evidencia una crisis mundial de abundancia, diversidad y biomasa de insectos, especialmente polinizadores, ocasionado entre otras razones por actividades antrópicas con paisajes agrícolas industrializados (Forister et al., 2019).

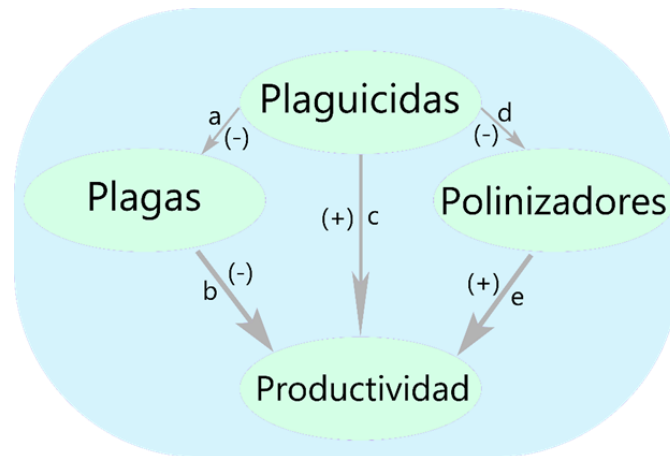
Se estima que un 35% de la producción mundial de alimentos depende de la polinización animal (Klein et al., 2007; Sawe et al., 2020). De hecho, se ha documentado que entre el 5% y el 8% de la producción mundial de cultivos se perdería sin la polinización entomófila (Aizen et al., 2009). En términos económicos, la producción agrícola resultante de la polinización animal se ha estimado entre 235 y 577 mil millones de dólares (Sawe et al., 2020). Se ha demostrado la relación entre el efecto nocivo de los plaguicidas sobre la entomofauna benéfica (específicamente polinizadores) y los impactos sobre el rendimiento final (Pacífico da Silva et al., 2015; Stanley et al., 2015; de Oliveira et al., 2019). Entender la composición de la entomofauna y sus interacciones podría contribuir a mejorar el conocimiento de los agricultores y cambiar sus prácticas agrícolas (Magrath et al., 2019).

Una de las ventajas más usadas ha sido la combinación de muchos elementos como el control biológico y la diversidad botánica inter e intraespecífica, compuestos volátiles sintéticos y la defensa inducida, el manejo integrado de plagas (MIP) (Stenberg, 2017). Sin embargo, el MIP no ha considerado insectos como los polinizadores, afectados también por prácticas agrícolas. Por lo tanto, se ha demostrado la necesidad de incorporar estrategias que consideren los polinizadores dentro del MIP, buscando reducir su exposición a los plaguicidas (Egan et al., 2020). Estos autores han propuesto una transición del MIP al MIPP (la segunda “P” para polinizadores).

Se buscó incorporar este enfoque, representándolo en las interrelaciones existentes entre las “4P”; plaguicidas, plagas, polinizadores y productividad (Figura 1). El uso de plaguicidas en la agricultura busca controlar las plagas (Figura 1a), pues se conoce de su efecto negativo sobre la productividad (Fi-

gura 1b). En consecuencia, el uso de plaguicidas es para muchos agricultores una necesidad para mejorar (sin disminuir) la productividad del cultivo (Figura 1c). Al igual que en las plagas, los plaguicidas generalmente tienen un efecto negativo sobre los polinizadores (Figura 1d). Dependiendo del cul-

tivo, estos pueden tener un efecto neutro o positivo sobre la productividad del cultivo (Figura 1e). Estas relaciones demuestran la necesidad de considerar los insectos-plagas como benéficos al momento de evaluar el efecto de los insecticidas sobre la productividad de los cultivos.



**Figura 1.** Relaciones entre el efecto del uso de plaguicidas sobre la entomofauna y la productividad. Figura modificada de Struelens et al. (2021).

Resulta interesante analizar la transición del MIP al MIPP en un sistema agrícola donde se vean representadas estas relaciones. En un estudio previo, Struelens et al. (2021) reportan que las aplicaciones de insecticidas en Ecuador afectan la entomofauna en sistemas de pequeños agricultores andinos de chocho *Lupinus mutabilis Sweet*. Estos autores encontraron un impacto significativo en la reducción de los polinizadores, por el número de aplicaciones de plaguicidas ( $p=0,021$ ; path coefficient=  $-0,892$ ), sin una reducción clara de las poblaciones de plagas. Sin embargo, estas conclusiones están respaldadas con un número limitado de campos (en total menos de 20) y se necesita profundizar en las relaciones entre insecticidas, plagas, polinizadores y cultivos. Aunque el chocho es una planta autógrama, la calidad de su producción puede depender en una medida significativa de los insectos polinizadores. Por lo tanto, este es un modelo de cultivo interesante para analizar el efecto combinado de los insecticidas y su impacto sobre la entomofauna. Cowling et al. (1998) reportan una tasa de polinización cruzada entre 4 y 11%; por otra parte, Caligari et al. (2000) en sus experimentos encontraron una

tasa de exogamia que alcanzaba el 58,8%. Struelens et al. (2021) reportaron un 10,5% de incremento del número de semillas de chocho por la visita de insectos polinizadores.

El chocho se encuentra en varios países andinos. En Ecuador, las zonas de mayor producción según el ministerio de agricultura son Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha e Imbabura (SINAGAP, 2014). Sus granos son ricos en proteínas (41-51%) y ácidos grasos esenciales (3-14%) (Nicklin et al., 2006). Su simbiosis con la bacteria *Bradyrhizobium* fija nitrógeno atmosférico (entre 30 y 70kg de N/ha), enriquece el suelo (Alandia, 2018).

Sin embargo, en Ecuador la intensificación agrícola de este cultivo ha estado acompañada de un aumento en los problemas fitosanitarios, principalmente de los ataques de herbívoros (Caicedo and Peralta, 2000). En 2015 se reportaron alrededor de 7825,59 ha sembradas con una tendencia al incremento para años posteriores (INEC, 2015). Aunque hay pocos reportes y estudios sobre estas plagas en la zona, se reportan principalmente barrenado-

res, como el barrenador del tallo (*Agromyzidae*), o la mosca del ápice (*Anthomyiidae*), omnipresente en casi toda la fenología del cultivo (Mina et al., 2017). Lo interesante es que el ataque de esta plaga podría sugerir un mayor crecimiento de órganos reproductivos en el chocho, conocido como efecto de sobrecompensación (Struelens et al., 2021). García and Eubanks (2019) muestran 86 estudios que documentan ejemplos de sobrecompensación de insectos por parte de 67 especies de plantas que representan a 26 familias.

La aplicación de insecticidas es la primera y muchas veces única opción de los agricultores ecuatorianos para controlar las plagas. De hecho, una práctica común es mezclar varios pesticidas a manera de “cócteles”. Sherwood et al. (2005) por ejemplo, reportan que agricultores mezclaban hasta siete productos en un mismo “brebaje”, a veces productos con el mismo ingrediente activo o el mismo mecanismo de control. En teoría estos cócteles ahorran tiempo y trabajo con una mayor eficacia en el control de plagas y enfermedades. Sin embargo, es arriesgado hacer estas mezclas sin información de las etiquetas de los químicos (Mengistie et al., 2017). Las mezclas de pesticidas resultan un tema preocupante para la salud humana debido a sus posibles efectos sinérgicos sobre la toxicidad. Las mezclas de pesticidas con el mismo mecanismo de acción (MoA) a menudo muestran efectos aditivos, mientras que aquellos con diferentes MoA producen efectos que son difíciles de calcular (Hernández et al., 2017). En Ecuador el problema se agudiza, pues como lo reporta el gobierno de Ecuador, muchos de los alimentos consumidos superan los Límites Máximos de Residuos (LMR) de pesticidas permitidos para el consumo humano.

El presente estudio fue diseñado para responder a tres preguntas principales:

- (i) ¿Cómo afecta el uso de insecticidas a las plagas y los polinizadores (relaciones a y d en la Figura 1)?
- (ii) ¿El uso de insecticidas y sus impactos sobre la entomofauna afectan al rendimiento de campos agrícolas (relaciones b, c en la Figura 1)?
- (iii) ¿Cuál es la relación entre el nivel de las plagas principales (barrenadores) y el rendimiento del chocho (relación d en la Figura 1)?

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Sitios de estudio

El estudio se llevó a cabo en 79 campos de agricultores, entre enero y noviembre de 2021 en la sierra centro-norte de Ecuador (Figura 2). Los campos se ubicaron en las parroquias de Alaquez, Cochapamba, Cusubamba, Eloy Alfaro, Guaytacama, Juan Montalvo, La Matriz y Pujilí (Tabla 1). Las zonas de estudio y los agricultores se eligieron por: i) niveles de intensificación en el paisaje agrícola (densidad de plantación y/o número de especies presentes en una superficie determinada); ii) prácticas agrícolas (ej. uso o no de insecticidas), iii) trabajos previos de investigación y capacitación con agricultores de la zona y, iv) interés del agricultor para participar en la investigación.

### 2.2 Diseño del estudio

Se realizaron tres actividades. La primera fue el monitoreo de la aplicación de insecticidas en los campos de agricultores, la segunda fue el monitoreo de las poblaciones de insectos y la tercera fue estudiar la variabilidad del rendimiento.

#### 2.2.1 Registro de aplicaciones de insecticidas en campos de agricultores

Inicialmente se establecieron dos tratamientos: i) Con químico; campos con aplicación de insecticidas químicos sintéticos, y ii) Sin químico; campos con aplicación de insecticidas de tipo orgánico. Sin embargo, también se identificaron campos donde los agricultores no aplicaron ningún tipo de control sobre las plagas. En definitiva, se establecieron 39 campos con químico, 34 campos sin químico y 6 campos sin aplicación de control.

Cada agricultor eligió el tratamiento a utilizar, incluyendo riegos, deshierbas, frecuencia de controles fitosanitarios, todo adquirido por su financiamiento. En todos los campos se usó la semilla de la variedad de chocho INIAP-450 Andino, y fue desinfectada con el químico recomendado y usado por técnicos de la zona (Tiabendazol+Tiametoxam). Los campos sin químico usaron estrategias orgánico-biológicas como caldos minerales y extractos de plantas. Estas estrategias fueron proporcionadas por los agricultores y la universidad local. Para los tratamientos con químicos se usaron ingredientes

activos comúnmente aplicados por los agricultores (Tabla 2).

**Tabla 1.** Características bioclimáticas y tratamientos aplicados en los sitios de estudio, Cotopaxi 2021.

	Sitios	Alaquez	Carrillo	Chan	Cuturivi	Guaytacama	La Merced	Cachipata	Yugshiloma	Total de campos evaluados
	Tamaño promedio de campos evaluados (m <sup>2</sup> )	1850	1387	2125	985	1218	2367	2944	846	
	Cultivos principales	Fréjol, haba, maíz	Maíz	Arveja, fréjol	Arveja, cebada, papa	Arveja, fréjol, maíz	Maíz	Maíz, papa	Maíz	
	Altitud (msnm)	3044	3032	2918	3503	2948	2950	3336	2900	
Características Bioclimáticas	Precipitación promedio durante los días de monitoreo (mm/día)	8,67	7,88	8,15	10,22	7,68	8,44	8,9	9,75	
	Temperatura (°C)	12	11	13	11	11	13	10	11	
	Número de Tratamientos									
	Con químicos	4	6	1	13	5	2	9	2	42
	Sin químicos	8	4	2	6	6	1	1	3	31
	Sin control de plagas	2		1	1	1	1	0	0	6

El 70% de los agricultores que aplicaron tratamientos químicos usaron insecticidas organofosforados y piretroides, con un rango ente 1 y 4 aplicaciones antes de la etapa de floración. Por otro lado, el 95% de los campos sin tratamiento químico usaron caldos minerales y extractos de plantas (Tabla 2).

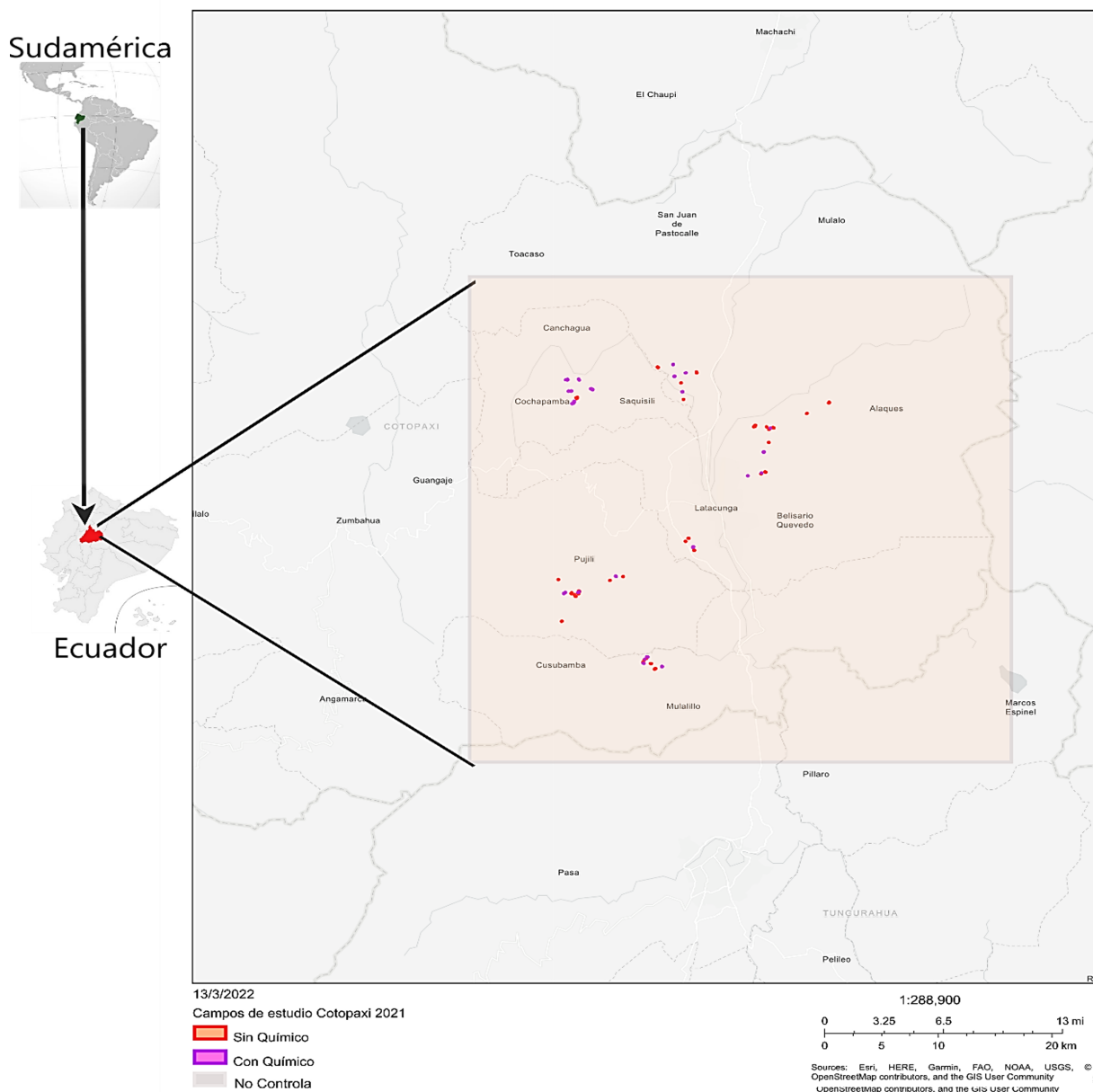
### 2.2.2 Toma de datos

A través de encuestas se colectaron datos sobre el uso y aplicación de productos químicos (ingrediente activo, dosificación, frecuencia de aplicación). Para esto, se contó con la autorización del comité de ética de investigación (CEISH) de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador (PUCE). Cada agricultor firmó un consentimiento informado en relación con las actividades de investigación. Además de los talleres se realizaron visitas y monitoreos periódicos a cada campo experimental. En dichos ta-

lles se proporcionó información de las actividades del experimento y cada agricultor fue responsable de aplicar el tratamiento elegido (Figura 3E). Las sesiones presenciales se desarrollaron entre marzo y noviembre 2021, bajo un protocolo de bioseguridad preestablecido debido a la pandemia.

### 2.2.3 Monitoreo de poblaciones de insectos en campos de agricultores

Se usaron trampas pegantes y trampas de plato para capturar insectos voladores reportados como entomofauna asociada al chocho (Mina et al., 2017). Para muestrear los insectos plaga se usaron trampas pegantes plásticas amarillas, A4 (21 × 29,7 cm) (Ali et al., 2019), colocadas a la altura del cultivo (Figura 3A). La distancia y número de trampas estuvo en función del área del campo muestreado, una por cada 1000m<sup>2</sup> (Heinz et al., 1992; Willett et al., 2020).



**Figura 2.** Ubicación continental y regional de los sitios de estudio ubicados en la sierra ecuatoriana. Distribución de los campos experimentales según el tratamiento aplicado.

Luego de 10 a 12 semanas después de la siembra se colocaron trampas pegantes. Las trampas se dejaron en campo una sola vez por 72 horas (Shah et al., 2020). Para el análisis del efecto de los insecticidas en plagas se escogieron dos insectos identificados como plaga en esta etapa del cultivo i) el barrenador del ápice (Díptera/Anthomyiidae, posiblemente

*Lasiomma* sp. ver (Struelens et al., 2021)) (Figura 3C) y ii) Mariquita negra (Coleóptera/Meryliidae, *Astylus bourgeoi*). Se registró la abundancia de una tercera plaga Agromyzidae (posiblemente *Liriomyza* sp.) encontrada durante el muestreo destructivo.

**Tabla 2.** Tratamientos utilizados por los agricultores para el control de insectos plagas, Cotopaxi 2021

	Insecto a controlar	Tratamiento con químico	
		Grupo químico (GQ) Clase toxicológica (CT) Modo de acción (MA)	Tratamiento sin químico
SIEMBRA	<i>Delia platura</i> <i>Agrotis</i> sp. <i>Agriotes</i> sp.	GQ: carbamatos oxima CT: Ib Altamente peligroso MA: Inhibidores de la colinesterasa	
		GQ: Piretroides y Piretrinas CT: II Moderadamente peligroso MA: actividad insecticida por contacto e ingestión sobre el sistema nervioso	Aceite de Neem Insecticida orgánico 2-2-1 (jengibre+ají+ajo)
		GQ: Organofosforados CT: II Moderadamente peligroso MA: Inhibidor de la acetilcolinesterasa	Microbios con extracto de hierbas amargas
		GQ: Organofosforados CT: III Ligeramente peligroso MA: Inhibidor de la acetilcolinesterasa	
ETAPA VEGETATIVA	<i>Lasiomma</i> sp. <i>Liriomyza</i> sp.	GQ: Neonicotinoides + Fenilpirazoles (Fiproles) CT: II Moderadamente peligroso MA: Fipronil, bloquea el efecto del neurotransmisor GABA	Aplicación de Caldos Sulfocálcicos Aplicación de Caldos de Ceniza
		GQ: Análogos de la nereistoxina CT: II Moderadamente peligroso MA: Insecticida de acción estomacal y de contacto	Abonos foliares (aminoácidos)

Para el registro de insectos polinizadores se colocaron trampas de plato de color amarillo a la altura de las flores (Figura 3B). En cada trampa se pusieron 200 mL de agua y 5mL de jabón líquido neutro (Saunders and Luck, 2013; Padron et al., 2021). Se recogieron luego de 72 horas (Shah et al., 2020), y los insectos se pusieron en frascos herméticos con alcohol al 70% para su posterior morfoespeciación. La identificación de estos insectos se apoyó en claves taxonómicas y la herramienta de ciencia ciudadana “iNaturalist” (iNaturalist, 2022).

### 2.3 Registro de variables relacionadas al daño y rendimiento

Adicionalmente se evaluaron los niveles de daño. Para esto se marcaron 10 plantas/campo en etapa vegetativa, y se realizó un muestreo destructivo. En cada planta se registraron la altura en referencia al tallo central y el número de ramas. Estas variables se relacionan con la respuesta de las plantas frente al ataque característico de los barrenadores estudiados (Struelens et al., 2021). La altura se registró en centímetros desde la base del tallo hasta el ápice

del eje central. El número de ramas se registró contabilizando las ramas con los órganos reproductivos (vainas y/o flores) (Garibaldi et al., 2016). Estas variables se complementaron con la abundancia de

tres plagas encontradas en el muestreo destructivo: i) barrenador del ápice (Díptera/Anthomyiidae), ii) barrenador del tallo (Díptera/Agromyzidae) y iii) polillas (Lepidóptera).



**Figura 3.** Métodos usados en este estudio (a). trampas pegantes, (b) trampas de plato, (c) mosca barrenadora ápice (*Anthomyiidae*/plaga), (d) *Eristalis tenax* (*Syrphidae*/polinizador), (e) agricultora aplicando tratamientos de control de plagas.

## 2.4 Análisis de datos

Se realizaron comparaciones según el tratamiento aplicado por el agricultor durante el ciclo de cultivo. Se analizaron las diferencias en las plagas y polinizadores entre cada tipo de tratamiento con un Análisis de Varianzas (ADEVA). Para los insectos plaga (*Astylus bourgeoisi* y *Anthomyiidae*) se utilizaron conteos de las trampas pegantes; para los *Agromyzidae* y polinizadores se utilizaron conteos de las trampas de plato. Se eligieron los nueve grupos de insectos visitantes de flores más abundantes registrados en los 79 campos. También se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo, dato proporcionado por el agricultor después de la cosecha.

Además del análisis de los insecticidas en pla-

gas, polinizadores y productividad, se analizó la relación entre las plagas y productividad de la planta (relación d en la Figura 1). Para ellos se creó un Índice de Productividad (IP), donde se sumaron flores y vainas de cada planta; ese valor se dividió para el número de plantas evaluadas en cada campo.

En las 10 plantas donde se evaluó la productividad también se contabilizaron el número total de barrenadores mediante un muestreo destructivo. Se sumaron todas las larvas encontradas tanto para *Anthomyiidae*, *Agromyzidae* y polillas. Se compararon con el índice de productividad obtenido para cada campo a través del modelo no lineal tipo poisson. Para ajustar los datos al modelo lineal se realizó una transformación logarítmica (Log +1), para la distribución normal y homocedasticidad de la varianza. Todos los análisis estadísticos se realiza-

ron utilizando el programa Past 4 project (Hammer et al., 2001) y el programa R v1.3.959 (R Core Team 2020).

### 3 Resultados

#### Abundancia y diversidad de la entomofauna muestreada

En el marco de este experimento se pudieron identificar 13 morfoespecies de insectos asociados a los campos de chocho. Se clasificaron en dos grupos funcionales plagas y polinizadores sean estos directos o indirectos. Se identificaron 4 órdenes y 12 familias de los insectos, de un conjunto de aproximadamente 12,000 individuos recolectados. El orden que registró mayor abundancia fue díptera, con un 74%, seguido por coleóptera con un 18%, el restante 8% fueron himenópteros y lepidópteros. A continuación, se presentan los principales resultados que ayudan a responder las preguntas planteadas en este estudio.

#### 3.1 Efecto de los plaguicidas sobre plagas, polinizadores y rendimiento

Los tratamientos aplicados muestran la variabilidad en la respuesta de las abundancias de los tres insectos plaga analizados. En los 3 casos se observa que el tratamiento sin control fue el que registró menor número de plagas. Por otro lado, para el caso de *A. bourgeoisi* y Agromyzidae se puede observar una ligera tendencia de una menor abundancia para el tratamiento sin químico, tendencia no observada en el caso de Anthomyiidae. Sin embargo, estadísticamente, no se han encontrado efectos significativos de los tratamientos sobre la abundancia de las tres plagas ( $p > 0,05$ , Figura 4).

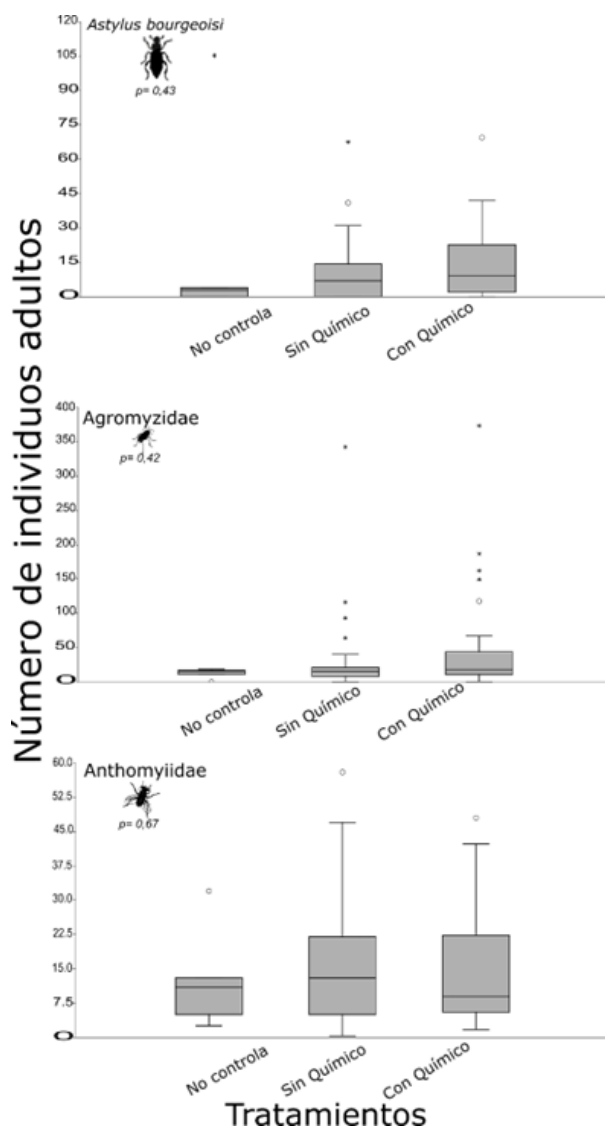
Para los polinizadores, se consideraron los 9 grupos de insectos más abundantes, reportados como polinizadores de varios cultivos que se encuentran en floración. Los insectos analizados fueron *Eristalis* sp., *Apis mellifera*, las moscas de las familias Stratiomyidae, Tachinidae, Sarcophagidae, Calliphoridae, Bibionidae, Syrphidae e himenópteros de la familia Halictidae. Sin embargo, el registro de todos los insectos muestreados y subidos en la

aplicación iNaturalist resultó en 52 morfoespecies diferentes (iNaturalist, 2022).

Algunas especies de interés como polinizadores son: *Eristalis tenax* y *Eristalis bogotensis* (Syrphidae) *Cynomya cadaverina*, *Lucilia sericata*, *Calliphora vicina* y *Chrysomya megacephala* (Calliphoridae), *Augochlorella aurata*, *Caenohalictus* sp., *Pseudaugochlora* sp. y *Neocorynura* sp. (Halictidae). Otros insectos identificados incluyeron géneros como *Hedriodiscus* sp., *Netelia* sp., *Megachile* sp., *Eriothrix* sp., *Peralia* sp. y *Panzeria* sp.

El efecto de los 3 tratamientos aplicados sobre la abundancia de los polinizadores varió en función del insecto considerado. Para insectos como *Apis mellifera*, Stratiomyidae, Tachinidae, Sarcophagidae, Bibionidae y Syrphidae, no se encontraron diferencias estadísticas en las abundancias (ADEVA,  $p > 0,05$ , Figura 5). Por otra parte, para insectos como *Eristalis* sp., Calliphoridae y Halictidae, se encontró una abundancia menor en campos tratados con químico (ADEVA,  $p < 0,05$ , Figura 5). Las comparaciones por pares de tratamientos obtuvieron los siguientes resultados: i). sin control vs. sin químicos no fue significativa (ADEVA,  $p < 0,17$ ), ii). sin control vs. químico fue significativa. Según Tukey al 5% el tratamiento donde se registró menor abundancia de insectos benéficos fue el químico con 1,78 insectos promedio (ADEVA,  $p < 0,002$ ), iii). Sin químicos vs. químicos fue significativa. Según Tukey al 5% el tratamiento donde se registró menor abundancia de insectos benéficos fue el químico (ADEVA,  $p < 0,004$ ).

La altura promedio de las plantas evaluadas fue de 0,97m con una desviación estándar de 0,24. El número de ramas promedio calculado fue de 9,37; con una desviación estándar de 2,45. Con relación al daño que causan las plagas barrenadoras en el tallo principal (medida registrada como altura de planta), no se ha encontrado ningún efecto significativo de los tratamientos en los campos estudiados ( $p = 0,903$ ; Figura 6A). Por otro lado, se puede observar que los campos donde se realizaron aplicaciones de insecticidas químicos tuvieron plantas de chocho con un mayor número de ramas (ADEVA,  $p = 0,038$ ; Figura 6B).



**Figura 4.** Efecto de los tratamientos sobre la abundancia de insectos plaga monitoreados con trampas pegantes (A y C) y trampas de plato (B).

En cuanto a productividad estimada de chocho donde se contabilizaron flores y vainas de 10 plantas/campo tomadas al azar, se observó una gran variabilidad en los diferentes campos, sin efecto significativo de ningún tratamiento ( $p > 0,05$ , Figura 7). Por otra parte, se obtuvo una correlación positiva ( $r = 0,19$ ) entre el rendimiento final reportado por los agricultores y el índice de productividad calculado.

### 3.2 Relación plagas - productividad

Se calculó una relación lineal positiva débil, entre el número de barrenadores ( $r^2 = 0,047$ ; Figura 8) y el índice de productividad calculado. Existe una tendencia donde a mayor número de barrenadores dentro de la planta, mayor productividad de esta planta. Sin embargo, se observa gran variabilidad en los resultados y algunas plantas con pocos barrenadores también tuvieron índices de productividad tan altos como plantas con muchos barrenadores. La Figura 8 muestra una pendiente ligeramente

más marcada después de cierto umbral de plagas (log barrenadores=1,5); esto puede sugerir la sobre-

compensación inicia luego de cierto nivel de ataque.

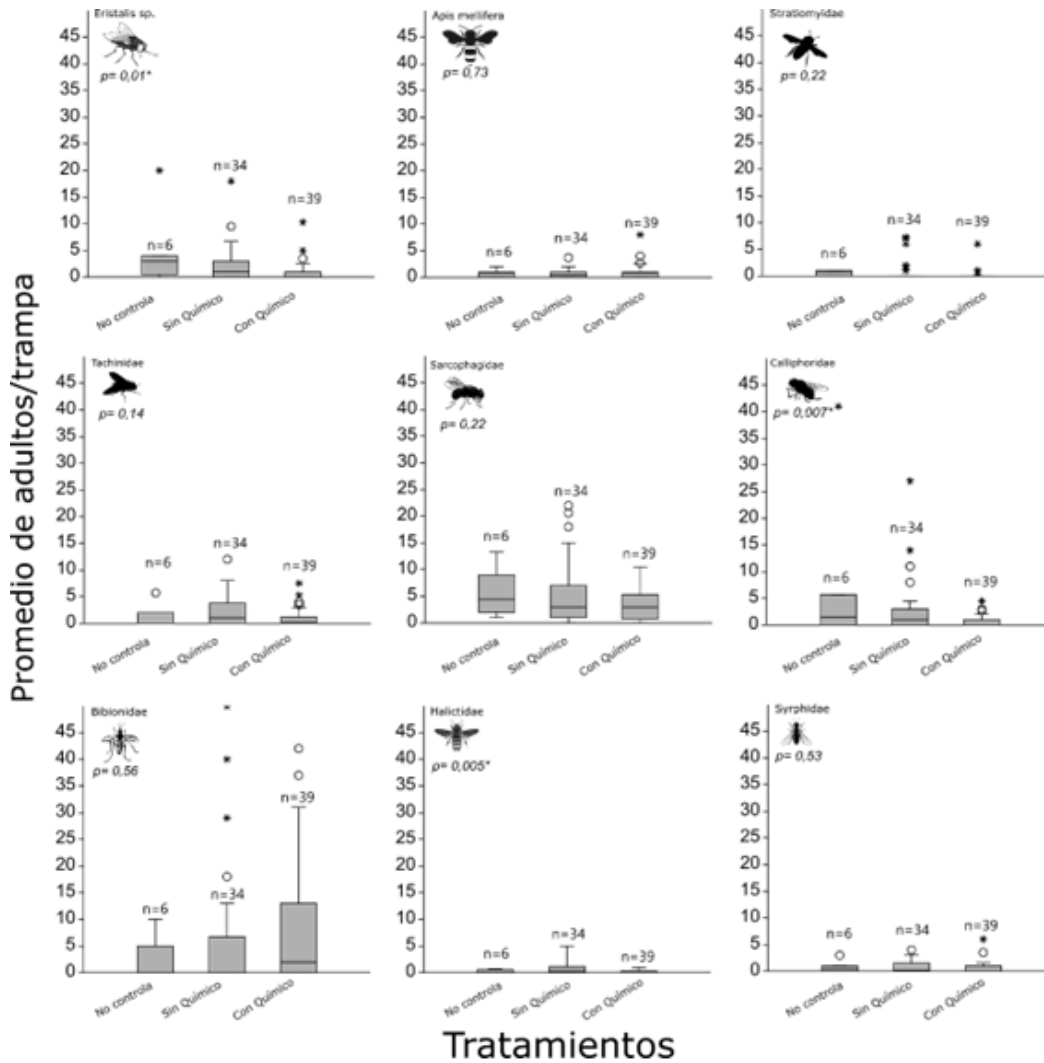


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre la abundancia de insectos benéficos monitoreados con trampas de plato.

#### 4 Discusión y Conclusiones

Existieron varios factores no tomados en cuenta, como la heterogeneidad del suelo, el manejo de cultivos circundantes, residualidad de insecticidas sistémicos y los hábitats naturales que podrían estar rodeando los campos de estudio. Por otra parte, el n analizado aporta un nivel de análisis que comprueba las hipótesis planteadas en estudios previos por el mismo equipo de investigación. No obstante,

es importante resaltar los límites del método experimental, que generalmente analiza un número limitado de variables a la vez.

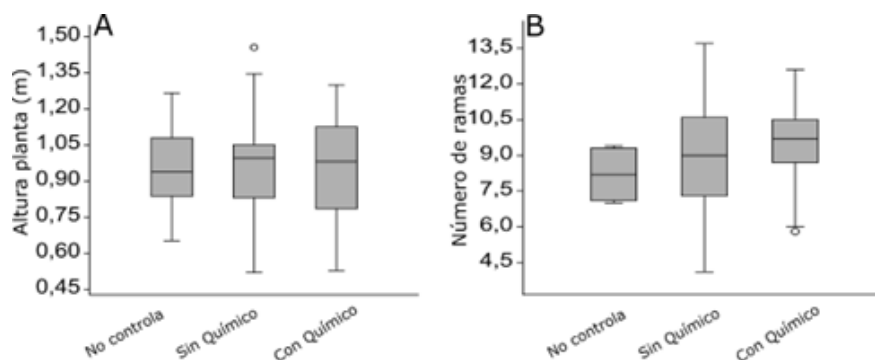
#### Efecto de los insecticidas sobre insectos plaga

Este estudio mostró que para el caso de los insectos plaga, no se encontraron efectos significativos en ninguno de los tratamientos sobre las abundancias de plagas, tal como lo señala Struelens et al.

(2021) en un estudio previo. Este resultado se observó inclusive en el tratamiento donde el agricultor no realizó ninguna acción de manejo.

Es decir, tanto los insecticidas químicos, como los orgánicos aplicados durante este estudio no estarían siendo efectivos para el control de las plagas mencionadas, sin disminución de sus poblaciones. La hipótesis es que dichos resultados podrían es-

tar relacionados a dos condiciones: i). los ingredientes activos aplicados por los agricultores no son los adecuados para controlar el tipo de plagas evaluadas y ii). la ecología de las tres plagas analizadas, ya que probablemente las aplicaciones de insecticidas estarían alcanzando los estadios larvales en el interior del tallo en dosis subletales sin causar mayor control.



**Figura 6.** Relación entre los tratamientos y las medidas de daño por plagas barrenadoras. (A) Altura de planta en m, (B) Número de ramas.

En el primer caso es importante mencionar que en el 79,6% de los campos manejados con tratamiento químico se usaron solamente 3 ingredientes activos: profenofos (inhibidor de acetilcolinesterasa), lambdacyhalothrina y cipermetrina (moduladores del canal de sodio), los 3 insecticidas de contacto. El 61% de los campos manejados en el experimento recibió asesoría de un vendedor de químicos o un agrónomo para adquirir un producto químico. Como lo señala Aga (2018), la dependencia de los agricultores ante la asesoría de los vendedores de químicos resulta un factor determinante al momento de controlar sus plagas. Zibae and Malagoli (2020), concluyen que podrían existir efectos en dosis subletales aún no evaluados para estas plagas. Probablemente esto podría generar resistencia frente a estos ingredientes activos.

En base a estudios y muestreos previos se ha podido evidenciar la presencia de la plaga barrenador del ápice durante gran parte de ciclo de cultivo (Mina et al., 2017). El orificio por donde entra el barrenador del ápice suele ser usado como puerta de ingreso de los otros dos barrenadores encontra-

dos en el muestreo destructivo. Inclusive se han evidenciado relaciones tróficas entre plagas, donde las larvas de ciertas polillas barrenadoras depredan larvas/pupas de la mosca barrenador del ápice.

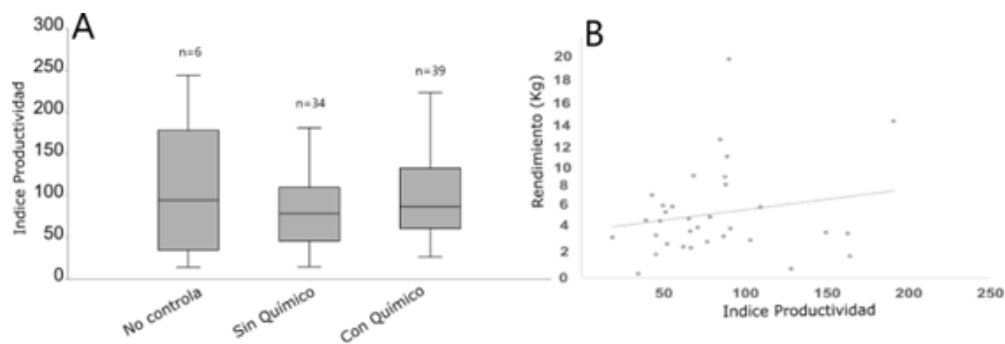
#### Efecto de los insecticidas sobre insectos polinizadores

El estudio realizado indica un efecto negativo de los insecticidas usados sobre las abundancias de ciertos insectos polinizadores de chocho. Este efecto se evidenció en dípteros como *Eristalis* sp, Calliphoridae e himenópteros de la familia Halictidae, todos insectos de tamaño considerable que aportan en la polinización directa o indirecta de leguminosas, como lo señalan Miguel-Peñaloza et al. (2019). Estudios como el de Catarino et al. (2019), también han reportado efectos variables de acuerdo al polinizador involucrado y al ingrediente activo químico analizado. Otro punto a tener en cuenta es el efecto residual real de químicos sistémicos como los neonicotinoides sobre los polinizadores (Wen et al., 2021). En el caso del chocho, algunos agricultores han optado por el uso de este tipo de productos pa-

ra desinfectar su semilla al momento de la siembra, por lo que sería interesante considerar la variable residualidad.

Para el caso de *Eristalis* sp. (Figura 3D; Figura 5) y otros syrphidae, se han observado visitas de adultos en flores de chocho. Sin embargo, es necesario identificar cuánto estarían influyendo en la polinización de este cultivo, al igual que Calliphoridae y Halictidae. No obstante, los resultados obtenidos muestran que la abundancia de estos fue menor en campos donde se utilizaron productos químicos

( $\bar{x} = 1$ ;  $sd = 1,9$ ) en comparación con el tratamiento control ( $\bar{x} = 5,1$ ;  $sd = 7,5$ ). En cuanto a los syrphidae, estos son polinizadores importantes con altas tasas de visitas florales y capacidad de transporte de polen. De hecho, el género *Eristalis* sp. es el visitador floral más representativo por parte de las moscas sírfidas (Dunn et al., 2020). Los *Eristalis* sp. vuelan de mayo a octubre, épocas donde el cultivo de chocho está en floración. Son cosmopolitas, por lo que no siempre resultan ser polinizadores directos, polinizando gran variedad de plantas, incluyendo las leguminosas (Temreshev et al., 2017).



**Figura 7.** Relación entre tratamientos y rendimiento. (A) tratamientos vs. índice de productividad, (B) índice de productividad vs. rendimiento.

Muchas veces los análisis de polinizadores se centran exclusivamente en las abejas, sin embargo, en este estudio se resalta el rol de otros grupos como estas moscas. En comparación con las abejas, las moscas son menos sensibles a la degradación y fragmentación del hábitat. Por tanto, su papel como polinizadores en hábitats agrícolas degradados se potencializa mucho más (Chakraborty et al., 2021). Estudios como los de Garibaldi et al. (2020), han demostrado que el rendimiento de los cultivos aumenta linealmente con la riqueza de polinizadores (cantidad de especies). En el caso de *L. mutabilis*, Caligari et al. (2000), han reportado que existiría al menos un 58,8% de exogamia, misma que podría ser aprovechada por la diversidad de insectos que visitan las flores de este cultivo. Justamente esa diversidad de insectos observados durante la floración provoca la necesidad de desarrollar una metodología que confirme la efectividad que estos insectos pueden tener sobre la polinización de *Lupinus*.

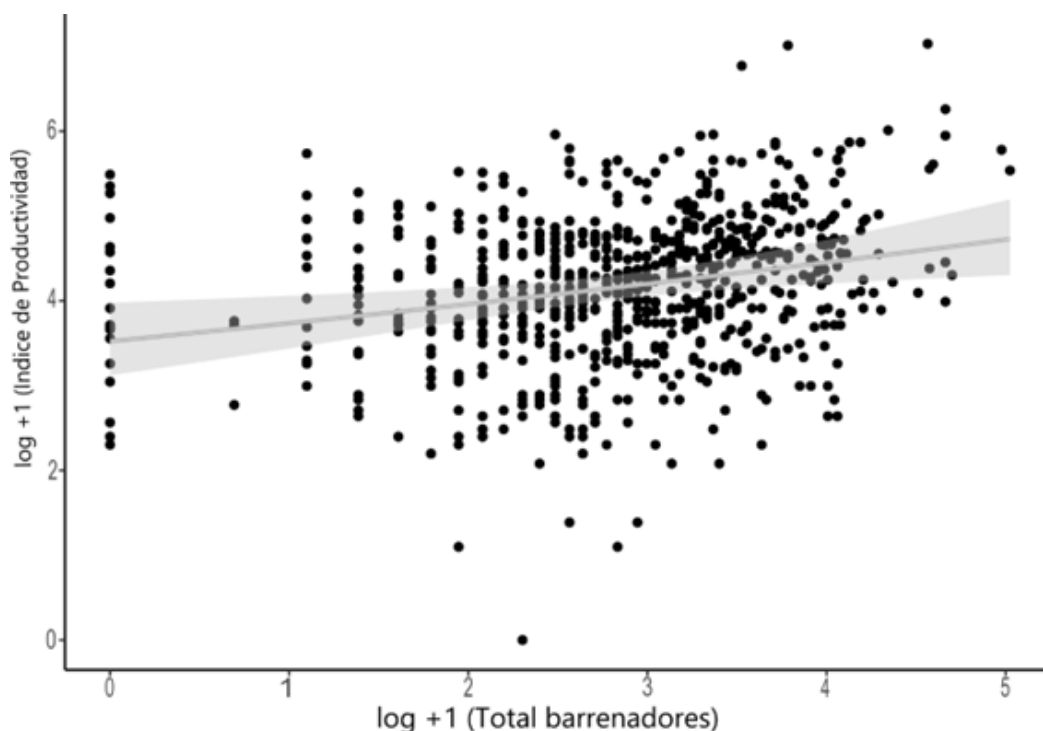
### Efecto de los pesticidas sobre rendimiento y posible sobrecompensación

El número de ramas, registrada como variable respuesta-daño, fue mayor en campos con aplicación de químicos (Figura 6B). Esto sugiere que el uso de los químicos analizados no afecta directamente a las plagas en cuestión (Anthomyiidae, Agromyzidae y polillas). Al parecer, el ataque de estas plagas predispone a la planta a una reacción que al final puede repercutir positivamente en el rendimiento (García and Eubanks, 2019). Se compararon los datos promedio de número de vainas/plantas sanas vs. plantas atacadas por barrenadores y estas últimas tuvieron 70% más flores que las plantas sanas. La hipótesis es que el ataque de los barrenadores no tiene un impacto negativo decisivo al limitar el crecimiento del eje central, pues del total de plantas evaluadas el 95% tuvo el ataque de estas plagas. Sin embargo, la herbivoría de estos insectos provoca un incremento de ramas laterales, un mayor número de flores y vainas lo que en teoría

potencia la productividad.

Este posible efecto de sobrecompensación necesita analizarse a profundidad (año 2 de este experimento), para comprender cuál es el umbral de daño tomando en cuenta las variables de incidencia y severidad. No obstante, existen reportes sobre el efecto de sobrecompensación al duplicar los ren-

dimientos (comparando plantas sanas vs. plantas afectadas) (Poveda et al., 2018), además de meta-análisis que muestran evidencia de sobrecompensación vegetativa y reproductiva. La comprensión de estos mecanismos subyacentes pueden ser una vía de investigación para mejorar el manejo integrado de plagas y limitar el uso de insecticidas (García and Eubanks, 2019).



**Figura 8.** Relación entre el índice de productividad y el número total de plagas barrenadoras encontradas dentro de las plantas evaluadas (n = 770).

En conclusión, las interrelaciones entre los insecticidas, plagas, polinizadores y productividad del cultivo en el agro sistema analizado no se cumplen tal como están representadas anteriormente en la Figura 1. El uso de insecticidas tiene como objetivo directo controlar plagas (a), pero como se demostró, los insecticidas comerciales más recomendados en el mercado para el cultivo de chocho no tienen un efecto claro de control sobre las plagas analizadas. La ecología de las principales plagas de chocho, que se desarrollan barrenando tallos y otros órganos, limita en parte las estrategias de control que se pueden aplicar independientemente.

En este punto también es necesario tomar en cuenta que la aplicación de insecticidas también afecta los enemigos naturales (ej. microhimenópteros Pteromalidae), encontrados durante el muestreo destructivo. Por otro lado, se espera que los insectos plaga tengan un efecto negativo sobre la productividad (d), pero esto también puede ser relativo, pues deben considerarse mecanismos subyacentes como la sobrecompensación.

Con respecto a la relación uso de insecticidas-polinizadores (b), es por demás conocido el efecto dañino del uso de químicos sobre los polinizadores (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). Sin embargo,

para entender mucho más estos efectos se necesita profundizar en las interacciones polinizador-planta, que para el caso de plantas de uso agrícola son altamente especializadas (Aguado et al., 2019). Esto permitirá entender mejor las relaciones ecológicas implícitas. Con respecto a la relación plaguicidas-productividad, como lo muestra Scarlato et al. (2022), el uso de pesticidas (especialmente insecticidas), no siempre tienen una relación fuerte con los rendimientos del cultivo analizado.

Es importante que los resultados como los de este estudio puedan transmitirse a los agricultores (Wyckhuys et al., 2019). En este caso específico, las evidencias del pobre o casi nulo efecto de control que tienen los insecticidas sobre las plagas o el conocimiento sobre mecanismos como la sobrecompensación pueden contribuir a reducir el uso y dependencia de los agroquímicos. Además, la parte social y la investigación participativa jugaron un papel determinante en este estudio, específicamente sobre la aplicación de tratamientos. Esto debido a que para algunos casos los agricultores no atendieron a tiempo a las recomendaciones de los investigadores y las plagas complicaron la salud de sus cultivos. Llevar a cabo una investigación participativa ayuda a entender la variabilidad y heterogeneidad del campo; sin embargo, esto puede ser un gran reto, precisamente por la inmensa variabilidad que aumenta con las decisiones de cada agricultor. El año 2021 fue un año bastante atípico en los niveles de precipitación y temperatura, lo que influye en la biología de las plantas, las plagas y los polinizadores.

## Agradecimientos

Este trabajo recibió ayuda del Instituto Francés para la Investigación y Desarrollo IRD, y la Fundación Mcknight programa CRFS (EEUU, <https://www.ccrp.org/>), en el marco del proyecto de investigación: Agro-ecological Management of crop Insects: towards a sustainable collective GOal for Farmers (AMIGO). Además, se agradece a los asistentes de campo y agricultores que consintieron ser parte del estudio.

## Contribución de los autores

D.M: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Software, Validación, Escritura– borrador original; J.C.: Conceptualización, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación, Escritura– revisión y edición; T.C.: Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Software, Escritura– revisión y edición; I.N.: Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Software, Escritura– revisión y edición; O.D.: Conceptualización, Curación de datos, Adquisición de financiación, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Recursos, Supervisión, Validación, Escritura– revisión y edición.

## Referencias

- Aga, A. (2018). Merchants of knowledge: Petty retail and differentiation without consolidation among farmers in maharashtra, india. *Journal of Agrarian Change*, 18(3):658–676. Online:<https://n9.cl/8a1cxr>.
- Aguado, D., Gutierrez-Chacón, C., and Muñoz, M. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta-polinizador de un agroecosistema en el valle del cauca, colombia. *Acta biológica colombiana*, 24(2):331–342. Online:<https://n9.cl/smtz2>.
- Aizen, M., Garibaldi, L., Cunningham, S., and Klein, A. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? lessons from long-term trends in crop production. *Annals of botany*, 103(9):1579–1588. Online:<https://n9.cl/68tuya>.
- Alandia, G. (2018). *Los caminos del tarwi y la integración andina: Bolivia, Perú y Ecuador*. Ipdrs, HIVOS y Cipca Altiplano.
- Ali, M., Bari, M., Haque, S., Kabir, M., Afrin, S., Nowrin, F., Islam, M., and Landis, D. (2019). Establishing next-generation pest control services in rice fields: eco-agriculture. *Scientific reports*, 9(1):10180. Online:<https://n9.cl/043qob>.
- Berni, I., Menouni, A., El, I., Duca, R., Kestemont, M., Godderis, L., and Jaafari, S. (2021). Understanding farmers' safety behavior regarding pesticide use in morocco. *Sustainable Production and Consumption*, 25:471–483. Online:<https://n9.cl/avoud3>.

- Botías, C. and Sánchez-Bayo, F. (2018). Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores. *Ecosistemas*, 27(2):34–41. Online:https://n9.cl/9f3an.
- Budzinski, H. and Couderchet, M. (2018). Environmental and human health issues related to pesticides: from usage and environmental fate to impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15):14277–14279. Online:https://n9.cl/szbg0.
- Busse, M., Zoll, F., Siebert, R., Bartels, A., Bokelmann, A., and Scharschmidt, P. (2021). How farmers think about insects: perceptions of biodiversity, biodiversity loss and attitudes towards insect-friendly farming practices. *Biodiversity and conservation*, 30:3045–3066. Online:https://n9.cl/00tiup.
- Caicedo, V. and Peralta, I. (2000). *Zonificación potencial, sistemas de producción y procesamiento artesanal del chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.
- Caligari, P., Römer, P., Rahim, M., Huyghe, C., Neves-Martins, J., and Sawicka-Sienkiewicz, E. (2000). *The potential of Lupinus mutabilis as a crop*, chapter Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century: Proceedings of the third international food legumes research conference, pages 569–573.
- Catarino, R., Bretagnolle, V., Perrot, T., Vialloux, F., and Gaba, S. (2019). Bee pollination outperforms pesticides for oilseed crop production and profitability. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1912):20191550. Online:https://n9.cl/ajrbl.
- Chakraborty, P., Chatterjee, S., Smith, B., and Basu, P. (2021). Seasonal dynamics of plant pollinator networks in agricultural landscapes: how important is connector species identity in the network? *Oecologia*, 196(3):825–837. Online:https://n9.cl/wb0j2.
- Chemnitz, C. (2022). *Pestizidatlas: Daten und Fakten zu Giften in der Landwirtschaft*. Heinrich-Böll-Stiftung.
- Chivian, E. and Bernstein, A. (2015). *Preservar la vida: de cómo nuestra salud depende de la biodiversidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Cowling, W., Buirchell, B., and Tapia, M. (1998). *Lupin: Lupinus albus promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research.
- Damte, T. and Tabor, G. (2015). Small-scale vegetable producers' perception of pests and pesticide uses in east shewa zone, ethiopia. *International Journal of Pest Management*, 61(3):212–219. Online:https://n9.cl/f01ox.
- de Oliveira, A., Junqueira, C., and Augusto, S. (2019). Pesticides affect pollinator abundance and productivity of sunflower (*helianthus annuus* L.). *Journal of Apicultural Research*, 58(1):2–8. Online:https://n9.cl/pdzin3.
- Dunn, L., Lequerica, M., Reid, C., and Latty, T. (2020). Dual ecosystem services of syrphid flies (diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents. *Pest management science*, 76(6):1973–1979. Online:https://n9.cl/v799v.
- Egan, P., Dicks, L., Hokkanen, H., and Stenberg, J. (2020). Delivering integrated pest and pollinator management (ippm). *Trends in Plant Science*, 25(6):577–589. Online:https://n9.cl/rpf74.
- FAO (2017). Pesticide use, our world in data. FAO. Online:https://n9.cl/vgms3.
- Forister, M., Pelton, E., and Black, S. (2019). Declines in insect abundance and diversity: We know enough to act now. *Conservation Science and Practice*, 1(8):e80. Online:https://n9.cl/4iztx.
- García, L. and Eubanks, M. (2019). Overcompensation for insect herbivory: a review and meta-analysis of the evidence. *Ecology*, 100(3):e02585. Online:https://n9.cl/1p1uz.
- Garibaldi, L., Carvalheiro, L., Vaissière, B., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B., Ngo, H., Azzu, N., Sáez, A., and Åström, J. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271):388–391. Online:https://n9.cl/5d6lg.
- Garibaldi, L., Sáez, A., Aizen, M., Fijen, T., and Bartomeus, I. (2020). Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57(4):664–670. Online:https://n9.cl/2x47x.
- Gould, F., Brown, Z., and Kuzma, J. (2018). Wicked evolution: Can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance? *Science*, 360(6390):728–732. Online:https://n9.cl/6bon4.

- Goulson, D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19):R967–R971. Online: <https://n9.cl/olrlo4>.
- Hammer, Ø., Harper, D., and Ryan, P. (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1):1–9. Online: <https://n9.cl/68tuya>.
- Heinz, K., Parrella, M., and Newman, J. (1992). Time-efficient use of yellow sticky traps in monitoring insect populations. *Journal of Economic Entomology*, 85(6):2263–2269. Online: <https://n9.cl/s0f9p>.
- Hernández, A., Gil, F., and Lacasaña, M. (2017). Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. *Archives of toxicology*, 91:3211–3223. Online: <https://n9.cl/wzje2>.
- iNaturalist (2022). Inpo-chocho (insectos polinizadores del chocho). iNaturalist. Online: <https://n9.cl/j818t>.
- INEC (2015). Estadísticas agropecuarias. INEC. Online: <https://n9.cl/y21b>.
- Jallow, M., Awadh, D., Albaho, M., Devi, V., and Thomas, B. (2017). Pesticide risk behaviors and factors influencing pesticide use among farmers in kuwait. *Science of the total environment*, 574:490–498. Online: <https://n9.cl/421z7j>.
- Khan, M., Mahmood, H., and Damalas, C. (2015). Pesticide use and risk perceptions among farmers in the cotton belt of punjab, pakistan. *Crop Protection*, 67:184–190. Online: <https://n9.cl/4rp16>.
- Klein, A., Vaissière, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., Kremen, C., and Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608):303–313. Online: <https://n9.cl/schcs>.
- Magrach, A., Champetier, A., Krishnan, S., Boreux, V., and Ghazoul, J. (2019). Uncertainties in the value and opportunity costs of pollination services. *Journal of Applied Ecology*, 56(7):1549–1559. Online: <https://n9.cl/azsye>.
- Mengistie, B., Mol, A., and Oosterveer, P. (2017). Pesticide use practices among smallholder vegetable farmers in ethiopian central rift valley. *Environment, Development and Sustainability*, 19:301–324. Online: <https://n9.cl/umfug>.
- Miguel-Peñaloza, A., Delgado-Salinas, A., and Jiménez-Durán, K. (2019). Pollination biology and breeding system of *desmodium grahamii* (fabaceae, papilionoideae): functional aspects of flowers and bees. *Plant Systematics and Evolution*, 305:743–754. Online: <https://n9.cl/jkmkg>.
- Mina, D., Struelens, Q., Carpio, C., Rivera, M., Rebai, N., Rebaudo, F., and Dangles, O. (2017). Lupin pest management in the ecuadorian andes: current knowledge and perspectives. *Outlooks on Pest Management*, 28(6):250–256. Online: <https://n9.cl/wp8hs>.
- Nicklin, C., Rivera, M., and Nelson, R. (2006). Realizing the potential of an andean legume: roles of market-led and research-led innovations. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 4(1):61–78. Online: <https://n9.cl/p3s6j>.
- Pacífico da Silva, I., Oliveira, F., Pedroza, H., Gadelha, I., Melo, M., and Soto-Blanco, B. (2015). Pesticide exposure of honeybees (*apis mellifera*) pollinating melon crops. *Apidologie*, 46:703–715. Online: <https://n9.cl/pcgb8>.
- Padron, P., Vásquez, C., Durán, S., Pezo, K., Loyola, N., and Junghanns, A. (2021). Use of colored pan traps method for monitoring insect (diptera and hymenoptera) diversity in the southern tropical andes of ecuador. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41:643–652. Online: <https://n9.cl/rbyekd>.
- Pan, Y., Ren, Y., and Luning, P. (2021). Factors influencing chinese farmers' proper pesticide application in agricultural products—a review. *Food Control*, 122:107788. Online: <https://n9.cl/r12wx>.
- Potts, S., Biesmeijer, J., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., and Kunin, W. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology y evolution*, 25(6):345–353. Online: <https://n9.cl/kbf401>.
- Poveda, K., Díaz, M., and Ramírez, A. (2018). Can overcompensation increase crop production? *Ecology*, 99(2):270–280. Online: <https://n9.cl/98jm3>.
- Sánchez-Bayo, F. and Wyckhuys, K. (2019). Qué provoca el declive de los insectos. *Investigacion y Ciencia*, 517:12–14. Online: <https://n9.cl/ezu5la>.

- Saunders, M. and Luck, G. (2013). Pan trap catches of pollinator insects vary with habitat. *Australian Journal of Entomology*, 52(2):106–113. Online: <https://n9.cl/1xjra>.
- Sawe, T., Nielsen, A., and Eldegard, K. (2020). Crop pollination in small-scale agriculture in tanzania: Household dependence, awareness and conservation. *Sustainability*, 12(6):2228. Online: <https://n9.cl/2moi8>.
- Scarlato, M., Dogliotti, S., Bianchi, F., and Rossing, W. (2022). Ample room for reducing agrochemical inputs without productivity loss: the case of vegetable production in uruguay. *Science of the Total Environment*, 810:152248. Online: <https://n9.cl/ppl6v>.
- Shah, N., Junejo, I., Hullio, M., Maitlo, S., Daar, J., and Rajput, S. (2020). Evaluation of colored sticky traps for monitoring the population of whitefly *bemisia tabaci* (gennadius) on brinjal crop. *Pakistan journal of agricultural research*, 33(2):327–330. Online: <https://n9.cl/4m7b8>.
- Sherwood, S., Cole, D., Crissman, C., and Paredes, M. (2005). From pesticides to people: improving ecosystem health in the northern andes. *The Pesticide Detox: towards a more sustainable agriculture*, pages 147–164. Online: <https://n9.cl/o6d5u>.
- SINAGAP (2014). Resumen ejecutivo, zonificación agroecológica económica del cultivo de chocho en ecuador, escala 1:250.000, 2014. Technical report, SINAGAP. Online: <https://n9.cl/888qr>.
- Stanley, D., Garratt, M., Wickens, J., Wickens, V., Potts, S., and Raine, N. (2015). Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature*, 528(7583):548–550. Online: <https://n9.cl/24v8ne>.
- Stenberg, J. (2017). A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in plant science*, 22(9):759–769. Online: <https://n9.cl/jtkey6>.
- Struelens, Q., Mina, D., and Dangles, O. (2021). Combined effects of landscape composition and pesticide use on herbivore and pollinator functions in smallholder farms. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2(7):1–9. Online: <https://n9.cl/x7d80>.
- Temreshev, I., Esenbekova, P., Kenzhegaliev, Y., Sagitov, A., Muhamadiev, N., and Homziak, J. (2017). Diurnal insect pollinators of legume forage crops in southeastern kazakhstan. *International Journal of Entomology Research*, 2(2):17–30. Online: <https://n9.cl/8bkip6>.
- Wen, X., Ma, C., Sun, M., Wang, Y., Xue, X., Chen, J., Song, W., Li-Byarlay, H., and Luo, S. (2021). Pesticide residues in the pollen and nectar of oilseed rape (*brassica napus* l.) and their potential risks to honey bees. *Science of the Total Environment*, 786:147443. Online: <https://n9.cl/0ngjr>.
- Willett, D., Filgueiras, C., Nyrop, J., and Nault, B. (2020). Field monitoring of onion maggot (*delia antiqua*) fly through improved trapping. *Journal of Applied Entomology*, 144(5):382–387. Online: <https://n9.cl/kjpijq>.
- Wyckhuys, K., Heong, K., Sanchez-Bayo, F., Bianchi, F., Lundgren, J., and Bentley, J. (2019). Ecological illiteracy can deepen farmers' pesticide dependency. *Environmental Research Letters*, 14(9):093004. Online: <https://n9.cl/4usqq6>.
- Zibae, A. and Malagoli, D. (2020). The potential immune alterations in insect pests and pollinators after insecticide exposure in agroecosystem. *Invertebrate Survival Journal*, pages 99–107. Online: <https://n9.cl/klsm3>.



# CARACTERÍSTICAS DE LLUVIA Y EVENTOS EXTREMOS EN LOS ANDES TROPICALES USANDO UN RADAR DE LLUVIA DE APUNTAMIENTO VERTICAL

## RAINFALL CHARACTERISTICS AND EXTREME EVENTS IN THE TROPICAL ANDES USING A VERTICALLY POINTING RAIN RADAR

Javier Chinín-Cabrera<sup>1</sup>  y Rolando Céleri\*<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, Universidad de Cuenca, 010207, Cuenca, Ecuador.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, 010203, Cuenca, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [rolando.celleri@ucuenca.edu.ec](mailto:rolando.celleri@ucuenca.edu.ec)

Manuscrito recibido el 26 de febrero de 2023. Aceptado, tras revisión el 25 de junio de 2024. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

La información de la estructura vertical de la lluvia en los Andes es bastante limitada, a pesar de su importancia en aspectos como modelos de clima (MC) y estimación cuantitativa de lluvia (ECL). Dentro de estos aspectos, los eventos extremos conforman un punto de alto interés debido a la necesidad de mitigar los problemas sociales que pueden ocasionar. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es caracterizar la estructura vertical de la lluvia y eventos extremos en los Andes Tropicales usando un micro radar de lluvia de apuntamiento vertical. Para esto, (i) se determinó el ciclo diario de lluvia; (ii) se caracterizó la bright band; (iii) se caracterizó la columna de agua y los perfiles verticales promedio de reflectividad. Se utilizaron 5 años de datos medidos con un radar de apuntamiento vertical instalado en Cuenca, Ecuador. Los principales resultados indican que (i) los eventos de lluvia con altas intensidades se concentran entre las 12:30 – 20:00 h (Tiempo Local), y en este intervalo se registra el 77 % del total de lluvia; (ii) la bright band tiene un espesor entre 200 y 400 m y su parte superior (capa de fusión) se ubica entre 4500 y 4900 m snm; y (iii) la lluvia muestra una alta variabilidad en la columna de agua: durante la etapa convectiva los valores de reflectividad pueden aumentar hasta en un 94% desde la capa de fusión hasta la superficie. Los resultados evidencian la alta complejidad de los eventos de lluvia de la zona andina y la necesidad de considerar estos aspectos para mejorar la precisión de MC y ECL.

**Palabras clave:** Eventos extremos, capa de fusión, ciclo diario de lluvia, estructura vertical de lluvia, Andes tropicales.

### Abstract

Although the vertical structure of rain is relevant in aspects such as climate models (CM) and quantitative precipitation estimation (QPE), data about it is limited in the Andes. Within these aspects, extreme rainfall events are important due to their potential social impacts. Therefore, this study aims to characterize the vertical structure of rain and extreme events in the Tropical Andes using a Vertically Pointing Micro Rain Radar. For this, (i) the diurnal rainfall cycle was determined; (ii) the bright band was characterized; (iii) common characteristics of the vertical rain profile during extreme events, along with the average vertical reflectivity profiles of different development stages of a characteristic extreme event were studied. The study was performed using five years of data from a vertically pointing rain radar installed in Cuenca, Ecuador. The main results indicate that (i) rain events with high intensities are concentrated between 12:30 – 20:00 h (Local Time), during which 77% of the total rainfall occurs; (ii) the bright band has a thickness between 200 and 400 m, and its top (melting layer) is located between 4500 and 4900 m above sea level; (iii) rainfall shows a high variability in the water column: during the convective stage reflectivity values can increase up to 94% from the fusion layer to the ground. The results show the complexity of rainfall events in the Andean region and the need to consider these aspects into CM and QPE to improve their accuracy.

**Keywords:** Extreme events, melting layer, diurnal rainfall cycle, vertical structure of rain, tropical Andes.

---

Forma sugerida de citar: Chinín-Cabrera, J. y Céleri, R. (2025). Características de lluvia y eventos extremos en los Andes Tropicales usando un radar de lluvia de apuntamiento vertical. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):72-85. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.04>.

---

IDs Orcid:

Javier Chinín-Cabrera: <https://orcid.org/0000-0003-3412-5576>

Rolando Céleri: <https://orcid.org/0000-0002-7683-3768>

## 1 Introducción

Los eventos extremos de lluvia representan un reto para la sociedad debido a las consecuencias que pueden causar, como inundaciones repentinas, daños en cultivos, erosión, deslizamientos de suelo o contaminación de agua (Barlow et al., 2019; Mukherjee et al., 2018). Esto hace indispensable su entendimiento, caracterización y adecuada estimación para poder mitigar dichos efectos. Sin embargo, en los Andes el estudio detallado de estos eventos y los procesos que gobiernan la lluvia se ha visto condicionado debido al escaso y mal distribuido monitoreo que existe (Perry et al., 2017; Seidel et al., 2019) y a que sus propiedades varían en escalas temporales menores a las de la información y modelos climáticos disponibles (Boucher et al., 2013; Seidel et al., 2019; Ward et al., 2011).

Este problema se amplifica por la alta variabilidad espaciotemporal de sus procesos, ocasionada por la complejidad topográfica existente (Orellana-Alvear et al., 2017; Yarleque et al., 2016). Todo esto se ve reflejado especialmente en la limitada información y estudios disponibles en los Andes sobre la estructura vertical de la lluvia (EVL) a lo largo de la columna de agua, es decir, desde su origen en las nubes hasta llegar a tierra.

El estudio de la EVL tiene un alto impacto en diferentes aspectos. En primer lugar, permite comprender la microfísica que gobierna la formación y evolución de la lluvia (Durán-Alarcón et al., 2019; Urgilés et al., 2021); además, una característica como la bright band (BB) permite estimar la altura a la cual se origina la lluvia, ya que es usada como un indicador de la capa de fusión (Endries et al., 2018; Konwar et al., 2012; Sumesh et al., 2019). Por otra parte, en zonas montañosas, los productos de radares y satélites presentan deficiencias en su precisión (Chen et al., 2022; Orellana-Alvear et al., 2019; Satgé et al., 2019; Ward et al., 2011), ocasionadas por la diferencia en altitud entre el lugar donde se realiza la medición y la tierra.

Estas imprecisiones por lo general se corrigen directamente con información de pluviómetros en tierra, sin considerar la variación de las propiedades de la lluvia (por ejemplo, reflectividad) en la columna de agua (Das and Maitra, 2016; Kirstetter et al., 2013; Peters et al., 2005). Por lo que la EVL

proporciona información necesaria para mejorar, comparar y validar modelos climáticos y estimaciones obtenidas de radares y satélites (Durán-Alarcón et al., 2019).

Los radares terrestres de apuntamiento vertical conforman una alternativa adecuada para obtener información de la EVL (Durán-Alarcón et al., 2019; Luo et al., 2020; Urgilés et al., 2021). En los Andes Tropicales los estudios que han usado estos radares son limitados y pueden clasificarse en dos grupos: los que describen directamente la EVL y los que usan la EVL con otra finalidad. Dentro del primer grupo, los estudios se han centrado principalmente en la capa de fusión o BB. Perry et al. (2017) calcula la distribución de frecuencias de la altura de la capa de fusión para Cusco, Perú (agosto 2014– febrero 2015) y La Paz, Bolivia (octubre 2015– diciembre 2015), obteniendo que en ambos casos la mayoría de mediciones se encuentran entre 4400 y 5100 m sobre el nivel del mar (msnm). Endries et al. (2018) usa el mismo set de datos para Cusco y uno extendido para La Paz (octubre 2015– febrero 2017) para estudiar la altura de la BB según la hora del día, encontrando que, de forma consistente con la temperatura de la superficie, esta es mayor en la tarde y el inicio de la noche; además, que el fenómeno de El Niño en La Paz puede ser responsable de un incremento de esta altura en el periodo de 2015– 2016.

Finalmente, Kumar et al. (2020) en Huancayo, Perú (2015– 2018), reporta que la BB se encuentra mayormente entre 4000 a 5000 msnm, pero también determina por primera vez la variación vertical de propiedades de lluvia (reflectividad, intensidad, contenido de agua líquida y distribución de tamaño de gotas) para diferentes intensidades en la superficie, encontrando comportamientos interesantes especialmente para altas intensidades (20– 200 mm/h). El segundo grupo de estudios se ha centrado mayormente en clasificar la lluvia en estratiforme, convectiva o mixta involucrando la EVL, como lo hacen Seidel et al. (2019) y Urgilés et al. (2021). Además, Bendix et al. (2006) en Loja, Ecuador, muestra que la lluvia de carácter mixto es una característica importante de la precipitación de la zona y Schauwecker et al. (2017) con el mismo set de datos para Cusco de Perry et al. (2017), determina que cuando la temperatura de la superficie es menor a 15 °C la capa de fusión puede estimarse relativamente usando extrapolaciones con datos de

reanálisis.

Como se puede notar, la información de la EVL en los Andes Tropicales medida directamente con radares en tierra es bastante limitada y su descripción se encuentra concentrada en Perú y Bolivia; además que en ningún caso se ha usado la misma para estudiar la generación y dinámica de la lluvia para eventos extremos, pese a su importancia tanto en aspectos sociales como en modelos y estimaciones de lluvia. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es caracterizar la estructura vertical de la lluvia y eventos extremos en los Andes Tropicales, usando un micro radar de lluvia de apuntamiento vertical ubicado en Cuenca, Ecuador. Para esto, se plantea (i) caracterizar la distribución de los eventos de lluvia durante el día, especialmente los de al-

tas intensidades, a partir del estudio del ciclo diario de lluvia; (ii) caracterizar la *bright band* a partir de sus particularidades más importantes; (iii) caracterizar la columna de agua de los eventos de lluvia extrema y su evolución temporal.

## 2 Metodología

### 2.1 Área de estudio y equipamiento

El estudio se realizó con datos tomados en el Observatorio Meteorológico Balzay ( $2^{\circ}53'32''$  S,  $79^{\circ}02'10''$  W), el cual se ubica a 2600 msnm en los Andes de Ecuador en la ciudad de Cuenca (Figura 1). La zona tiene un régimen bimodal de precipitación con meses lluviosos en Marzo-Abril y Octubre-Noviembre (Campozano et al., 2016).

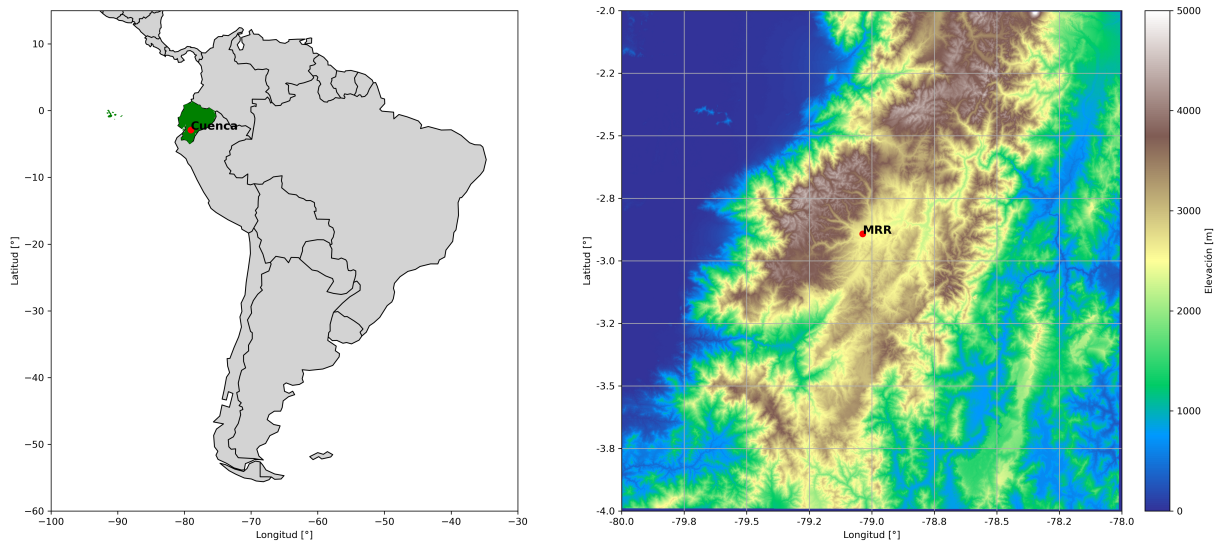


Figura 1. Zona de estudio en los Andes Ecuatorianos

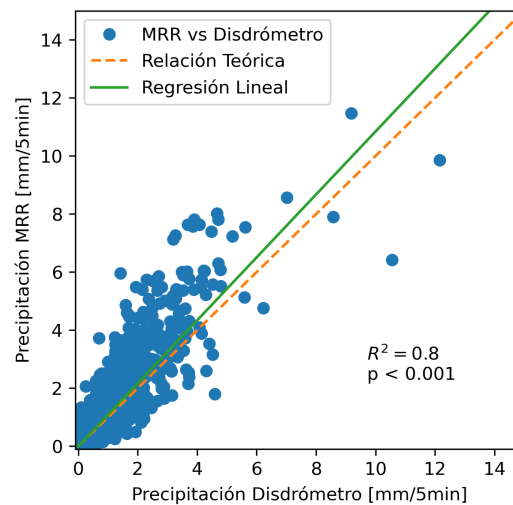
Los datos corresponden a un Micro Rain Radar (MRR), el cual es un radar compacto de antena parabólica y de apuntamiento vertical, con una frecuencia de 24 GHz, longitud de onda de 12,5 mm y modo de operación FM-CW (Löffler-Mang et al., 1999; METEK, 2009; Peters et al., 2002). Este usa el espectro Doppler de velocidad como principio de medición y deriva la distribución del tamaño de gotas mediante la relación analítica de su velocidad terminal y su diámetro, descrita en Atlas et al. (1973). Posteriormente, en base a dicha variable, este calcu-

la parámetros de lluvia como reflectividad, contenido de agua líquida, intensidad de lluvia y velocidad de caída de gotas; las relaciones pueden revisarse a detalle en METEK (2009) y Peters et al. (2005). En cada medición del radar la columna de agua se discretiza verticalmente en 31 partes iguales (bandas), y para cada una se obtienen las 5 variables mencionadas; a esta medición se las denominará perfil vertical (PV).

## 2.2 Datos y preprocesamiento

Se utilizaron 5 años de mediciones del MRR en el periodo de febrero 2017 a enero de 2022. Las observaciones del MRR contaron con una resolución temporal y altitudinal (espesor de bandas) de 1 minuto y 100 m, respectivamente. El MRR mide la precipitación hasta una altura de 3100 m sobre el nivel del terreno (es decir, desde 2600 hasta 5700 msnm). Las variables usadas corresponden a la reflectividad e intensidad de lluvia. Para rellenar vacíos y eliminar datos atípicos para la intensidad de lluvia medida

en la banda más baja se utilizaron mediciones de un disdrómetro laser (Thies Clima Laser), ubicado en el mismo observatorio meteorológico. El porcentaje de mediciones faltantes para esta variable se redujo de 15,7% a 6,0%. Para esto, se realizó una correlación lineal entre la lluvia acumulada cada 5 minutos para ambos dispositivos (Figura 2). Pese a que el MRR mide la intensidad promedio en una banda de 100 m desde la superficie, su variabilidad puede ser explicada en un 80% por el disdrómetro, como lo indica el coeficiente de determinación ( $R^2$ ); además, el valor-p es menor que 0,001.



**Figura 2.** Correlación de lluvia acumulada cada 5 minutos entre mediciones del disdrómetro y el MRR en su primera banda sobre el nivel del terreno (0-100 msnm)

Por otra parte, para los PV no se realizó un llenado de vacíos, pero se aplicó un control de calidad eliminando mediciones incompletas (PV que tengan una o más bandas sin medir). Además, se excluyeron de todos los análisis las dos bandas más altas de los PV, ya que comúnmente presentan valores atípicos debido a interferencias electromagnéticas.

## 2.3 Cálculo del ciclo diario de lluvia

Las características del ciclo diario de lluvia se estudiaron para intervalos de 30 minutos mediante los valores de la cantidad de precipitación promedio (PA), frecuencia de precipitación (PF), intensidad promedio de precipitación (PI) y cantidad de

precipitación promedio acumulada (PAQ). En base a consideraciones de Zhou et al. (2008) y Zhang et al. (2017), para cada intervalo de 30 minutos durante los 5 años de estudio, PA se calculó como la división entre la precipitación acumulada y el número de mediciones válidas; PF como la relación entre el número de mediciones lluviosas y el número de mediciones válidas; y PI como la relación entre la precipitación acumulada y el número de mediciones lluviosas. Además, PAQ es calculada como el porcentaje acumulado del total de lluvia hasta cada intervalo. Para este estudio, se consideró como válida una medición de 30 minutos cuando se dispone del 90% o más de minutos medidos en dicho intervalo, y como lluviosa cuando se registra un mínimo de 0,1 mm de precipitación.

## 2.4 Caracterización de la bright band

Se caracterizó el comportamiento de la BB, tanto de su espesor ( $BB_{th}$ ) como de la altura de su parte superior (capa de fusión;  $H_T$ ), y se calculó cómo estas 2 características variaron durante el periodo de estudio. Para detectar la existencia de la BB durante un evento se implementó el algoritmo planteado por Cha et al. (2009), que se basa en estudios previos de Klaassen (1988) y Fabry and Zawadzki (1995) pero incluye un nuevo concepto denominado *bright band sharpness*. Este algoritmo se fundamenta en el uso del PV de reflectividad y la variación de su gradiente.

Cuando se detecta la existencia de la BB en una medición,  $H_T$  se define como la altitud con el mayor gradiente negativo, y de forma similar la parte inferior ( $H_B$ ) como la altitud con el mayor gradiente positivo;  $BB_{th}$  se calcula como la diferencia entre  $H_T$  y  $H_B$ . Adicionalmente, el algoritmo requiere la reflectividad máxima ( $Z_{peak}$ ) del PV; para su obtención se excluyeron los primeros 500 m desde el suelo, ya que se verificó que en algunas ocasiones  $Z_{peak}$  se desarrollaba en dichas alturas (esto se debe principalmente a que en diferentes eventos se presentan procesos de coalescencia y agregación en estas alturas, por lo que la reflectividad puede aumentar significativamente, siendo mayor que en la BB) y esto conllevaba a descartar erróneamente un PV donde existe una BB.

## 2.5 Variabilidad vertical de la lluvia

Mediante inspección visual se comparó la evolución del PV de reflectividad de todos los eventos en los que en la primera banda se registraron intensidades superiores a 100 mm/h en un minuto. Este límite permite obtener aproximadamente el 10,0% de eventos con intensidades por minuto más altas registradas en todo el intervalo de estudio, por lo que se catalogan como eventos extremos de lluvia. De estos, se seleccionó un evento de lluvia de alta intensidad representativo y se estudiaron detenidamente las características del perfil vertical promedio de reflectividad (PVPR) para sus diferentes etapas de desarrollo.

Para cada etapa, el PVPR se calculó como el valor promedio de reflectividad de cada banda de los PV, como muestran Das and Maitra (2016) y Peters et al. (2005). Las etapas de desarrollo se clasificaron

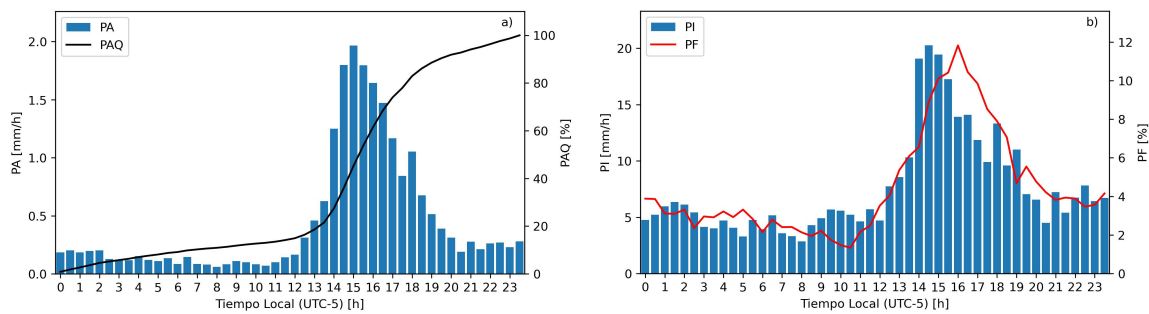
como convectiva, estratiforme con BB, y estratiforme sin BB. Para identificar las etapas convectivas y estratiformes, se usaron los perfiles verticales de velocidad y un sistema de reglas difusas como se describe en Seidel et al. (2019); las mediciones que con esta metodología no son posibles de clasificar se denominan como "Sin Clase". Además, para la subclasificación de la etapa estratiforme, la detección de la BB se realizó en base al algoritmo descrito en la sección 2.4.

## 3 Resultados

### 3.1 Ciclo diario de lluvia

La Figura 3 muestra las curvas de cantidad de precipitación (PA), frecuencia de precipitación (PF), intensidad de precipitación (PI) y cantidad de precipitación acumulada (PAQ) del ciclo diario de lluvia. PA y PI evidencian claramente el patrón de lluvia de la zona, con un comportamiento unimodal donde sus picos más altos se concentran alrededor de las 15:00 h Tiempo Local (TL; UTC-5). PA muestra que la cantidad de lluvia acumulada por cada intervalo crece significativamente a partir de las 12:30 h TL y se estabiliza alrededor de las 20:00 h TL, manteniéndose relativamente baja durante el resto del día. Además, en este intervalo de 7,5 h se precipitó el 77% del total de lluvia, como señala PAQ. De igual forma, PI indica que entre las 14:00– 14:30 h TL se registran las intensidades promedio máximas con valores cercanos a 4 mm/h.

Si bien esta intensidad puede considerarse baja, se debe notar que es el promedio de todos los eventos medidos en el intervalo. La magnitud de los eventos que se desarrollan en este intervalo, y los adyacentes, se puede evidenciar contrastando PF y PA, ya que PF es aproximadamente el triple que en horas de la noche o de la mañana, pero las cantidades de lluvia acumulada pueden llegar a ser hasta 20 veces más. Esto indica que en estas horas ocurren eventos de altas intensidades que contribuyen con gran parte de la precipitación total.



**Figura 3.** Ciclo diario de lluvia para el periodo 01/02/2017 - 31/01/2022. a) Cantidad de precipitación (PA) y cantidad de precipitación acumulada (PAQ); b) Frecuencia de precipitación (PF) e intensidad de precipitación (PI)

### 3.2 Caracterización de la *bright band*

La Figura 4 presenta la caracterización de la BB en términos de a) Ciclo diario, b) Variación y frecuencia de la altura de su parte superior ( $H_T$ ) y c) Variación y frecuencia de su espesor ( $BB_{th}$ ). Se encontró que la mínima ocurrencia de la BB ocurre entre las 9:00 y las 12:00 h TL. A partir de allí, esta aumenta hasta alcanzar su pico máximo a las 18:00 h TL, donde inicia un periodo de decaimiento hasta repetirse el ciclo (Figura 4a).

Por otra parte,  $H_T$  y  $BB_{th}$  muestran un comportamiento relativamente estable con variaciones centradas en valores típicos. En el caso de  $H_T$  (Figura 4b), en el 94,5% de ocasiones se encuentra a una altura entre 4500 a 4900 msnm. Mientras que  $BB_{th}$  (Figura 4c) varía entre 200 a 400 m en el 93,4% de veces. Estas características indican la altura de la capa de fusión (donde se origina la lluvia) y la distancia que toma completar el proceso de fusión de hielo o nieve para originar lluvia en la zona. Adicionalmente, el rango de variación de  $H_T$  es concordante con estudios previos en los Andes de Bolivia y Perú (Endries et al., 2018; Kumar et al., 2020; Perry et al., 2017) señalando estabilidad de esta altura. Las mayores diferencias se presentan respecto al sur de Perú donde se registran alturas mayores en el verano austral y que según Schauwecker et al. (2017) podrían ser ocasionados por el sistema Boliviano de alta presión.

### 3.3 Variabilidad vertical de la lluvia en eventos extremos

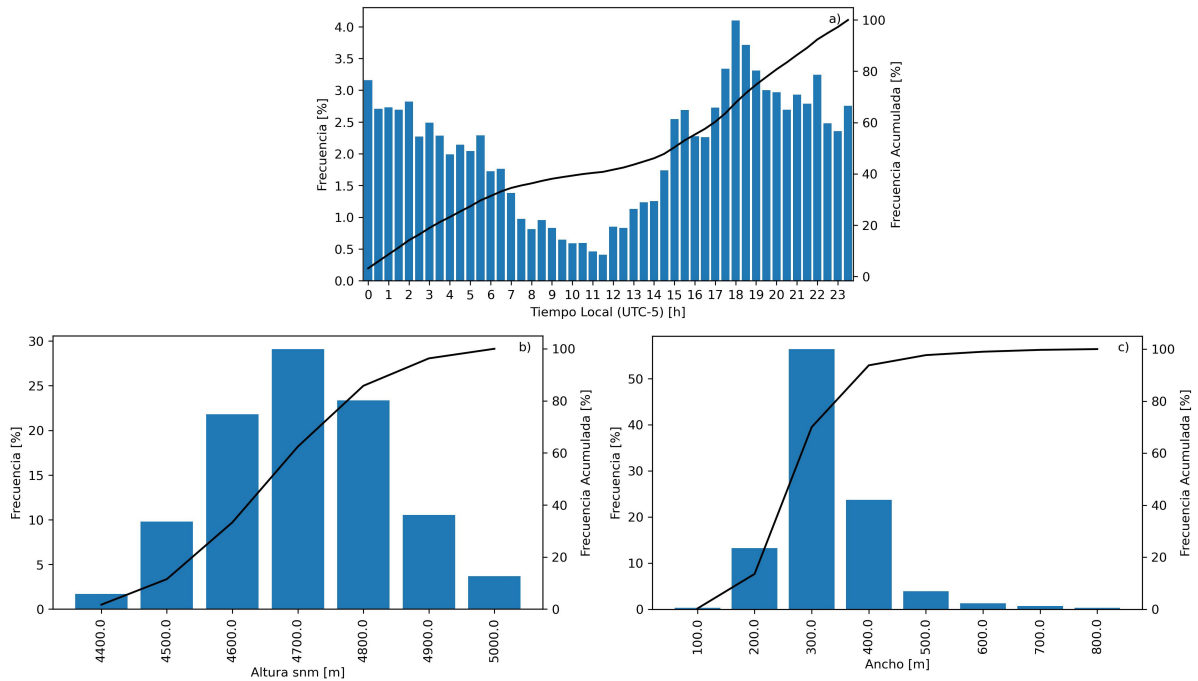
Durante todo el periodo de estudio existieron 30 eventos de alta intensidad de lluvia en los que a

nivel superficial se registraron intensidades superiores a 100 mm/h en un minuto. Todos estos presentan etapas convectivas en su evolución y el 90% lo hace en los primeros minutos de la tormenta, alcanzando rápidamente altas reflectividades de alrededor de 40 dBZ. Además, el 50% de los eventos presenta un comportamiento exclusivamente convectivo, mientras que el resto tiene una combinación con etapas estratiformes. De este último grupo, el 80% presenta etapas estratiformes con BB y se desarrollan comúnmente al final de la tormenta.

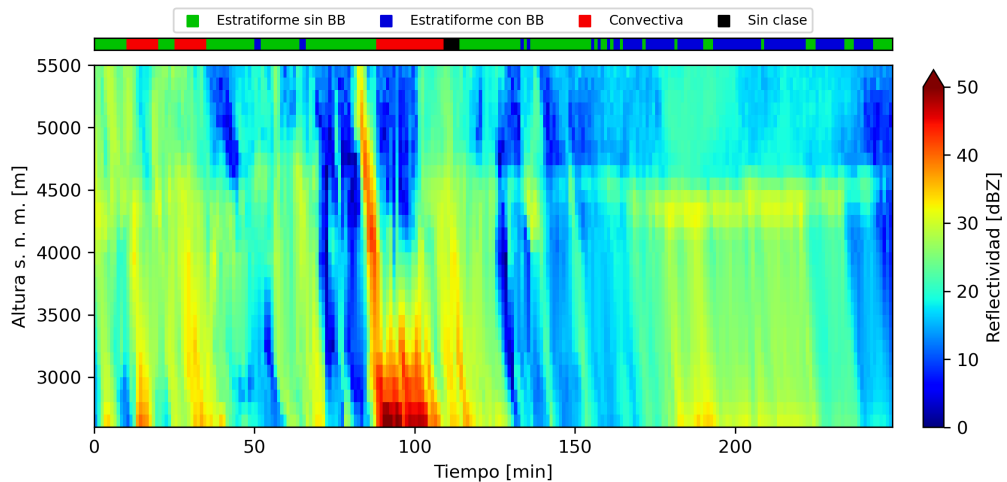
El 28 de diciembre de 2017 ocurrió un evento que engloba varias de las características mencionadas y por ello se seleccionó como caso de estudio. La Figura 5 muestra la evolución en el tiempo de su perfil de reflectividad y la barra de colores superior señala los momentos en los que se registraron las etapas convectivas, estratiformes con BB y estratiformes sin BB. Seidel et al. (2019) usó este mismo evento para ilustrar los resultados de la metodología mencionada en la sección 2.5 para clasificar tormentas en sus etapas convectivas o estratiformes, por lo que el análisis realizado en este estudio también complementa el mismo.

Los perfiles verticales promedio de reflectividad (PVPR) para las etapas del caso de estudio se muestran en la Figura 6. El PVPR de la etapa convectiva presenta diferencias significativas con los de las estratiformes, ya que por debajo de los 4700 msnm tiene un gradiente negativo mucho mayor. Esto genera un aumento considerable de la reflectividad desde la capa de fusión hasta la superficie (93,7%) y se debe esencialmente a que los vientos verticales,

característicos de eventos convectivos, favorecen a un rápido crecimiento de gotas, dominando así la coalescencia y agregación por sobre otros procesos (Luo et al., 2020; Ramadhan et al., 2020; Rosenfeld and Ulbrich, 2003; Wen et al., 2017).



**Figura 4.** Características de la bright band en el periodo 01/02/2017 - 31/01/2022. a) Ciclo diario; b) Variación y frecuencia de la altura de su parte superior ( $H_T$ ); c) Variación y frecuencia de su espesor ( $BB_{th}$ ).

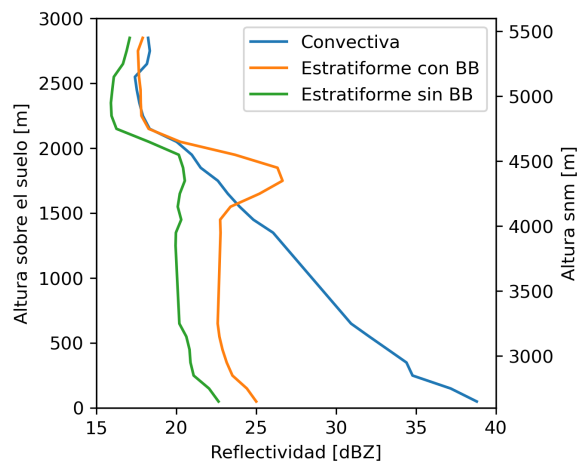


**Figura 5.** Perfil vertical de reflectividad y etapas de desarrollo del evento registrado el 28 de diciembre de 2017 entre las 14:50 y 19:10 h TL.

En el caso de los PVPR de las etapas estratiformes, estos tienen un incremento de reflectividad considerable entre los 4700 y 4200 msnm que indican que la lluvia es originada por fusión (Massmann et al., 2017), pero muestran un comportamiento diferente luego de alcanzar la reflectividad máxima en este rango, sugiriendo que en la etapa sin BB existe un rápido crecimiento de gotas que mantiene la reflectividad cercana a este valor. Además, por debajo de los 4200 msnm los PVPR de estas etapas tienen un comportamiento semejante, manteniendo valores relativamente constantes hasta aproximarse a la superficie donde se presenta un gradiente negativo. Este comportamiento estable se debe a que tanto los procesos de coalescencia, rom-

pimiento de gotas y evaporación se mantienen en equilibrio; mientras que el incremento de reflectividad en alturas próximas a la superficie se explica por el dominio de procesos de coalescencia y agregación (Luo et al., 2020; Ramadhan et al., 2020; Wen et al., 2017).

Por otra parte, sobre los 4700 msnm todos los PVPR presentan un comportamiento relativamente similar y constante. Esto probablemente ocurre porque en este rango el agua se encuentra en estado sólido, ya que, como se describe en la sección 3.2, en esta altura se encuentra generalmente la capa de fusión.



**Figura 6.** Perfiles verticales promedio de reflectividad (PVPR), para etapas de la tormenta registrada el 28 de diciembre de 2017 entre 14:50 y 19:10 h TL

## 4 Discusión

### 4.1 Variabilidad intradiaria de las características de la lluvia

El ciclo diario de lluvia coincide con los resultados previos mostrados en Yang and Smith (2006) donde se determinó que en la parte continental de los trópicos los máximos se concentran alrededor de la media tarde. El comportamiento unimodal del ciclo diario muestra la alta influencia de los eventos convectivos de la tarde que son ocasionados principalmente por el calentamiento de la superficie (Bendix et al., 2006; Perry et al., 2014). De hecho, los 30 eventos extremos identificados en el periodo de estudio

ocurrieron entre las 12:30 y 20:00 h TL. Esto coincide con Hernandez-Deckers (2022), quien mostró que en el noroeste de América del Sur (incluyendo parte de Ecuador) el ciclo diario de eventos convectivos sigue un patrón con alta semejanza a PA.

Cabe recalcar que en las estribaciones orientales andinas de Colombia, Perú y el sur de Ecuador también se reportan comportamientos diferentes, especialmente bimodales con picos en la madrugada y tarde-noche, que se atribuyen generalmente a inestabilidades de meso-escala (Bendix et al., 2006; Endries et al., 2018; Kumar et al., 2020, 2019; Poveda et al., 2005; Seidel et al., 2019).

Por otra parte, los eventos de bajas intensidades como estratiformes con o sin BB tienen también una alta importancia en el ciclo diario de lluvia, ya que como Seidel et al. (2019) revela, el 91,9% de mediciones de lluvia en la zona son de carácter estratiforme y de éste el 37,2% tiene BB, y su ciclo diario (Figura 4a) refleja que estos mantienen una ocurrencia persistente a lo largo del día, exceptuando las mañanas. Esta alta frecuencia y persistencia se evidencia en el ciclo diario principalmente fuera del intervalo de 12:30 – 20:00 h TL donde se mantienen cantidades y frecuencias de lluvia relativamente bajas y estables.

## 4.2 Variabilidad vertical de la reflectividad y su influencia en estimaciones de lluvia

Si bien en esta investigación la variabilidad vertical de la reflectividad reportada en detalle mediante PVPR se encuentra limitada al caso de estudio, sirve para mostrar la importancia de considerar todas las etapas de evolución de los eventos para estos análisis. Estudios como los de Das and Maitra (2016), Kumar et al. (2020) y Peters et al. (2005) analizan los PVPR de PV agrupados según la intensidad de lluvia en la superficie; dicho enfoque podría implicar la pérdida de información para modelos en eventos estratiformes con BB. Esto debido a que se promedian perfiles con y sin BB, por lo que el pico de reflectividad (Figura 6) podría perderse y es justamente esta característica la que puede generar sobreestimaciones en la superficie, como se discutirá más adelante.

Por otra parte, se presume que agrupar los PV según las etapas de evolución del evento, como se hizo en este estudio, también puede incurrir en la omisión de información para intensidades bajas donde existe mayor posibilidad de evaporación y por ende de un gradiente positivo en el PV de reflectividad, como se muestra en Das and Maitra (2016) y Kumar et al. (2020) para intensidades entre 0,02 y 2 mm/h. Este tipo de gradiente no ocurrió en los resultados de la presente investigación, y se cree que podría deberse ya sea a las condiciones específicas del evento o al hecho de promediar PV con gradientes opuestos.

En este contexto, hemos constatado que la reflectividad tiene una alta variabilidad en la columna de agua, así como a lo largo (en las diferentes etapas)

de los eventos de lluvia. Esto muestra la necesidad de tomar diferentes consideraciones en la zona para la estimación de lluvia usando radares en tierra o satélites, ya que pueden ocurrir posibles errores dependiendo de la altura a la cual se obtengan las mediciones. Una subestimación de lluvia podría generarse debido a 1) Mediciones sobre la capa de fusión en cualquier etapa de los eventos, como se ve en el caso de estudio sobre los 4700 msnm en donde todas las reflectividades son menores que las de la superficie, siendo 122,8% la mayor diferencia; y 2) Altos gradientes negativos en etapas convectivas, en el caso de estudio por debajo de la capa de fusión, el cual ocasionó un incremento de 93,7% en la reflectividad hasta llegar a la superficie. Por otra parte, sobreestimaciones pueden ocurrir con mediciones para etapas estratiformes en la altura de la BB debido al pico de reflectividad que se genera en la misma y que no representa las condiciones en tierra; además, en caso de existir evaporación cerca de la superficie, esta sobreestimación puede incrementarse debido a que la reflectividad disminuiría y la diferencia con la BB sería mucho mayor a la que se muestra en la Figura 6 para el caso de estudio.

Para evitar estos errores, lo ideal sería poder clasificar el evento en convectivo o estratiforme con BB o sin BB – para posteriormente estimar la lluvia usando relaciones Z–R calibradas para estos tipos, que incluyan su evolución vertical y su zona correspondiente; sin embargo, esto podría estar limitado por la necesidad de una red de instrumentación que permita realizar esta clasificación en diferentes puntos. Esto resalta la importancia del uso de nuevos métodos para estimar la lluvia basada en mediciones con radares en tierra, como el mostrado en Orellana-Alvear et al. (2019), donde se mejora la precisión del radar CAXX usando estimaciones provenientes de *random forest*, un algoritmo de aprendizaje supervisado. Estos modelos podrían estar considerando indirectamente las diferencias según los tipos de lluvia.

En base a lo descrito, se recomienda futuras investigaciones donde se comparen los enfoques mencionados para agrupar los PV, tanto por intensidades como por tipos de lluvia. Esto permitirá determinar la mejor manera de agrupar los mismos para caracterizar su evolución vertical con la menor cantidad de información perdida. Lo que será importante también para poder mejorar las estimacio-

nes de lluvia tanto con métodos tradicionales como con alternativos, ya que para las agrupaciones de PV más eficientes se podría obtener relaciones Z-R calibradas y de igual forma modelos de inteligencia artificial, de ser factible, para cada agrupación.

## 5 Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la estructura vertical de la lluvia y eventos extremos en uno de los pocos sitios de los Andes equipados con radares de apuntamiento vertical en tierra. Para esto, se determinó el ciclo diario de lluvia, se caracterizó la *bright band*, se estudiaron características en común en la columna de agua de eventos de alta intensidad y los perfiles verticales promedio de reflectividad de un evento característico. En base a esto, se puede concluir lo siguiente:

Los eventos de altas intensidades ocurren durante la tarde y son los responsables de dar la forma al ciclo diario de lluvia, el cual tiene una forma unimodal, con el pico a las 15:00. El 77% del total de lluvia se registra entre las 12:00 y 20:00 h.

La BB presenta un comportamiento y características bastante constantes durante el periodo de estudio, ya que (i) en el 94,5% de ocasiones su parte superior (capa de fusión) se ubica entre 4500 y 4900 m snm; (ii) el 93,4% del tiempo tiene un espesor de 200 a 400 m; y (iii) su ciclo diario muestra que únicamente en las mañanas existe un decremento significativo en su ocurrencia.

Los eventos de lluvia de altas intensidades son principalmente repentinos, ya que el 90% de los eventos estudiados tuvo un incremento brusco de su reflectividad inmediatamente luego de iniciar la tormenta. Además, la mitad de los eventos intensos fueron combinados, del tipo convectivos-estratiformes.

La reflectividad tiene una alta variabilidad en la columna de agua durante los eventos de lluvia de alta intensidad. Durante la etapa convectiva, los valores de reflectividad pueden aumentar hasta en un 94% desde la capa de fusión hasta la superficie.

## Agradecimientos

Este estudio formó parte del proyecto SDG<sup>nexus</sup> Network (número de subsidio 57526248), financiada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) con fondos del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (Federal Ministry for Economic Cooperation, BMZ), programa “exceed - Hochschulexzellenz in der Entwicklungszusammenarbeit”. La Universidad de Cuenca cofinanció esta investigación a través del Vicerrectorado de Investigación.

## Contribución de los autores

J.C.C.: Curación de datos, análisis formal, investigación, software, Escritura- borrador original; R.C.: Conceptualización, adquisición de financiación, metodología, supervisión, validación, Escritura- revisión y edición.

## Referencias

- Atlas, D., Srivastava, R., and Sekhon, R. (1973). Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. *Reviews of Geophysics*, 11(1):1-35. Online: <https://n9.cl/8t5da7>.
- Barlow, M., Gutowski, W., Gyakum, J., Katz, R., Lim, Y., Schumacher, R., Wehner, M., Agel, L., Bosilovich, M., Collow, A., Gershunov, A., Grotjahn, R., Leung, R., Milrad, S., and Min, S. (2019). North american extreme precipitation events and related large-scale meteorological patterns: a review of statistical methods, dynamics, modeling, and trends. *Climate Dynamics*, 53:6835-6875. Online: <https://n9.cl/jovyd>.
- Bendix, J., Rollenbeck, R., and Reudenbach, C. (2006). Diurnal patterns of rainfall in a tropical andean valley of southern ecuador as seen by a vertically pointing k-band doppler radar. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(6):829-846. Online: <https://n9.cl/57h73>.
- Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P., Kerminen, V., Kondo, Y., Liao, H., and Lohmann, U. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the*

- intergovernmental panel on climate change, chapter Clouds and aerosols, pages 571–657. Cambridge University Press.
- Campozano, L., Céleri, R., Trachte, K., Bendix, J., and Samaniego, E. (2016). Rainfall and cloud dynamics in the andes: A southern ecuador case study. *Advances in Meteorology*, 2016(1):3192765. Online:https://n9.cl/6c711.
- Cha, J. W., Chang, K. H., Yum, S., and Choi, Y. J. (2009). Comparison of the bright band characteristics measured by micro rain radar (mrr) at a mountain and a coastal site in south korea. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26:211–221. Online:https://n9.cl/4214z.
- Chen, M., Huang, Y., Li, Z., Larico, A., Xue, M., Hong, Y., Hu, X., Novoa, H., Martin, E., McPherson, R., Zhang, J., Gao, S., Wen, Y., Perez, A., and Morales, I. (2022). Cross-examining precipitation products by rain gauge, remote sensing, and wrf simulations over a south american region across the pacific coast and andes. *Atmosphere*, 13(10):1666. Online:https://n9.cl/xfegq.
- Das, S. and Maitra, A. (2016). Vertical profile of rain: Ka band radar observations at tropical locations. *Journal of Hydrology*, 534:31–41. Online:https://n9.cl/ldgsx.
- Durán-Alarcón, C., Boudevillain, B. and Genthon, C., Grazioli, J., Souverijns, N., van Lipzig, N., Gorodetskaya, I., and Berne, A. (2019). The vertical structure of precipitation at two stations in east antarctica derived from micro rain radars. *The Cryosphere*, 13(1):247–264. Online:https://n9.cl/5c4zcy.
- Endries, J., Perry, L., Yuter, S., Seimon, A., Andrade-Flores, M., Winkelmann, R., Quispe, N., Rado, M., Montoya, N., and Velarde, F. (2018). Radar-observed characteristics of precipitation in the tropical high andes of southern peru and bolivia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(7):1441–1458. Online:https://n9.cl/69im8.
- Fabry, F. and Zawadzki, I. (1995). Long-term radar observations of the melting layer of precipitation and their interpretation. *Journal of the atmospheric sciences*, 52(7):838–851. Online:https://n9.cl/la1qq.
- Hernandez-Deckers, D. (2022). Features of atmospheric deep convection in northwestern south america obtained from infrared satellite data. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148(742):338–350. Online:https://n9.cl/ehh79.
- Kirstetter, P., Andrieu, H., Boudevillain, B., and Delrieu, G. (2013). A physically based identification of vertical profiles of reflectivity from volume scan radar data. *Journal of applied meteorology and climatology*, 52(7):1645–1663. Online:https://n9.cl/w6d92h.
- Klaassen, W. (1988). Radar observations and simulation of the melting layer of precipitation. *Journal of Atmospheric Sciences*, 45(24):3741–3753. Online:https://n9.cl/p5x3q.
- Konwar, M., Maheskumar, R., Das, S., and Morwal, S. (2012). Nature of light rain during presence and absence of bright band. *Journal of earth system science*, 121:947–961. Online:https://n9.cl/38t3f.
- Kumar, S., Castillo-Velarde, C., Valdivia Prado, J., Flores Rojas, J., Callañaupa Gutierrez, S., Moya Alvarez, A., Martine-Castro, D., and Silva, Y. (2020). Rainfall characteristics in the mantaro basin over tropical andes from a vertically pointed profile rain radar and in-situ field campaign. *Atmosphere*, 11(3):248. Online:https://n9.cl/cqkjhd.
- Kumar, S., Vidal, Y., Moya-Álvarez, A., and Martínez-Castro, D. (2019). Effect of the surface wind flow and topography on precipitating cloud systems over the andes and associated amazon basin: Gpm observations. *Atmospheric Research*, 225:193–208. Online:https://n9.cl/dpba8.
- Löffler-Mang, M., Kunz, M., and Schmid, W. (1999). On the performance of a low-cost k-band doppler radar for quantitative rain measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(3):379–387. Online:https://n9.cl/gq699.
- Luo, L., Xiao, H., Yang, H., Chen, H., Guo, J., Sun, Y., and Feng, L. (2020). Raindrop size distribution and microphysical characteristics of a great rainstorm in 2016 in beijing, china. *Atmospheric Research*, 239:104895. Online:https://n9.cl/991oo.
- Massmann, A., Minder, J., Garreaud, R., Kingsmill, D., Valenzuela, R. and Montecinos, A., and Fults,

- S. and Snider, J. (2017). The Chilean coastal orographic precipitation experiment: Observing the influence of microphysical rain regimes on coastal orographic precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 18(10):2723–2743. Online: <https://n9.cl/6yykb4>.
- METEK (2009). *MRR Physical Basics, Valid for MRR Service Version 5.2.0.1*.
- Mukherjee, S., Aadhar, S., Stone, D., and Mishra, V. (2018). Increase in extreme precipitation events under anthropogenic warming in India. *Weather and climate extremes*, 20:45–53. Online: <https://n9.cl/ilr75>.
- Orellana-Alvear, J., Célleri, R., Rollenbeck, R., and Bendix, J. (2017). Analysis of rain types and their z-r relationships at different locations in the high Andes of southern Ecuador. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56(11):3065–3080. Online: <https://n9.cl/aujfbd>.
- Orellana-Alvear, J., Célleri, R., Rollenbeck, R., and Bendix, J. (2019). Optimization of x-band radar rainfall retrieval in the southern Andes of Ecuador using a random forest model. *Remote Sensing*, 11(14):1632. Online: <https://n9.cl/2jmom>.
- Perry, L., Seimon, A., Andrade-Flores, M., Endries, J., Yuter, S., Velarde, F., Arias, S., Bonshoms, M., Burton, E., Winkelmann, I., Cooper, C., Mamani, G., Rado, M., Montoya, N., and Quispe, N. (2017). Characteristics of precipitating storms in glacierized tropical Andean cordilleras of Peru and Bolivia. *Annals of the American Association of Geographers*, 107(2):309–322. Online: <https://n9.cl/tmmwu>.
- Perry, L., Seimon, A., and Kelly, G. (2014). Precipitation delivery in the tropical high Andes of southern Peru: new findings and paleoclimatic implications. *International journal of Climatology*, 34(1):197–215. Online: <https://n9.cl/deq83>.
- Peters, G., Fischer, B., and Andersson, T. (2002). Rain observations with a vertically looking micro rain radar (mrr). *Boreal environment research*, 7(4):353–362. Online: <https://n9.cl/g4ihk>.
- Peters, G., Fischer, B., Münster, H., Clemens, M., and Wagner, A. (2005). Profiles of raindrop size distributions as retrieved by microrain radars. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 44(12):1930–1949. Online: <https://n9.cl/6lmqb>.
- Poveda, G., Mesa, O., Salazar, L., Arias, P., Moreno, H., Vieira, S., Agudelo, P., Toro, V., and Alvarez, J. (2005). The diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, 133(1):228–240. Online: <https://n9.cl/1rc7k>.
- Ramadhan, R., Marzuki, V., Vonnisa, M., Harmadi, Hashiguchi, H., and Shimomai, T. (2020). Diurnal variation in the vertical profile of the raindrop size distribution for stratiform rain as inferred from micro rain radar observations in Sumatra. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37:832–846. Online: <https://n9.cl/tyyg4m>.
- Rosenfeld, D. and Ulbrich, C. (2003). *Radar and Atmospheric Science: A Collection of Essays in Honor of David Atlas*, chapter Cloud microphysical properties, processes, and rainfall estimation opportunities, page 237–258. Cambridge University Press.
- Satgé, F., Ruelland, D., Bonnet, M., Molina, J., and Pillco, R. (2019). Consistency of satellite-based precipitation products in space and over time compared with gauge observations and snow-hydrological modelling in the Lake Titicaca region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(1):595–619. Online: <https://n9.cl/0iimn>.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Huggel, C., Endries, J., Montoya, N., Neukom, R., Perry, B., Salzmann, N., Schwarb, M., and Suarez, W. (2017). The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(10):5172–5189. Online: <https://n9.cl/nge5k>.
- Seidel, J., Trachte, K., Orellana-Alvear, J., Figueroa, R., Célleri, R., Bendix, J., Fernandez, C., and Huggel, C. (2019). Precipitation characteristics at two locations in the tropical Andes by means of vertically pointing micro-rain radar observations. *Remote Sensing*, 11(24):2985. Online: <https://n9.cl/rbmsh>.
- Sumesh, R., Resmi, E., Unnikrishnan, C., Jash, D., Sreekanth, T., Resmi, M., Rajeevan, K., Nita, S., and Ramachandran, K. (2019). Microphysical aspects of tropical rainfall during bright band events at mid and high-altitude regions over southern Western Ghats, India. *Atmospheric Research*, 227:178–19. Online: <https://n9.cl/xjsco>.

- Urgilés, G., Céleri, R., Trachte, K., Bendix, J., and Orellana-Alvear, J. (2021). Clustering of rainfall types using micro rain radar and laser disdrometer observations in the tropical andes. *Remote Sensing*, 13(5):991. Online:<https://n9.cl/wf0eoo>.
- Ward, E., Buytaert, W., Peaver, L., and Wheeler, H. (2011). Evaluation of precipitation products over complex mountainous terrain: A water resources perspective. *Advances in water resources*, 34(10):1222–1231. Online:<https://n9.cl/yb56c>.
- Wen, G., Xiao, H., Yang, H., Bi, Y., and Xu, W. (2017). Characteristics of summer and winter precipitation over northern china. *Atmospheric Research*, 197:390–406. Online:<https://n9.cl/6mesf>.
- Yang, S. and Smith, E. (2006). Mechanisms for diurnal variability of global tropical rainfall observed from trmm. *Journal of climate*, 19(20):5190–5226. Online:<https://n9.cl/r7p5o>.
- Yarleque, C., Vuille, M., Hardy, D., Posadas, A., and Quiroz, R. (2016). Multiscale assessment of spatial precipitation variability over complex mountain terrain using a high-resolution spatiotemporal wavelet reconstruction method. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(20):12–198. Online:<https://n9.cl/atmk4>.
- Zhang, W., Huang, A., Zhou, Y., Yang, B., Fang, D., Zhang, L., and Wu, Y. (2017). Diurnal cycle of precipitation over fujian province during the pre-summer rainy season in southern china. *Theoretical and Applied Climatology*, 130:993–1006. Online:<https://n9.cl/0tzid4>.
- Zhou, T., Yu, R., Chen, H., Dai, A., and Pan, Y. (2008). Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over china: A comparison of satellite data with rain gauge observations. *Journal of Climate*, 21(16):3997–4010. Online:<https://n9.cl/i6xgz>.



# VALORACIÓN CONTINGENTE DICOTÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO EN UNA MICROCUENCA ANDINA DEL ECUADOR

## DICHOTOMOUS CONTINGENT VALUATION OF THE WATER ECOSYSTEM SERVICE IN AN ANDEAN MICRO-WATERSHED IN ECUADOR

Edison Fernando Campos Collaguazo\* y Luis Alberto Jimenez Díaz

Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

\*Autor para correspondencia: edicampos84@gmail.com

Manuscrito recibido el 24 de febrero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 18 de julio de 2023. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

El páramo es un ecosistema amenazado pues el avance indiscriminado de la frontera agrícola está produciendo la pérdida de servicios ecosistémicos, especialmente del servicio hídrico. Esta investigación estimó la disposición a pagar (DAP) de los usuarios de agua del Municipio de Riobamba, por la conservación del servicio hídrico de la Microcuenca del Río Chimborazo (MCRCH). Se aplicaron 406 encuestas, mediante el método de valoración contingente dicotómico de doble límite, usando un modelo de máxima verosimilitud en el software Stata. Se desarrollaron cuatro modelos de simple límite, de simple límite con otras variables explicativas, de doble límite y de doble límite con otras variables explicativas, siendo este último estadísticamente más significativo. Como resultado se determinó que la DAP es de USD 0,84 mensuales para conservar el servicio hídrico de la MCRCH, valor que se incrementa si se incluye la variable vivienda propia en USD 0,04 y al reconocer el problema del cambio climático en USD 0,24, mientras que la variable nivel de educación disminuye la DAP en USD 0,04.

**Palabras clave:** Valoración contingente, Modelo dicotómico, páramo, economía del agua.

### Abstract

The moorland or paramo is a threatened ecosystem. The indiscriminate advance of the agricultural frontier is producing the loss of ecosystem services, especially water service. This research estimated the willingness to pay (WTP) of the water users corresponding to the Municipality of Riobamba for the conservation of the water service in the Micro-basin of the Chimborazo River (MCRCH). Four hundred and six surveys were applied by means of the double limit dichotomous contingent valuation method, using a maximum likelihood model in the Stata software. Four models were developed: simple limit, simple limit with other explanatory variables, double limit, and double limit with other explanatory variables, the latter being statistically more significant. As a result, it was determined that the

WTP is USD 0.84 per month to conserve the water service of the MCRCH, value that increases if the home ownership variable is included in USD 0.04. The problem of climate change increases in USD 0.24, while the variable level of education decreases the WTP by USD 0.04.

**Keywords:** Contingent valuation, Dichotomous model, paramo or moorland, water Economy.

---

Forma sugerida de citar: Campos Collaguazo, E. y Jimenez, L. (2025). Valoración contingente dicotómica del servicio ecosistémico hídrico en una microcuenca andina del Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):86-99. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.05>.

---

IDs Orcid:

Edison Campos Collaguazo: <https://orcid.org/0000-0002-3285-9907>

Luis Jimenez: <https://orcid.org/0000-0002-6082-1893>

## 1 Introducción

El páramo en Ecuador tiene una importancia ecológica y económica (Hofstede et al., 2002) y millones de personas dependen directa o indirectamente de su conservación. Sin embargo, es uno de los ecosistemas más amenazados debido a la expansión de las zonas de cultivo, las malas prácticas pecuarias entre ellas las quemadas y el sobrepastoreo, la introducción de especies exóticas, la minería y la cacería. Estas actividades han transformado este frágil, pero rico paisaje continuo de arbustos y rosetas gigantes en un paisaje de pastizales pobres y destruido (Vuille et al., 2008).

La valoración económica es una herramienta que permite visualizar la importancia de un ecosistema. Esta traduce en unidades monetarias los cambios en el bienestar de las personas ante variaciones en la calidad o cantidad de los bienes y servicios ecosistémicos que percibe. De esta forma, la valoración económica permite cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios ecosistémicos, independientemente de si cuentan

o no con un precio o mercado (Ministerio del Ambiente, 2015).

La valoración económica ambiental tiene un sólido marco conceptual que está basado en dos secciones de la teoría económica: microeconomía y economía del bienestar. En el primer caso, se utiliza la teoría de las preferencias del consumidor. En el segundo, se derivan y comentan las medidas monetarias de bienestar; dado que, para medir el valor de los bienes y servicios ecosistémicos se requiere relacionarlos con la variación que ellos provocan en el bienestar de los individuos (Ministerio del Ambiente, 2015). Dicha valoración económica permite observar su contribución económica, así como determinar si la gente acepta tales inversiones y si está dispuesta a pagar por los beneficios obtenidos. Otro tipo de toma de decisión que ayuda a valorar económicamente el agua es la evaluación de alternativas no estructurales o de políticas (Perez, 2010). Se han realizado varios estudios sobre la valoración económica del agua a nivel mundial en los últimos años, y se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estudios de Valoración Económica del agua a nivel mundial de los últimos años

Continente	Estudio	Autor	DAP (USD)
América	Nacientes de agua bajo la dirección del municipio local de la urbe de Flagstaff.	Mueller (2014)	4,89
América	Aplicación de los métodos de costo de viaje y valoración contingente para determinar la disposición a pagar para la conservación del recurso hídrico del parque Nacional Cajas de la ciudad de Cuenca.	Armijos Espinosa and Segarra Ortega (2016)	1,04
América	Valoración contingente en áreas protegidas: Caso sector amazónico, Ecuador.	Córdova et al. (2019)	5,15
América	El valor económico del agua de la presa Solís, ubicada en Acámbaro, Guanajuato, México.	Trujillo and Perales (2020)	1
Asia	Aplicación del método de valoración contingente para un estudio de caso en la gobernación de Ramallah, Palestina, incluidos los campamentos urbanos, rurales y de refugiados.	Awad and Holländer (2010)	189,37

Asia	El método de valoración contingente mediante un modelo dicotómico de simple límite para medir la disposición a pagar media que busca reunir fondos para mejorar la calidad de agua del río Swat en Pakistán.	Shah (2013)	0,20
Asia	La disposición de los agricultores a pagar para mejorar la calidad del agua del río Aksu en la provincia de Kahramanmaras.	Ikıkat (2020)	8,03
África	La aplicación de un método dicotómico de simple límite en los hogares del distrito de Emuhaya situado en Kenia.	Emily et al. (2013)	1,10
África	Evaluación de la disposición de los hogares a pagar por una conexión de servicio de agua segura con flúor en la región del Valle del Rift de Etiopía.	Reta and Lee (2020)	6,84
África	Evaluación de la disposición de los hogares de los agricultores por un mejor uso del agua de riego en el Sur de Etiopía.	Aman et al. (2020)	13,92
África	Determinación de la disposición a pagar de los hogares por servicios mejorados de operación y mantenimiento en ocho sistemas de agua alimentados por gravedad en la isla de Idjwi perteneciente a la República Democrática del Congo.	Jimenez et al. (2021)	0,16
África	Uso del método de valoración contingente para evaluar la disposición a pagar de los consumidores para un mejor servicio continuo de suministro de agua municipal en Chitungwiza.	Zvobgo (2021)	40
África	Análisis de la disponibilidad a pagar y participar en actividades voluntarias para la restauración del río Sosiani en Eldoret, Kenia.	Wambui and Watanabe (2021)	1,54

Como se observa, existe información a nivel mundial sobre el método de valoración contingente (MVC), pero estos estudios son escasos en Ecuador, más aún en modelos dicotómicos de doble límite. Hanemann (1991) sugiere una alternativa para mejorar la eficiencia en la estimación de las valoraciones contingentes dicotómicas. Esta alternativa se conoce como el método de pregunta dicotómica con seguimiento (*o de doble límite o double-bounded*). En este caso después de la respuesta a la pregunta dicotómica de valoración contingente se hace una segunda pregunta. Es decir, si el individuo responde sí a la primera pregunta entonces se le pregunta una cantidad más alta. En caso de que responda

no a la primera se le ofrece una cantidad más baja. Lo anterior implica que la segunda pregunta es endógena, en el sentido de que depende de la respuesta que se obtenga de la primera pregunta (la cual es exógena). Con este método se obtienen dos respuestas para cada individuo, lo cual nos da más información, pero al mismo tiempo hace que el análisis econométrico sea un poco más complicado.

Dado que  $y_i^1$  y  $y_i^2$  representan las respuestas a la primera y segunda pregunta, la probabilidad de que el individuo responda Sí a la primera pregunta y No a la segunda se puede expresar como  $\Pr(y_i^1 = 1, y_i^2 = 0 | z_i) = \Pr(\text{Sí}, \text{No})$ , expresión simi-

lar para las 3 combinaciones restantes. Bajo los supuestos de que la función  $DAP_i(z_i, u_i) = z_i\beta + u_i$  y  $u_i \sim N(0, \sigma^2)$ , la posibilidad de que cada caso se presente está condicionada por:

- Caso 1:  $y_i^1 = 1, y_i^2 = 0$

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Sí}, \text{No}) &= \Pr(t^1 \leq DAP < t^2) \\ &= \Pr(t^1 \leq z_i'\beta + u_i < t^2) \\ &= \Pr\left(\frac{t^1 - z_i'\beta}{\sigma} \leq \frac{u_i}{\sigma} < \frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma} \leq \frac{u_i}{\sigma} < \frac{t^1 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

La última igualdad se obtiene haciendo uso de  $\Pr(a \leq X < b) = F(b) - F(a)$ , por lo tanto, usando la propiedad de simetría se obtiene:

$$\Pr(\text{Sí}, \text{No}) = \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^1}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right)$$

- Caso 2:  $y_i^1 = 1, y_i^2 = 1$

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Sí}, \text{Sí}) &= \Pr(DAP > t^1, DAP \geq t^2) \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i > t^1, z_i'\beta + u_i \geq t^2) \end{aligned}$$

Aplicando la regla de Bayes,  $\Pr(A, B) = \Pr(a | b) \times \Pr(B)$  se tiene que:

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Sí}, \text{Sí}) &= \Pr(z_i'\beta + u_i > t^1 | z_i'\beta + u_i \geq t^2) \times \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i \geq t^2) \end{aligned}$$

Ya que  $t^2 > t^1$  y por tanto  $\Pr(z_i'\beta + u_i > t^1 | z_i'\beta + u_i \geq t^2) = 1$  entonces:

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Sí}, \text{Sí}) &= \Pr(u_i \geq t^2 - z_i'\beta) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

Por simetría:

$$\Pr(\text{Sí}, \text{Sí}) = \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right)$$

- Caso 3:  $y_i^1 = 0, y_i^2 = 1$

$$\begin{aligned} \Pr(\text{No}, \text{Sí}) &= \Pr(t^2 \leq DAP < t^1) \\ &= \Pr(t^2 \leq z_i'\beta + u_i > t^1) \\ &= \Pr\left(\frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma} \leq \frac{u_i}{\sigma} < \frac{t^1 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{t^1 - z_i'\beta}{\sigma} - \Phi\frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

$$\Pr(\text{No}, \text{Sí}) = \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^1}{\sigma}\right)$$

- Caso 4:  $y_i^1 = 0, y_i^2 = 0$

$$\begin{aligned} \Pr(\text{No}, \text{No}) &= \Pr(DAP < t^1, DAP < t^2) \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i < t^1, z_i'\beta + u_i < t^2) \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i < t^2) \\ &= \Phi\left(\frac{t^2 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

$$\Pr(\text{No}, \text{No}) = 1 - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right)$$

De esta manera, el modelo de Lopez-Feldman (2012), dependería de cuatro ecuaciones condicionadas:

$$\Pr(y_i^1, y_i^2 | z_i) = \begin{cases} \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^1}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right) & \text{si } y_i^1 = 1, y_i^2 = 0 \\ \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^1}{\sigma}\right) & \text{si } y_i^1 = 1, y_i^2 = 1 \\ \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^1}{\sigma}\right) & \text{si } y_i^1 = 0, y_i^2 = 1 \\ 1 - \Phi\left(\frac{z_i'\beta}{\sigma} - \frac{t^2}{\sigma}\right) & \text{si } y_i^1 = 0, y_i^2 = 0 \end{cases}$$

La valoración contingente dicotómica de simple límite se puede calcular mediante el uso del modelo Probit, que es un tipo de modelo econométrico de elección binaria, es decir, de elección entre dos opciones, y se caracteriza por basarse en una distribución acumulada normal estándar. En cambio, para obtener los resultados de valoración contingente dicotómica de doble límite se recurre al método de máxima verosimilitud que permite obtener directamente los factores  $\beta$  para el cálculo de la disposición a pagar (DAP) media. El comando *doubleb* en el software Stata facilita el proceso de análisis (Lopez-Feldman, 2012).

Para el análisis de las variables explicativas se puede usar el comando *stepwise* que proporciona el control de los criterios estadísticos cuando se utilizan métodos por pasos para crear un modelo. Este

subcomando se ignora si no se especifica un método por pasos que incluye modelos de regresión en la que la elección de variables predictoras se lleva a cabo mediante un procedimiento automático. El procedimiento toma la forma de una secuencia de pruebas-*f* en la selección o eliminación de variables explicativas (Lopez-Feldman, 2012).

El objeto principal de este estudio es determinar un costo económico en términos monetarios y que la población asigna al servicio hídrico de la Microcuenca del Río Chimborazo (MCRCH) bajo las condiciones actuales, es decir un escenario real. A los encuestados se les proporcionó únicamente la información necesaria para darles a conocer descriptivamente el centro de valoración, informándoles que el agua que llega a sus hogares proviene inicialmente de la MCRCH, explicando de esta manera la regla de implementación de la encuesta.

La naturaleza hipotética del método de preferencias declaradas supone la no existencia de compromisos de pago reales por parte de los encuestados. Este hecho frecuentemente conduce a exageraciones en las DAPs individuales (Kjær, 2005). Cummings and Taylor (1999), sugieren que se puede evitar este sesgo mediante una explicación simple, previa a la pregunta, acerca de los riesgos que corre una respuesta exagerada, particularmente respecto a las interrogaciones sobre DAP e ingresos de dinero.

La sostenibilidad del ecosistema páramo con un enfoque de economía de bienestar para la conservación de los recursos naturales es una alternativa, ya que analiza el valor económico del agua, con una visión en que predomina la idea que la conservación de los recursos naturales garantiza un verdadero desarrollo sostenible. Por ello, esta investigación realizó la valoración económica del servicio hídrico utilizando la metodología basada en preferencias declaradas (valoración contingente).

## 2 Materiales y Métodos

La población investigada está constituida por 32 739 viviendas urbanas habitadas por usuarios de agua de consumo de la ciudad de Riobamba, cuyo abastecimiento proviene en su mayoría de las aguas subterráneas de la MCRCH. Esta población

está catalogada como consumidores domésticos de la Empresa Pública de agua Potable (EMAPAR). De acuerdo con la base de datos del año 2020, esta constó con un total de 37 251 registros que incluían todas las categorías (residencial, comercial, industrial y otros) (EMAPAR, 2020). De estas categorías se consideró únicamente la de consumo residencial, que incluía al 90%. Se excluyeron las demás categorías por no representar usuarios finales; en este contexto, los medidores de consumo pasaron a ser las unidades muestrales.

La encuesta se realizó a través de Google forms, mediante el envío de un correo a los usuarios registrados de agua potable y fueron distribuidos en 4 grupos de acuerdo con las parroquias urbanas a la que pertenecen, como se indica en la Figura 1 (grupo 1= parroquia Lizarzaburu, grupo 2 = parroquia Maldonado, grupo 3 = parroquia Veloz y grupo 4 = parroquia Velasco y Yaruquies). La variante del MVC utilizada buscó obtener la máxima DAP de los consumidores, recurriendo a la modalidad de preguntas dicotómicas de doble límite.

La primera pregunta indicó: ¿Estaría dispuesto a pagar *m* USD adicionales en la planilla de agua para asegurar la provisión del recurso hídrico de los páramos de la microcuenca del Río Chimborazo? La oferta *m* se tomó de un vector de 6 valores (USD 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,25) que se distribuyó aleatoriamente entre los 4 grupos de encuestados tentativamente iguales, excluyendo los valores extremos primero y último del vector. A continuación, se expuso la misma pregunta con una segunda oferta tomada del mismo vector, siendo su valor el inmediatamente superior o el inmediatamente inferior, dependiendo de la primera respuesta, respectivamente positiva o negativa. Se introdujo una tercera pregunta, abierta y relacionada con la pandemia COVID-19, con el propósito de verificar la consistencia de las respuestas recibidas. La pregunta resultaba ser endógena a las anteriores, por lo que no alteraba los resultados previos. En la encuesta se reconoció el comprobante de pago mensual de consumo del agua como respaldo general.

Una encuesta piloto con 40 casos permitió ajustar la claridad de algunas preguntas, reducir su número debido a limitaciones temporales, así como hacer ajustes correspondientes al vector de ofertas. Sueki (2013), indica que se requiere aproximada-

mente 400 participantes en el MVC cuando se utiliza la opción de interrogaciones dicotómicas de doble límite para minimizar las fallas de estimación y llegar a conclusiones de DAP con una alta fiabili-

dad estadística. Alam (2013) estableció una muestra de ese mismo tamaño, 400 unidades, en un MVC aplicado a un tema hídrico, mientras que Tentes and Damigos (2012), describen su trabajo con 310 casos.

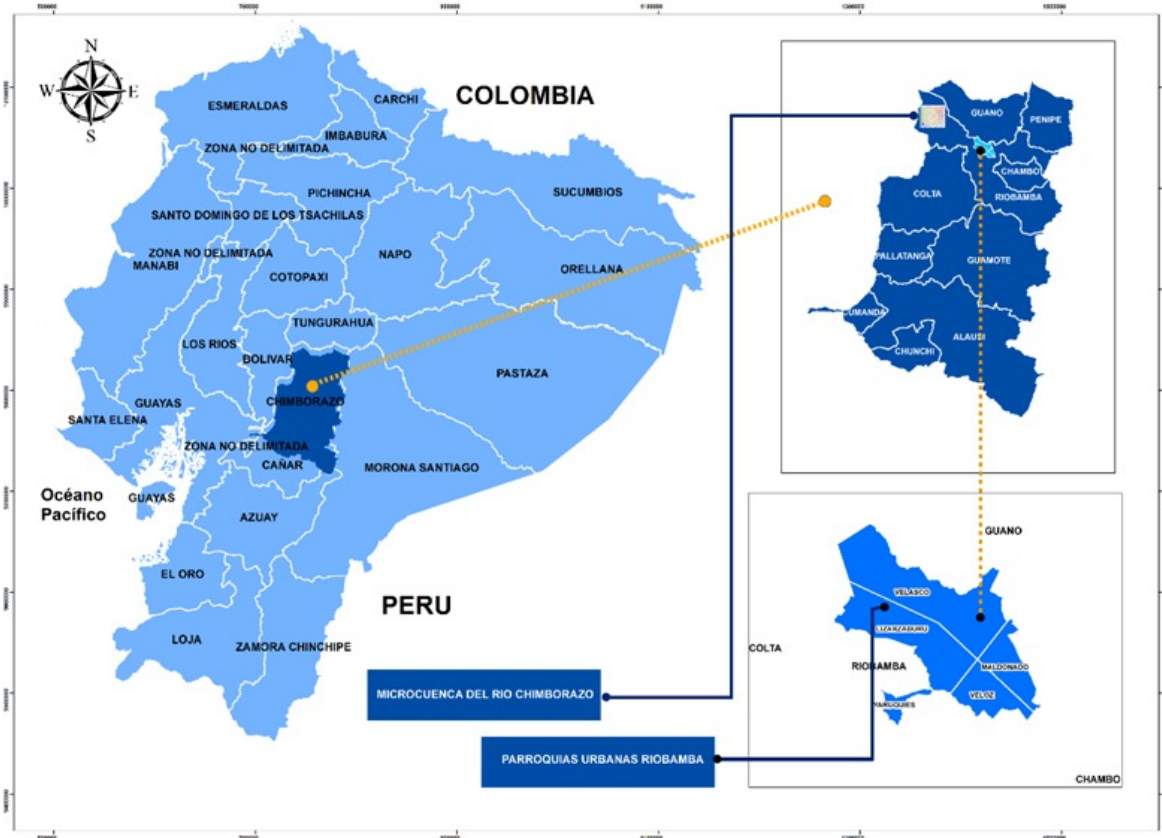


Figura 1. Microcuenca del Río Chimborazo-Parroquias urbanas de Riobamba.

Para este estudio, se utilizó la fórmula (2), en donde las respuestas dicotómicas ofrecen un acercamiento satisfactorio (Cochran, 1983). Tomando en cuenta los condicionales proporcionados,  $p$  correspondería a una apreciación insesgada de  $P$ , y el valor de la muestra estaría definido por:

$$N = \frac{no}{1} + \frac{no}{N} \quad (1)$$

Siendo

$$no = \frac{z^2 p(1-p)}{e^2} \quad (2)$$

Considerando como población  $N=32\ 739$  puntos de conexión del agua de consumo humano, un nivel de seguridad o confianza del 95% ( $z=1,96$ ), margen de falla admisible  $e=5\%$ , y una posibilidad

de aprobación de la oferta del 50% o  $p=50$ , el volumen requerido fue de 380 casos, muestra que se amplió a 406 encuestados. Para seleccionar los elementos muestrales se utilizó la opción de manejo de modelos complejos, se aplicó el método aleatorio simple y se realizó la distribución homogénea entre los 4 grupos de diferentes sectores de la ciudad, obteniendo la respuesta de 406 personas.

La encuesta estuvo estructurada en cinco secciones, cada una incluía preguntas relacionadas con un tema en particular. Las secciones fueron las siguientes:

- El Agua
- El Ambiente y el Cambio climático
- La disposición a pagar (DAP)

- El uso de recursos públicos
- La información socio – económica

Esta metodología permitió generar cuatro modelos (se incluye como anexo el cálculo en el Software Stata). Los encuestados no fueron advertidos de que serían preguntados dos veces sobre su DAP, por lo tanto, la respuesta a la primera oferta es exógena a la segunda, condición que permite estimar la DAP como si se tratase de una encuesta basada en una pregunta dicotómica de simple límite. En este caso, se recurrió al modelo Probit con una sola variable explicativa (modelo simple, modelo A).

El modelo B, al igual que en el modelo A, tampoco se incluye en la segunda oferta, pero se consideran todas las variables explicativas; usando el comando stepwise se eligieron aquellas que resultaron estadísticamente significativas, y usando el modelo Probit se determinó la DAP.

En el modelo C se utilizó el de máxima verosimilitud, mediante el uso del comando doubleb, y se determinó la DAP usando únicamente las variables correspondientes a las dos ofertas con sus respectivas respuestas, sin considerar más variables explicativas.

En el modelo D, para seleccionar las variables estadísticamente significativas se recurrió al uso del comando stepwise y al igual que en el modelo C se utilizó el de máxima verosimilitud, y con el comando doubleb se determinó la DAP.

### 3 Resultados y Discusión

Previo al proceso de obtención de la DAP utilizando un MVC, se investigaron las diferentes características de la población, determinando que en el cantón Riobamba el 96% de los usuarios tiene conexión directa a la red de agua de consumo, el 95% indica que recibe el servicio de agua potable todos los días, el 63% posee una cisterna para almacenamiento de agua y el 54% considera que los problemas que existen en la distribución se deben a una red de agua potable ineficiente. En relación con la solución de estos problemas y al pago mensual del agua, el 72% considera que el Municipio de Riobamba a través de la EMAPAR no toma decisiones acertadas para solucionar los problemas de escasez y el 30% pagó

más de USD 20 al mes por el servicio de agua potable. El ingreso promedio del grupo de encuestados es de USD 641,63. El costo por m<sup>3</sup> de agua potable es de USD 0,49.

#### Modelo A: Simple límite (solo primera oferta) sin otras variables explicativas

Tabla 2. Modelo A de simple límite

DPA01	Coef.	Err. Est.	z	P>z	[Intervalo de Conf. 95% ]	
PRE1	-1,17	0,24	-4,81	0,00	-1,65	-0,70
Cons	1,31	0,18	7,15	0,00	0,95	1,67

Siendo:

DPA01=respuesta dicotómica a la primera oferta (variable explicada).

PRE1=primera oferta (variable explicativa).

cons=valor de la constante

Conforme el total de PRE1 (-1.17), se puede observar que un incremento en la oferta conduce a una menor probabilidad de aceptación por parte del encuestado.

Tabla 3. Modelo A de simple límite DAP

DPA01	Coef.	Err. Est.	z	P>z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
DAP	1,12	0,10	10,80	0,00	0,92	1,32

Partiendo de los resultados mostrados en la Tabla 2, se genera el resultado de la máxima DAP de USD 1.12 (Tabla 3), teniendo el valor del modelo de A que es estadísticamente significativo. La estimación corresponde a un nivel de confianza del 95%.

#### Modelo B: Simple límite (solo primera oferta) con otras variables explicativas

Tabla 4. Modelo B de simple límite con otras variables explicativas

DPA01	Coef.	Err. Est.	Z	P>z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
PRE1	-1,19	0,25	-4,8	0,00	-1,67	-0,70
SE06	-0,10	0,06	-1,75	0,08	-0,21	0,01
ACC04	0,40	0,18	2,20	0,03	0,04	0,76
SE07	0,10	0,05	1,94	0,05	0,00	0,19
Cons	1,11	0,31	3,55	0,00	0,49	1,73

Para el análisis de las Tablas 4 y 7 es importante considerar las siguientes descripciones:

PRE1=Valor de la primera oferta, SE06=Nivel de Educación (Primaria, Secundaria, Universidad, Maestría, Doctorado), ACC04=Problema del Cambio climático (Dicotómica), SE07=Condición de vivienda (Propia, Arrendada, Familiares, Hipoteca-da).

Estos coeficientes permitieron inferir la posibilidad de que un encuestado acepte la primera oferta. Las variables con coeficientes positivos incrementarían dicha posibilidad mientras las que tuvieran coeficientes negativos la disminuirían. Sin embargo, en este estudio, este modelo resulta un paso intermedio para obtener la DAP media.

**Tabla 5.** Modelo B de simple límite DAP

DPA01	Coef.	Err. Est.	z	P>z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
DAP	1,13	0,10	10,74	0,00	0,92	1,33

Se debe considerar que si el encuestado es consciente del problema del cambio climático se incrementa su DAP en USD 0,40, así como su condición de vivienda aumenta su DAP en USD 0,09. Se observa que el nivel de educación, variable con coeficiente negativo, decrece la DAP en USD 0,09 (Tabla 4). En el modelo B la DAP obtenida es de USD 1,13 (Tabla 5).

**Modelo C: método dicotómico de doble límite (dos ofertas) sin otras variables explicativas.**

**Tabla 6.** Modelo C de doble límite DAP

	Coef.	Err. Est.	Z	P>z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
Beta cons	0,84	0,03	30,05	0,00	0,78	0,89
Sigma cons	0,50	0,03	17,23	0,00	0,44	0,55

Mediante el modelo de máxima verosimilitud y con el uso del comando doubleb obtenemos el valor de la DAP media, que para el modelo C es de USD 0,84 que corresponde a la constante Beta (Tabla 6), que es inferior a los resultados de los dos modelos anteriores.

**Modelo D: método dicotómico de doble límite con otras variables explicativas**

**Tabla 7.** Modelo D de doble límite

	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[Intervalo de Conf. 95%		
Beta	SE06	-0,04	0,02	-1,83	0,07	-0,08	0
	SE07	0,04	0,02	1,92	0,06	0	0,08
	ACC04	0,24	0,08	3,13	0	0,09	0,39
	cons	0,68	0,11	6,47	0	0,48	0,89
Sigma	cons	0,49	0,02	17,26	0	0,43	0,54

**Tabla 8.** Modelo D de doble límite DAP

	Coef.	Err. Est.	Z	P>z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
Beta	0,84	0,03	30,42	0,00	0,78	0,89

Se debe considerar que si la vivienda es propia se afecta el incremento de la DAP en USD 0,04, así como a USD 0,24 si la persona es consciente del problema del cambio climático. Se aprecia que las variables con coeficiente negativo decrecen la DAP en 0,04 USD como el nivel de educación (Tabla 7). El valor de la DAP media en el modelo D alcanza los USD 0,84 (Tabla 8).

Hanemann (1991), sostiene que aplicar un MVC mediante preguntas dicotómicas de límite simple es más fácil para el encuestado, y que, sin embargo, es estadísticamente menos eficiente que un método de doble límite, pues requiere muestras más grandes para obtener un determinado nivel de precisión. Los resultados generados en los cuatro modelos sirven de base para obtener una DAP estadísticamente más significativa. Hanemann (1991) determinan que los mejores modelos asignan mayor importancia a las repercusiones en la precisión alcanzada que se establecen mediante intervalos de confianza más reducidos, criterio que coincide con el de Kjær (2005), quien sostiene que estimaciones más precisas tienen intervalos de confianza más pequeños y por tanto una mayor eficiencia estadística.

Coincidiendo con los resultados de los autores Hanemann (1991) y Kjær (2005) en relación con el nivel de precisión alcanzado en los intervalos de confianza y un menor error estándar (Tabla 9), podemos afirmar que el modelo D es el más adecuado para establecer la máxima DAP media de la muestra estudiada, igual a USD 0,84 mensuales. Resalta el hecho de que los valores de DAP son menores cuando se trata de los modelos de doble límite. Según Lopez-Feldman (2012), este fenómeno de que la

DAP es menor cuando se introduce la información sobre la segunda pregunta es algo bastante frecuente.

**Tabla 9.** Estadísticos de los diferentes modelos.

Modelo	DAP USD	Err. Est.	Z	P> z	[ Intervalo de Conf. 95% ]	
A	1,12	0,10	10,8	0,00	0,92	1,32
B	1,13	0,10	10,74	0,00	0,92	1,33
C	0,84	0,03	30,05	0,00	0,78	0,89
D	0,84	0,03	30,42	0,00	0,78	0,89

En Ecuador son escasos los estudios sobre valoración contingente dicotómica. Roldán (2017), realizó un estudio de evaluación económica del recurso hídrico para el suministro de agua de consumo humano en el caso del Parque Nacional Cajas en Ecuador, en la cuenca del Río Tomebamba. Los resultados obtenidos establecieron un valor de USD 3,44 pagaderos mensualmente. Al aplicar un formato de interrogación dicotómica de doble límite, valor superior al determinado en esta investigación en los Modelos C y D es importante considerar que la economía de la Provincia del Azuay es superior a la de la Provincia de Chimborazo, y los vectores de valores planteados en el estudio de Roldan son mayores debido a la conciencia ambiental y económica del Azuay.

A nivel de Latinoamérica existen estudios que sirven para poder realizar un análisis, debido a que los países poseen economías en desarrollo y fueron realizados en ecosistemas similares. Loyola Gonzales (2007) realizó un análisis de la DAP de las familias de la ciudad de Arequipa en Perú, respecto al cuidado de una zona de montañas resguardada ubicada en los Andes, la cuenca alta del río Chili. Los resultados obtenidos establecieron un valor de USD 1,41 pagaderos mensualmente, donde se aplicó un formato de interrogación dicotómica de simple límite. Este valor es un 19,86% mayor al obtenido con los modelos A y B en esta investigación, siendo el más similar en características. Indiscutiblemente la economía de Perú es superior a la de Ecuador, tomando en consideración que el producto interno bruto (PIB) es de USD 223 249 millones para Perú y USD 106 165 millones para Ecuador en el año 2021 (Banco Mundial, 2021).

Avilés-Polanco et al. (2010) realizaron la valoración del servicio hidrológico del acuífero de La

Paz, ubicada en Baja California en México, usando un formato de interrogación dicotómica de doble límite. La DAP promedio por hogar asciende a USD 8,20 mensuales aproximadamente. Por otro lado, la evaluación económica de los servicios ambientales hídricos provistos por el Área Natural Preservada Río Pancho Poza, en México, usando un formato de pregunta dicotómica de doble límite obtuvo un valor de USD 7.60 (Sánchez Bocarando, 2020), valores superiores al de esta investigación en los Modelos C y D. El PIB de México se encuentra en los USD 1 293 037 millones (Banco Mundial, 2021).

El valor de USD 0,84 que las personas están dispuestas a pagar por la conservación del servicio hídrico de la MCRCH representa el 0,13% del ingreso promedio de los encuestados, y el 4,2% de incremento de pago en la factura mensual, asumiendo que más del 30% paga un valor superior a los USD 20 mensuales por consumo de agua. Se podría cobrar mensualmente a los usuarios del servicio agua potable los USD 0,84, lo que generaría un presupuesto mensual de USD 27 500.76. Este presupuesto de acuerdo con la constitución de Ecuador podría ser manejado por el Honorable Gobierno Provincial de Chimborazo (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2019), quienes tienen la competencia Ambiental, pudiendo crear un fondo de agua para financiar programas socio económicos y productivos, como compensación a los dueños de los páramos y fines de conservación, protección, recuperación, forestación y reforestación.

Lopez-Feldman (2012), recomienda que si la selección de la DAP está relacionada con un costo-beneficio, se tiene que analizar el presupuesto del proyecto, es decir que si para la conservación de la MCRCH se necesita un estimado de USD 3 323 371.50 (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2019) se podría utilizar el modelo B que generaría la mayor cantidad de recurso para su cuidado, a diferencia del modelo D que generaría un valor inferior, esto se debe a que es difícil saber cuál de los conjuntos de estimaciones es más confiable (Lopez-Feldman, 2012).

En Europa, Söderberg and Barton (2013) detalla los resultados de su estudio de valoración contingente para mejorar las características del agua recreativa en lagos eutrofiados en el suroeste de No-

ruega. El autor concluye que los datos de DAP para la calidad del agua puede ser más útil como indicador cualitativo de apoyo político para medidas de calidad del agua financiadas por los usuarios, que como medida cardinal de utilidad marginal.

## 4 Conclusiones

Es importante notar que las versiones de la DAP estimadas en los modelos C y D son menores comparadas con las estimadas en los modelos A y B. Este fenómeno que se refiere a que la disponibilidad a pagar promedio sea menor cuando se introduce la información sobre la segunda pregunta ocurre con mucha frecuencia. Es difícil saber cuál de los dos conjuntos de estimaciones es más confiable. Por un lado, se espera que las estimaciones realizadas utilizando el modelo con seguimiento sean más eficientes; sin embargo, eso no implica que no se presenten sesgos en la estimación. Las variables explicativas nivel de educación, problema de cambio climático y condición de vivienda son significativas para los modelos B y D.

La empresa municipal EMAPAR es la responsable del manejo de agua en la ciudad de Riobamba. La ciudad se beneficia del agua proveniente de la MCRCH. Este estudio calculó la DAP media de las familias por la conservación del servicio hídrico mediante la generación de 4 modelos, los dos primeros (A, B) fueron método dicotómico de simple límite, de solo la primera oferta sin y con variables explicativas, las dos últimas (C y D) fueron por el método dicotómico de doble límite (dos ofertas) sin y con otras variables explicativas. El modelo D de acuerdo con los intervalos de confianza es el mejor de ellos y es significativo con las variables nivel de educación, condición de la vivienda y el cambio climático, llegando a determinar que la DAP es igual a USD 0,84 mensuales.

El análisis de valoración contingente se está realizando como parte de un análisis costo – beneficio, por lo tanto, los distintos valores obtenidos para la DAP pueden utilizarse como un análisis de sensibilidad. El modelo D obtuvo un valor económico anual para la población objetivo de USD 330 009.12 utilizando la DAP estimada con el modelo dicotómico de doble límite con variables explicativas. Por otro lado, si utilizamos la información del modelo

B dicotómico de simple límite con variables explicativas obtenemos un valor económico de USD 443 940.84. Para completar el análisis de sensibilidad, el costo de conservación de la MCRCH es de USD 3 323 371.50. En tal caso, sin importar que versión de DAP se utilice, el proyecto tendrá un beneficio económico neto negativo. Por lo cual, se deberá buscar otras fuentes de financiamiento para la conservación del ecosistema.

## Contribución de los autores

E.F.C.C.: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración de proyectos, recursos, software, redacción - borrador original.  
L.A.J.D.: Supervisión, validación, visualización, redacción, revisión y edición.

## Referencias

- Alam, K. (2013). Factors affecting public participation in river ecosystem restoration: using the contingent valuation method. *The Journal of Developing Areas*, 47(1):223–240. Online:<https://n9.cl/bzicf>.
- Aman, M., Shumeta, Z., and Kebede, T. (2020). Economic valuation of improved irrigation water use: the case of meskan district, southern ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1):1843311. Online:<https://n9.cl/mwdcd>.
- Armijos Espinosa, R. and Segarra Ortega, Y. (2016). Aplicación de los métodos de costo de viaje y valoración contingente para determinar la disposición a pagar para la conservación del recurso hídrico del parque nacional cajas de la ciudad de cuenca. Master's thesis, Universidad de Cuenca.
- Avilés-Polanco, G., Huato Soberanis, L., Troyo-Diéguez, E., Murillo Amador, B., García Hernández, J., and Beltrán-Morales, L. (2010). Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de la paz, bcs: Una valoración contingente del uso de agua municipal. *Frontera norte*, 22(43):103–128. Online:<https://bit.ly/3ZQG33G>.
- Awad, I. and Holländer, R. (2010). Applying contingent valuation method to measure the total economic value of domestic water services: A case

- study in ramallah governorate, palestine. *European Journal of economics, finance and administrative sciences*, 20:76–93. Online:https://n9.cl/zeu87.
- Banco Mundial (2021). Pib (us\$ a precios actuales). Banco Mundial. Online:https://n9.cl/9bot6.
- Cochran, W. (1983). *Unbiased value estimates for environmental goods: A cheap talk design for the contingent valuation method*. Compañía Editorial Continental.
- Córdova, J., Molina, E., Zurita, J., and Meza, E. (2019). Valoración contingente en áreas protegidas: caso sector amazónico, ecuador. *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, (90):581–606. Online:https://n9.cl/ot4rt.
- Cummings, R. and Taylor, L. (1999). Unbiased value estimates for environmental goods: a cheap talk design for the contingent valuation method. *American economic review*, 89(3):649–665. Online:https://n9.cl/p0avs4.
- EMAPAR (2020). Empresa pública de agua potable de riobamba rendición de cuentas. EMAPAR. Online:https://n9.cl/87ahv.
- Emily, E., Kironchi, G., and Wangia, S. (2013). Willingness to pay for improved water supply due to spring protection in emuhaya district, kenya. *International Journal of Education and Research*, 1(7):1–14. Online:https://n9.cl/nsbbc.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de chimborazo. riobamba: Gobierno autónomo descentralizado de la provincia de chimborazo. Technical report, Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo. Online:https://n9.cl/h4lt65.
- Hanemann, W. (1991). Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ? *The American Economic Review*, 81(3):635–647. Online:https://n9.cl/m7bum.
- Hofstede, R., Groenendijk, J., Coppus, R., Fehse, J., and Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the ecuadorian high andes. *Mountain Research and Development*, 22(2):159–167. Online:https://n9.cl/8ja7dx.
- İkikat, E. (2020). Willingness to pay for increasing river water quality in aksu river, turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 22(7):6495–6503. Online:https://n9.cl/sps3v.
- Jimenez, R., Arana, G., Landeta, B., and Larumbe, J. (2021). Willingness to pay for improved operations and maintenance services of gravity-fed water schemes in idjwi island (democratic republic of the congo). *Water*, 13(8):1050. Online:https://n9.cl/2dqiu.
- Kjær, T. (2005). *A review of the discrete choice experiment - with emphasis on its application in health care*. Syddansk Universitet. Health Economics Papers.
- Lopez-Feldman, A. (2012). Introduction to contingent valuation using stata. Online:https://n9.cl/p7oti.
- Loyola Gonzales, R. (2007). *Valoración del Servicio Ambiental de Provisión de Agua con Base en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca - Cuenca del Río Chili*. PROFONANPE.
- Ministerio del Ambiente (2015). *Manual de valoración económica del patrimonio natural*. Lima, Perú. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Mueller, J. (2014). Estimating willingness to pay for watershed restoration in flagstaff, arizona using dichotomous-choice contingent valuation. *Forestry*, 87(2):327–333. Online:https://n9.cl/9rfoi.
- Perez, J. (2010). Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. Mérida, Venezuela: CIDIAT. Universidad de los Andes.
- Reta, B. and Lee, J. (2020). Estimation of household willingness to pay for fluoride-free water connection in the rift valley region of ethiopia: A model study. *Groundwater for sustainable development*, 10:100329. Online:https://n9.cl/h9ma9.
- Roldán, D. (2017). Valoración económica de recursos hídricos para el suministro de agua potable. el caso del parque nacional cajas. la cuenca del rio tomebamba. Master's thesis, Universidad de Alicante.
- Shah, S. (2013). *Valuation of freshwater resources and sustainable management in poverty dominated areas*. PhD thesis, Colorado State University.

- Sánchez Bocarando, J. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales hídricos provistos por el Área natural protegida río pancho poza. Master's thesis, Universidad Autónoma de México, México.
- Söderberg, M. and Barton, D. (2013). Marginal wtp and distance decay: the role of 'protest' and 'true zero' responses in the economic valuation of recreational water quality. *Environmental and Resource Economics*, 59(3):389–405. Online:<https://n9.cl/hb3au>.
- Sueki, H. (2013). Economic value of counseling services as perceived by university students in japan: A contingent valuation survey. *Journal of Psychology y Psychotherapy*, 3(5):127. Online:<https://n9.cl/lm8av7>.
- Tentes, G. and Damigos, D. (2012). The lost value of groundwater: the case of asopos river basin in central greece. *Water resources management*, 26:147–164. Online:<https://n9.cl/8xa41>.
- Trujillo, J. and Perales, A. (2020). Water economic valuation of solís dam for agricultural use. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(4):339–369. Online:<https://n9.cl/d411k>.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B., and Bradley, R. (2008). Climate change and tropical andean glaciers: Past, present and future. *Earth-science reviews*, 89(3-4):79–96. Online:<https://n9.cl/7ob94>.
- Wambui, A. and Watanabe, T. (2021). Willingness to pay and participate in improved water quality by lay people and factory workers: A case study of river sosiani, eldoret municipality, kenya. *Sustainability*, 13(4):1934. Online:<https://n9.cl/1x1sm>.
- Zvobgo, L. (2021). Consumer ability and willingness to pay more for continuous municipal water supply in chitungwiza. *Sustainable Water Resources Management*, 7(2):23. Online:<https://n9.cl/y4z3rh>.

## Apéndice

### A Programación y estimación de los modelos y disponibilidad a pagar en STATA

```
// Valoración contingente método dicotómico de
doble límite //
// Distribución del Monto de la oferta inicial //
tabulate PRE1

// Fracción de los entrevistados que respondieron
SI a la pregunta de VC //
tabulate DPA01

// Sensibilidad a las ofertas //
tabulate DPA01 PRE1, column nofreq

/// 1. // Estimación de DAP - sin covariables //
probit DPA01 PRE1

// Cálculo de la Disposición a pagar //
nlcom (DAP:- _b[_cons]/_b[PRE1]), noheader

// 2. // Estimación de DAP - con variables
probit DPA01 PRE1 AG01 AG07 AG11 ACC03 ACC04
ACC08 SE01 SE02 SE04 SE05 SE06 SE07 SE09 SE10
SE11

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE06 SE07

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE10 SE11

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 AG01 AG07

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE01 SE02

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE01 SE02 SE06 SE11

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE06 SE09

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE06 SE10

// Estimación de variables
probit DPA01 PRE1 SE06 SE07

//Después del análisis sacamos las cifras no
significativas y hallamos la disponibilidad
a pagar//

//obtengo las medias y genero un escalar de cada
variable explicativa//

summarize SE06, meanonly
```

```
scalar SE06_M = r(mean)
summarize SE07, meanonly
scalar SE07_M = r(mean)

// Hallamos la disponibilidad a pagar //

nlcom (DAP:- (_b[_cons]+SE06_M*_b[SE06]+SE07_M*_b[SE07])
/_b[PRE1]), noheader

////////////////////////////////////
*---HAROLD - OTRA ESPECIFICACION

stepwise, pr(.1): probit DPA01 PRE1 AG01 AG07 AG11
ACC03 ACC04 ACC08 SE01 SE02 SE04 SE05 SE06 SE07 SE09
SE10 SE11
probit DPA01 PRE1 SE06 SE07 ACC04

summarize SE06, meanonly
scalar SE06_M = r(mean)

summarize SE07, meanonly
scalar SE07_M = r(mean)

summarize ACC04, meanonly
scalar ACC04_M = r(mean)

nlcom (DAP:- (_b[_cons]+SE06_M*_b[SE06]+SE07_M*_b[SE07]+
ACC04_M*_b[ACC04])/_b[PRE1]), noheader //
////////////////////////////////////

// Función de Máxima Verosimilitud//

generate DPA1 = 0
replace DPA1 = 1 if VAI==3 | VAI==4

// Generamos una varibale que nos indica la respuesta a
la segunda pregunta //

generate DPA2 = 0
replace DPA2 = 1 if VAI==2 | VAI==4

// Generamos una sola variable para el segundo
monto //

generate PRED = .
replace PRED = PRE2 if DPA1==1
replace PRED = PRE3 if DPA1==0

// Modelo sin variables explicativas //
doubleb PRE1 PRED DPA1 DPA2

// Modelo con variables explicativas //
doubleb PRE1 PRED DPA1 DPA2 SE06 SE07 ACC04

// Hallamos la disponibilidad a pagar //
nlcom (DAP:(_b[_cons]+SE06_M*_b[SE06]+SE07_M*_b[SE07]
+ACC04_M*_b[ACC04])), noheader

//// End ////
```



# FOTOBIORREACTOR URBANO PARA EL SECUESTRO DE CO<sub>2</sub> Y LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA MICROALGAL

## URBAN PHOTOBIOREACTOR FOR CO<sub>2</sub> SEQUESTRATION AND MICROALGAL BIOMASS PRODUCTION

Saim Khan<sup>1</sup>, Mehmood Ali\*<sup>1</sup>, Atif Mustafa<sup>1</sup> y Aqsa Iqbal<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering, NED University of Engineering Technology, Karachi-75270, Pakistan.

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering, NED University of Engineering Technology, Karachi-75270, Pakistan.

\*Autor para correspondencia: mehmood@neduet.edu.pk

Manuscrito recibido el 27 de mayo de 2024. Aceptado, tras revisión el 22 de octubre de 2024. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

El sistema de crecimiento de fotobiorreactores (PBRs) de microalgas es de gran interés pues es un método viable y sostenible para generar biomasa de calidad destinada a productos de valor agregado y biocombustibles. En este estudio se cultivó la especie de microalga *Chlorella vulgaris* en un fotobiorreactor diseñado, fabricado y alimentado por un sistema de energía solar. Se compararon tres condiciones experimentales con proporciones de 1:4 de cultivo de microalgas (40 L) y agua fresca (10 L), utilizando 100 mL de medio (nutrientes) en cada experimento: un experimento control (aireación con aire ambiente, experimento # 1), la inyección de 200 g de CO<sub>2</sub> durante 15 segundos (experimento # 2), y la inyección de 300 g de CO<sub>2</sub> durante 25 segundos (experimento # 3) en días alternos durante el periodo de cultivo. Todos los experimentos mostraron una reducción en la concentración de nutrientes (ortofosfato y nitrato) y un aumento en la productividad de biomasa tras un periodo de cultivo de 10 días. Los experimentos 1, 2 y 3 mostraron remociones de ortofosfato del 50%, 41,74% y 60,78%, respectivamente, mientras que la remoción de nitrato fue del 22%, 48% y 58%. La productividad de biomasa en los experimentos 1, 2 y 3 tras 10 días de cultivo fue de 196,63 mg/L, 203,43 mg/L y 318,76 mg/L, respectivamente. El análisis estadístico reveló que el suministro de CO<sub>2</sub> desde una fuente externa en los experimentos # 2 y # 3 sigue un patrón similar de significancia estadística, con una correlación entre ambos grupos de medias y un valor de p de  $6\,306 \times 10^{-14}$ . La mayor biomasa de microalgas fue recuperada del experimento # 3, con un contenido proteico del 7,98% en peso y un contenido lipídico del 37,4% en peso (1,87 g/5 g de biomasa seca). El estudio cinético mostró que las capacidades de transferencia volumétrica de masa de KO<sub>2</sub> y KCO<sub>2</sub> fueron de  $1\,763 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  y  $1\,676 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente, siendo más eficiente la capacidad de transferencia de KCO<sub>2</sub> del sistema. Los lípidos extraídos presentaron ácidos grasos favorables para la producción de biodiésel de microalgas, como ácido mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:1) y linolénico (C18:3). El uso de fotobiorreactores urbanos de microalgas es una estrategia ambientalmente sostenible que puede contribuir significativamente a la economía basada en recursos biológicos y reducir los efectos negativos del uso tradicional de combustibles fósiles sobre el medio ambiente.

**Palabras clave:** Secuestro de carbono, Fotobiorreactor urbano, Captura de carbono, Productividad de biomasa, Biofi-

jación de CO<sub>2</sub>, *Chlorella vulgaris*, Producción de biocombustibles.

---

### Abstract

The growth system of microalgae photobioreactors (PBRs) has drawn a lot of interest as a viable and sustainable method for generating quality biomass for value-added products and biofuels. The objective of this research work is to cultivate microalgae species *Chlorella vulgaris* in a photobioreactor that was designed, fabricated, and powered by solar energy system. Three experimental conditions were compared with 1:4 ratios of microalgae culture (40L) and fresh water (10L) having 100mL of media (nutrients) used in each experiment with control sample (ambient air aeration) experiment # 1, injecting 200 g of CO<sub>2</sub> for 15 sec (experiment # 2), and 300g of CO<sub>2</sub> for 25 sec (experiment # 3) on alternate days during the cultivation period. All experiments showed the reduction of nutrients concentration (orthophosphate and nitrate) and enhancement of biomass productivity with respect to 10 days of cultivation period. Experiments 1, 2 and 3 showed removal of orthophosphate as 50%, 41.74% and 60.78% respectively, whereas nitrate removal was 22%, 48% and 58%. Biomass productivity from experiments 1, 2 and 3 after 10 days of cultivation period were 196.63 mg/L, 203.43 mg/L, 318.76 mg/L respectively. Statistical analysis revealed that supplying CO<sub>2</sub> from external source in experiment # 2 and experiment # 3 have same pattern of statistical significance with co-relationship between two groups of means with p-value of  $6.306 \times 10^{-14}$ . The maximum microalgal biomass was recovered from experiment # 3, with 7.98% by weight protein content yield and lipid content yield 37.4% by weight (1.87/ 5 g of dried biomass). Kinetic study showed volumetric mass transfer capacities of KO<sub>2</sub> and KCO<sub>2</sub> were found to be  $1.763 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{s}$  and  $1.676 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{s}$ , with better result of KCO<sub>2</sub> gas transfer capacity of the system. In the extracted lipids favorable qualities of fatty acids for the production of microalgae biodiesel were found such as myristic (C14:0), palmitic (C16:0), palmitoleic (C16:1), oleic (C18:1), linoleic (C18:1), and linolenic acids (C18:3). The use of urban microalgae photobioreactors is an environmentally sustainable strategy that can contribute significantly to the bio-based economy and reduce the negative effects of traditional fossil fuel usage on the environment.

**Keywords:** Carbon sequestration, Urban photobioreactor, Carbon capture, Biomass productivity, CO<sub>2</sub> bio-fixation, *Chlorella vulgaris*, Biofuel production.

---

Forma sugerida de citar: Khan, S., Ali, A., Mustafa, A. e Iqbal, A. (2025). Fotobiorreactor urbano para el secuestro de CO<sub>2</sub> y la producción de biomasa microalgal. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):100-117. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.06>.

---

IDs Orcid:

Saim Khan: <https://orcid.org/0009-0000-6256-4619>

Mehmood Ali: <https://orcid.org/0000-0002-1804-2677>

Atif Mustafa: <https://orcid.org/0000-0002-3815-0800>

Aqsa Iqbal: <https://orcid.org/0009-0001-7327-8877>

## 1 Introducción

La combustión de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural son la mayor causa del cambio climático, representando el 75% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero y casi el 90% de todas las emisiones de dióxido de carbono. Las emisiones de gases de efecto invernadero cubren la Tierra, atrapando el calor del sol y causando el cambio climático y el calentamiento global. Actualmente la tierra se está calentando más rápido que en cualquier otro momento registrado en la historia. Con el tiempo, el aumento de las temperaturas está alterando los patrones climáticos y el equilibrio natural del medio ambiente, lo que plantea muchos riesgos para los seres humanos y todas las otras formas de vida en la Tierra (United Nations, 2024). Entre 1900 y 2020, la atmósfera de la Tierra experimentó un aumento de la temperatura de alrededor de 1,1 °C, lo que provocó cambios en los patrones climáticos y el calentamiento global; la temperatura media mundial aumenta a 2 °C por encima del nivel de los tiempos preindustriales, por lo que la búsqueda de medidas para limitar el aumento a 1,5 °C fue el objetivo declarado en el Acuerdo de París. Esto también ayuda a cumplir con el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) número 13 de la ONU, es decir, combatir la acción climática formulada en 2016.

El consumo de energía se alimenta principalmente de combustibles fósiles, que representan alrededor del 85% de todas las fuentes de energía a nivel mundial. Los científicos han emitido advertencias sobre el riesgo de quedarse sin suministros finitos de combustibles fósiles por no crear una fuente de energía alternativa viable para reemplazar las reservas petroleras. Otro tema que no ha sido suficientemente estudiado es la contaminación y las emisiones que provienen de la exploración y producción de combustibles fósiles (Valavanidis, 2023). Por lo tanto, los retos que plantea el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y la crisis medioambiental que se derivan del uso de combustibles fósiles hacen cada vez más necesario encontrar combustibles ecológicamente sostenibles y limpios para utilizarlos con el fin de mitigar el cambio climático y el calentamiento global (Mahapatra et al., 2021; Rodionova et al., 2017). Con el fin de reducir el impacto de las emisiones de GEI procedentes de la quema de combustibles fósiles, los biocombus-

tibles se producen mediante procesos biológicos o se obtienen mediante la conversión química de la biomasa como sustituto de los combustibles fósiles (Rodionova et al., 2017). Existen varios tipos de biocombustibles, por ejemplo, los biocombustibles de primera generación, que consisten en etanol derivado de cultivos alimentarios ricos en almidón o biodiesel creado a partir de grasas animales residuales como grasa para freír. La segunda generación se compone de bioetanol derivado de material celulósico no alimentario y biodiesel producido a partir de semillas de plantas ricas en aceite como pongamia. El método más prometedor para satisfacer las demandas energéticas del mundo es la tercera generación de biocombustibles, que se producen a partir de microalgas, cianobacterias y otros microorganismos (Rodionova et al., 2017).

La amenaza planteada por la contaminación del aire que causa el cambio climático provocada por diferentes actividades humanas ha atraído la atención de todo el mundo. Aunque antes se creía que la tecnología era la forma para disminuir esta situación, las técnicas de captura y almacenamiento de carbono (CAC) ahora no se consideran económicamente viables, y no está claro qué efecto tendrán en el medio ambiente en el futuro (Sievert et al., 2023). Como alternativa, el uso de microalgas para la captura biológica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se considera un método prometedor para reciclar el excedente de CO<sub>2</sub> producido por vehículos, plantas de energía, industrias, erupciones volcánicas, la descomposición de materiales orgánicos e incendios forestales. Por otra parte, el CO<sub>2</sub> se puede absorber por las microalgas y puede ser regenerado en biomasa, que luego puede utilizarse como fuente de carbono para fabricar lípidos para la síntesis de bioenergía y otros productos con valor añadido (Sievert et al., 2023). Se puede obtener la biomasa a escala masiva mediante el cultivo de microalgas, utilizando dos sistemas de cultivo principales, como un estanque abierto y un sistema de fotobiorreactor. La mayor productividad de la biomasa se puede obtener a través de un ambiente controlado utilizando un fotobiorreactor, y considerando el metabolismo de las microalgas que se puede clasificar como fotoautotrófico, fotoheterotrófico, heterotrófico y mixotrófico. De igual forma, se necesitan la luz solar, algunos elementos inorgánicos básicos como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y las sales metálicas para el desarrollo celular o el proceso de metabo-

lismo del cultivo de las microalgas. Las microalgas heterotróficas, por otra parte, requieren una fuente adicional de ciertos compuestos orgánicos y nutrientes, como nitrógeno (N) y fósforo (P). Otras investigaciones demuestran que el cultivo de *Chlorella* en un medio mixotrófico aumenta la eficiencia de la fotosíntesis y proporciona recursos orgánicos exógenos. Además, a lo largo del proceso de cultivo, el cultivo de microalgas reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>), además de producir biomasa y biocombustibles. Por otro lado, se pueden usar las aguas residuales de diferentes fuentes como medio de cultivo para microalgas. Las cepas de microalgas que son fotoheterotróficas, mixotróficas o heterotróficas han crecido en medios claros y oscuros (Saratale et al., 2022).

Para el cultivo de microalgas, se utiliza un biorreactor fotográfico (PBR) que tiene un recipiente de cultivo cerrado con ajustes operativos para regular la biomasa. Como organismo fotosintético, las microalgas se pueden cultivar tanto en sistemas cerrados (fotobiorreactor) como abiertos (estanque). Por otro lado, se puede obtener un mejor control de los entornos de cultivo con los fotobiorreactores, que se están desarrollando para una máxima productividad, eficacia económica y mantenimiento mínimo. El crecimiento de las microalgas, la fotosíntesis y la acumulación de lípidos dependen de una serie de variables como la luz, la temperatura, el pH del medio, la presencia de CO<sub>2</sub>, y de macronutrientes como el potasio, los fosfatos y los nitratos (Saratale et al., 2022).

Un fotobiorreactor urbano es un enfoque alternativo para la ecologización que se creó para el entorno urbano, donde la ecologización tradicional no es práctica debido a las limitaciones de espacio, los valores de la tierra y la contaminación del aire. Se basa en la alta eficiencia de producción de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> de la tecnología de microalgas y fotobiorreactores. Es igual a un árbol maduro o 200 metros cuadrados de césped, dependiendo de la tasa de fijación de carbono. Por su naturaleza polivalente, su diseño reflexivo y su construcción segura, se funde con el entorno urbano (Rehman et al., 2022). El cultivo de microalgas en un fotobiorreactor incluye una serie de factores como las especies de microalgas, el diseño del fotobiorreactor, la elección de la fuente de luz, los mecanismos de mezcla, el su-

ministro de nutrientes, el control de la temperatura y el pH, y consideraciones para la recolección y el procesamiento. En este proceso de diseño es importante hacer hincapié en una alta relación entre superficie y volumen. Debido a la naturaleza dependiente de la luz, una mayor superficie facilita una mayor penetración de la luz, que es un requisito fundamental para la fotosíntesis (Stojiljković and Spasojević, 2023).

Un método sostenible para capturar el dióxido de carbono y utilizarlo para producir productos renovables y reducir las emisiones es el uso de microalgas fotosintéticas. Estudios anteriores se han concentrado principalmente en los subproductos de las microalgas, especialmente los biocombustibles, en lugar de su capacidad para secuestrar CO<sub>2</sub>. *Chlorella* sp. se cultivó en una investigación a concentraciones de CO<sub>2</sub> similares a las observadas en los gases de escape de las centrales eléctricas. Se descubrió que el 5% de CO<sub>2</sub> era la concentración ideal para la producción de biomasa de microalgas. La eficiencia de eliminación de CO<sub>2</sub> de los cultivos se observó de forma continua, utilizando un sensor infrarrojo no dispersivo. En el transcurso de 14 días, la eficacia media de eliminación de CO<sub>2</sub> fue del 17,5%, lo que es significativamente superior a los valores comunicados en la bibliografía cuando no se utiliza ningún sistema de control directo en tiempo real (Scheufele et al., 2019). Las microalgas tienen la capacidad de producir entre 10 y 20 veces más aceite que los cultivos de semillas de aceite vegetal, y se consideran una materia prima prometedora para la producción de biocombustibles de tercera generación (Leflay et al., 2021).

La limpieza de los gases de combustión ha generado un gran interés debido a la creciente preocupación por las emisiones de CO<sub>2</sub> y la degradación ambiental. Un método de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los gases de combustión que se considera prometedor es el uso de microalgas para la fotosíntesis. Por otra parte, los contaminantes de los gases de combustión podrían impedir el crecimiento de las microalgas, lo que reduciría la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> por las microalgas. Un nivel constante de pH puede ayudar a mitigar los efectos inhibidores de SO<sub>x</sub>, que contribuyen al pH bajo, mientras que NO<sub>x</sub> puede ser utilizado como fuente de nitrógeno para fomentar el crecimiento de las microalgas una vez que se disuelve y se oxida en el medio de cultivo. Fi-

jar el CO<sub>2</sub> de los gases de combustión y utilizar NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> como nutrientes generaría biomasa de microalgas, que puede utilizarse como materia prima adecuada para producir biocombustibles y bioproductos químicos (Ali et al., 2021). Las microalgas pueden utilizarse como materia prima sostenible para la producción de biodiésel mediante extracción de lípidos y un proceso de transesterificación debido a su alto contenido de lípidos y a sus tasas de crecimiento rápido. Sin embargo, es necesario eliminar una serie de obstáculos para producir biodiésel derivado de microalgas, como los altos costos de producción, la baja productividad de los lípidos y los temas relacionados con el crecimiento y la cosecha a gran escala. La producción de biodiésel a partir de microalgas parece tener un futuro prometedor con posibles usos en una serie de sectores, incluidos la agricultura, la energía y el transporte (Yen et al., 2015).

Los objetivos del presente estudio de investigación son diseñar y fabricar un fotobiorreactor urbano de 250 L operado por sistema de energía solar para cultivar *Chlorella vulgaris* en condición de agua dulce. Los experimentos incluyeron la muestra de control suministrada con aireación del medio ambiente, mientras que se realizaron dos experimentos con concentraciones intermitentes de CO<sub>2</sub> para investigar la influencia del CO<sub>2</sub> en la productividad de la biomasa y su biofijación. En días alternos se monitorearon y midieron los parámetros de crecimiento del cultivo de microalgas, como la eliminación de nutrientes, la productividad de la biomasa y el secuestro de CO<sub>2</sub>.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Medio de cultivo y nutriente de microalgas

El cultivo de microalgas de *Chlorella vulgaris* se obtuvo en los Laboratorios Karachi del Departamento de Recursos Marinos del Consejo de Investigación Científica e Industrial de Pakistán (PCSIR), mientras que el medio de cultivo (F/2) Guillard se preparó por litro con una composición de 34g de sal marina, 84,15 mg NaNO<sub>3</sub>, 6 mg Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 2,9 mg FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 10 mg Na<sub>2</sub>EDTA·2H<sub>2</sub>O, 33 mg Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, 1,96 mg CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 4,4 mg ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1,26 mg Ma<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 36 mg

MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 2 mg CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0,4 mg Vitamina B1, 0,002 mg Vitamina B12, 0,1 mg Biotina.

### 2.2 Diseño de un fotobiorreactor

Un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas incluye una serie de factores como las especies de microalgas, el diseño del fotobiorreactor, la elección de la fuente de luz, los mecanismos de mezcla, el suministro de nutrientes, el control de la temperatura y el pH, y consideraciones para la recolección y el procesamiento. En este diseño resulta crítico una relación alta entre superficie y volumen. Debido a la naturaleza dependiente de la reacción de la luz, una mayor superficie facilita una mayor penetración de la luz, que es un requisito fundamental para la fotosíntesis. Para lograr un equilibrio óptimo, se puede aumentar la relación entre superficie y volumen empleando diseños y configuraciones geométricamente eficientes. Este énfasis en la optimización de la relación superficie-volumen subraya la importancia de una exposición eficiente a la luz y una distribución eficiente de los nutrientes. Para un fotobiorreactor rectangular basado en su especificación geométrica, se puede calcular la superficie y el volumen mediante las siguientes ecuaciones (1) y (2):

$$A_s = 2HW + 2HL \quad (1)$$

$$V = HWL \quad (2)$$

Donde W es la anchura, H es la altura y L es la longitud del fotobiorreactor de pantalla plana. De acuerdo con la ecuación 3, la tasa de subida de la burbuja  $u_b$  y el diámetro medio de la burbuja  $d_b$  determinan la tasa de los cultivos de burbuja o aireación. La velocidad de las burbujas depende de su tamaño y de las características del fluido, por lo tanto, para las burbujas medianas en el agua, 0,24 m/s es un valor aceptable obtenido por la ecuación de Hadamard-Rybczynski El diámetro de la burbuja se puede estimar en función de las propiedades y condiciones del fluido utilizando la ecuación de Calderbank (Gaurav et al., 2024). Esta ecuación indica que cuanto menor es el tamaño de la burbuja, mayor es la tasa de corte y el daño resultante a los cultivos de microalgas.

$$Y_{\text{aireación}} = \frac{2 \cdot u_b}{d_b} \quad (3)$$

La Figura 1 muestra el diagrama esquemático de un fotobiorreactor urbano.

## FOTOBIORREACTOR DE MICROALGAS

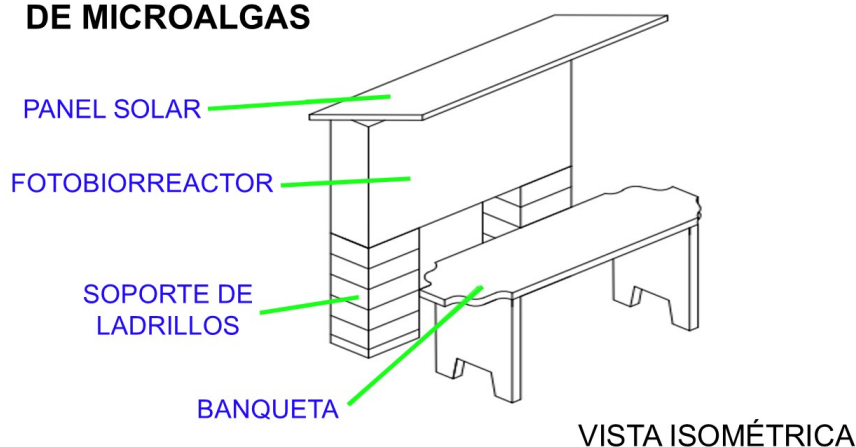


Figura 1. Vista isométrica del diseño de un fotobiorreactor urbano.

### 2.3 Condiciones experimentales del cultivo de microalgas en un fotobiorreactor

Se diseñó un fotobiorreactor de vidrio rectangular de 90cm de altura (35,43 pulgadas), 32cm de ancho (12,59 pulgadas), 121cm de longitud (47,63 pulgadas), con capacidad de volumen de aproximadamente ~ 350 L, mientras que su cubierta superior es de 97 cm (38,18 pulgadas) y 178 cm (70 pulgadas) con 500 W panel solar PV con tamaño 58 pulgadas × 26 pulgadas × 1,5 (largo × ancho y alto). El panel solar fotovoltaico se colocó en un ángulo de 30 grados en la parte superior del fotobiorreactor para aprovechar la energía solar de manera eficiente, pero también se alinea con las prácticas ecológicas contemporáneas, contribuyendo a una reducción de la huella de carbono. El fotobiorreactor estaba provisto de un marco metálico para albergar una batería, un inversor y una bomba de aire. Para las especies de microalgas *Chlorella vulgaris*, la fuente de luz para la fotosíntesis es un componente esencial del sistema, por lo que se instalaron dos leds de 7 W operado por sistema de energía solar. El fotobiorreactor utiliza una combinación de luz solar durante el día y luces led durante la noche, obtenida mediante el uso de energía solar. Para mantener una dispersión uniforme de la luz y los nutrientes, se proporcionan difusores de aire para una aireación adecuada desde el fondo del fotobiorreactor.

El cultivo de microalgas tuvo un volumen de trabajo de 100 L. Se utilizó el nutriente (medio es-

tándar F/2) como aditivo de crecimiento para los experimentos. El cultivo de microalgas se mantuvo bajo luz solar asistida durante los 10 días de tiempo de cultivo. La irradiancia de la luz solar en caída (Lux) en el fotobiorreactor y el panel solar fotovoltaico y los LED durante la noche se midieron con un medidor de intensidad de luz (MS6612T, Mastech, China). Cada experimento se midió con diferentes proporciones de cultivo, medio (nutrientes) y agua con/sin dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); de igual forma, los parámetros como pH, TDS, temperatura y EC se midieron usando un medidor de pH/ORP/EC/TDS/temperatura (EZ-9910, Multifunción, China).

Se realizaron tres experimentos según el siguiente protocolo, variando la concentración de dióxido de carbono en el cultivo de microalgas y en el agua (ver Tabla 1). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con una concentración de pureza del 98% se dosificó de forma intermitente en días alternos. La mezcla se logra utilizando difusores de aire operados por una bomba de aire (1780 GPH, Kulife Aquarium Air Pump, China), que suministra aire en una hora alternativa durante 15 minutos, alimentado por un sistema de energía solar. Se utilizó el cultivo de microalgas con aireación al aire y con enriquecimiento de CO<sub>2</sub> (200 g y 300 g) de inyección intermitente de CO<sub>2</sub> en las fases posteriores del experimento. Este estudio incluye tres conjuntos de experimentos para investigar el crecimiento de las microalgas a diversos niveles de concentración de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 1.** Ratios agua/medio (nutrientes) utilizados en el estudio experimental.

	Experimento n°1*	Experimento n°2*	Experimento n°3*
Agua (L)	40	40	40
Cultivo de microalgas (L)	10	10	10
Solución de medio nutritivo estándar F/2 (ml)	100	100	100
Tiempo de inyección intermitente de CO <sub>2</sub>	0	15 seg. (200 g de CO <sub>2</sub> )	25 seg. (300 g de CO <sub>2</sub> )

\*Cada experimento se repitió dos veces, y los resultados de los parámetros físicos y químicos se presentan como un valor promedio.

## 2.4 Biofijación de CO<sub>2</sub> por microalgas durante el cultivo

El caudal de CO<sub>2</sub> introducido en el fotobiorreactor se midió mediante la ecuación de continuidad (4):

$$Q = A \times V \quad (4)$$

Se midieron el caudal (Q), el área de la tubería (A) y la velocidad del gas CO<sub>2</sub> (V) inyectado en el sistema a través de una tubería de manguera de caucho con un diámetro (0,018 m) utilizado para inyectar CO<sub>2</sub> en el fotobiorreactor, usando un calibrador vernier a través del cual se calculó el área. Mientras que la velocidad del CO<sub>2</sub> inyectado en el tanque del fotobiorreactor se midió con un medidor meteorológico (Kestrel 4000NV, USA). El CO<sub>2</sub> se dosificó durante 15 segundos en el experimento # 1 y 25 segundos en el experimento # 2 en días alternos. El volumen de CO<sub>2</sub> inyectado se calcula multiplicando el caudal por el tiempo de dosificación y, a continuación, la masa de CO<sub>2</sub> se calcula por Densidad = Masa/ Volumen.

El uso de microalgas fotosintéticas para la captura de carbono ofrece el potencial de un sistema de captura sostenible, que puede reducir las emisiones y producir productos renovables (Borowitzka, 1999). La tasa de biofijación del carbono, R<sub>CO<sub>2</sub></sub> (g<sub>CO<sub>2</sub></sub> /L/ día) se calcula mediante la ecuación 5:

$$R_{CO_2} = \%C \times PB \left( \frac{MW_{CO_2}}{MW_C} \right) \quad (5)$$

El R<sub>CO<sub>2</sub></sub> se refiere a la tasa de biofijación del CO<sub>2</sub>, el % C indica el contenido total de carbono, el PB es la productividad de la biomasa (mg de biomasa producida por litro al día), el MW<sub>CO<sub>2</sub></sub> denota el peso molecular del CO<sub>2</sub> y el MW<sub>C</sub> es el peso molecular del carbono. %C es el contenido de carbono de la biomasa seca, estimado en ~ 50 (Borowitzka, 1999).

## 2.5 Modelización de la capacidad de transferencia volumétrica de masa de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un fotobiorreactor

La transferencia de masa en un fotobiorreactor es el flujo de sustancias entre las fases gaseosa y líquida, incluidos los gases (como el dióxido de carbono y el oxígeno) y los nutrientes. La transferencia de masa se ve favorecida en gran medida por la aireación, que generalmente se logra por el aire burbujeante a través del medio líquido. Como resultado se incrementa el área interfacial entre las fases líquida y gaseosa. La teoría de la película es un método común que se utiliza para explicar la transferencia de masa en la superficie de la interfaz gas-líquido (Amaral et al., 2019). Esta hipótesis afirma que la transferencia de masa se produce a través de un revestimiento líquido delgado que se forma alrededor de las burbujas de gas. La velocidad a la que una sustancia pasa de la fase gaseosa a la fase líquida se mide mediante el coeficiente de transferencia de masa (k) de la ecuación 6. Su definición es la relación entre el es-

pesor de la capa limítrofe ( $\delta$ ) en el punto de contacto entre gas y líquido y el coeficiente de difusión de la sustancia ( $D$ ) en un medio líquido. El coeficiente de transferencia de masa para O<sub>2</sub> en el fotobiorreactor viene dado por (Faruque et al., 2021).

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta el impacto de las dimensiones del fotobiorreactor en las tasas de transferencia de masa, incluyendo su superficie en los cálculos, la superficie del fotobiorreactor afecta directamente a las tasas de transferencia de masa, ya que determina la interfaz gas-líquido disponible para el intercambio de gas. Considerando la geometría única del reactor, la capacidad de transferencia volumétrica de masa calculada muestra las velocidades a las que las moléculas de dióxido de carbono y oxígeno pueden pasar de la fase gaseosa a la fase líquida por área unitaria de la interfaz gas-líquido. Esto se calcula mediante la ecuación 7 (Faruque et al., 2021):

$$k = \frac{D \times A}{\delta} \quad (7)$$

El área de superficie de un fotobiorreactor rectangular se calculó mediante la ecuación 8:

$$A = 2(L \times W + L \times H + W \times H) \quad (8)$$

## 2.6 Medición de los parámetros de crecimiento de las microalgas

### 2.6.1 Irradiancia y temperatura solares

La irradiancia solar en caída (Lux) en el fotobiorreactor y los LED durante la noche se midieron con un medidor de intensidad luminosa (MS6612T, Mastech, China).

### 2.6.2 pH, TDS, TSS y conductividad eléctrica

pH, TDS, TSS y conductividad eléctrica fueron por medidor multifuncional (EZ-9910, Multifunction, China).

### 2.6.3 Eliminación de nutrientes (nitratos y ortofosfato)

Las concentraciones de nitrato y ortofosfato se midieron con un espectrofotómetro DR-500 UV-Vis (Hach, EE.UU.). La cantidad de nitrato se midió añadiendo nitrato de aluminio en polvo (Hach,

EE.UU.) como reactivo a 10 mL de la muestra para detectar la concentración de nitrato. Para medir la cantidad de nitrato a 425 nm, se introdujeron 10 mL de la solución preparada en la muestra, de forma similar a como se añadieron y mezclaron adecuadamente las muestras agitando con 8 mL de solución reactiva combinada con procedimientos convencionales para el ensayo de agua y aguas residuales de acuerdo con las proporciones dadas para el método del ácido ascórbico (4500-P. E) para determinar la concentración de ortofosfato (Amaral et al., 2019). Se añadió una muestra de 10 mL de la solución a la célula de muestreo del espectrofotómetro después de 10 minutos, y la concentración se determinó a 880 nm.

### 2.6.4 Productividad de biomasa

La productividad de la biomasa se midió con un espectrofotómetro UV-Vis (DR 5000, Hach, EE.UU.) a 680 nm de Hach (EE.UU.). Según la bibliografía (Leflay et al., 2021), se evaluaron los rendimientos de la biomasa de microalgas durante un período de crecimiento de 10 días midiendo la densidad óptica. Se utilizó biomasa seca estándar de *Chlorella vulgaris* para graficar la concentración conocida de biomasa de microalgas (mg/mL) y la absorbancia a 680 nm.

## 2.7 Extracción de proteínas

La muestra líquida con mayor productividad de biomasa fue seleccionada para la detección de proteínas y análisis de ácidos grasos. Para la detección de proteínas, se utilizó el método estándar de Lowry para la extracción y cuantificación de proteínas. El análisis de extracción de proteínas se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Recursos Marinos y Alimentarios, Laboratorios PCSIR, Karachi.

## 2.8 Análisis de la composición de la extracción de lípidos y ácidos grasos

Se centrifugó una muestra de suspensión de microalgas cultivadas de 250 mL a 3000 rpm mediante centrifugadora multiuso (1580 R, Lab-Tech, Italia) durante 30 minutos para separar la fase líquida del contenido de biomasa orgánica. La biomasa orgánica se secó a 80 °C durante 3 horas en un horno (YCO-NO1, Gemmy Industrial corporation, Taiwán), después de secar las astillas de biomasa secas se pulverizaron en un mortero y el almirez. Se si-

guió el procedimiento de Bligh y Dyer para extraer lípidos de la biomasa de microalgas secas según la bibliografía, utilizando n-hexano como disolvente orgánico de extracción (Leflay et al., 2021) y se midió el rendimiento de lípidos extraídos en peso utilizando una balanza electrónica (AB 304-S, Mettler Tolendo, Suiza).

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Fotobiorreactor urbano fabricado

Se diseñó un fotobiorreactor urbano con dimensiones altura  $\times$  anchura  $\times$  longitud (35,43  $\times$  12,59  $\times$  47,63) pulgadas, con un volumen total de 350 L que muestra una estructura innovadora adaptada para el cultivo eficiente de microalgas para la mitigación del cambio climático, como se muestra en la Figura 2.

#### 3.2 Análisis de parámetros de crecimiento de microalgas

##### 3.2.1 Irradiancia y temperatura solares

La investigación indica que las temperaturas más altas pueden mejorar las actividades enzimáticas

involucradas en la asimilación de nutrientes y la acumulación de lípidos, fundamental para la producción de biocombustibles. Sin embargo, existe un intervalo óptimo de temperaturas para cada especie de alga, ya que las temperaturas excesivamente altas pueden dar lugar a estrés térmico, alterando las funciones celulares e impidiendo el crecimiento. El poder comprender y controlar las condiciones de temperatura resulta esencial para optimizar los sistemas de producción de biocombustibles basados en algas. Los resultados del experimento # 1 mostraron la irradiación solar y el perfil de temperatura para los 10 días de tiempo de cultivo, con valores promedio de 22,02 °C y 362,5 W/m<sup>2</sup> respectivamente (ver Tabla 2).

Las Tablas 3 y 4 muestran variaciones de temperatura durante el período de cultivo entre 22,3 y 24,0 °C y entre 23,9 y 25,3 °C para el experimento # 2 y # 3, respectivamente. La irradiación solar promedio medida para el experimento 1 y el experimento 2 fue de 391,9 y 430,4 W/m<sup>2</sup> respectivamente. La Tabla 4 indica que el intervalo óptimo de temperaturas para una mayor producción de biomasa está entre 24 y 25 °C, mientras que para la irradiación solar es de 430,4 W/m<sup>2</sup> lo que produce un máximo de 319,9 mg/L de rendimiento de biomasa de microalgas después de 10 días de período de cultivo.



Figura 2. Fotobiorreactor urbano diseñado y fabricado localmente.

##### 3.2.2 pH, TDS, TSS y conductividad eléctrica

El crecimiento y el metabolismo de las algas se ven influidos por el pH tanto para el comportamiento

de los fotobiorreactores como para el crecimiento de las microalgas, y desempeña un rol fundamental en la determinación de la disponibilidad de nutrientes

tes, la regulación de las actividades metabólicas y la salud general de las microalgas en el medio de cultivo (Shuler and Kargi, 2002). Además de depender de la solubilidad en CO<sub>2</sub>, el valor de pH del medio de cultivo parece estar influido por la absorción de nitrógeno, que es necesaria para el desarrollo de las células de las algas y el consumo posterior de nitrato por las microalgas (Borowitzka, 1999). El pH del medio del experimento # 1 fue entre 7,9 y 8,3, arrojando un promedio de 8,12 que es mayor que el valor deseado según la literatura (APHA, 2005), resultando en una menor productividad de la biomasa. Mientras que el pH medio del ciclo de cultivo se determinó en 7,57 en los experimentos 2 y 3 y se hallaron de acuerdo con la bibliografía anterior (APHA, 2005).

Los niveles de conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS) del medio de crecimiento son cruciales para controlar la disponibilidad y solubilidad de los nutrientes esenciales, incluidos el nitrógeno, el fósforo, el potasio y los micronutrientes. Los desequilibrios en los niveles

de TDS y CE, ya sea demasiado altos o bajos, pueden afectar la absorción de nutrientes por las algas, imponiendo limitaciones a su crecimiento. Además, los niveles elevados de TDS y CE pueden someter a las células de algas a un estrés osmótico causado por una mayor concentración de solutos en el medio de crecimiento, que difiere del entorno interno de la célula y afecta al equilibrio del agua y a la salud celular en general.

La Tabla 2 mostró una conductividad eléctrica decreciente de 1,34 a 0,98, esto se debe a que la CE está directamente relacionada con la concentración de iones en el medio, incluyendo nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y micronutrientes reducidos durante el período de cultivo. Sin embargo, la disponibilidad adecuada de nutrientes es crucial para el crecimiento de las microalgas durante su período de cultivo (Brindhadevi et al., 2021). Se observó una disminución considerable de la CE en el experimento # 2 y en el experimento # 3 entre 1,13 y 0,82 y entre 1,34 y 0,95, respectivamente (ver Tabla 3 y Tabla 4).

**Tabla 2.** Experimento n° 1 (proporciones utilizadas: 80% de agua y 20% de cultivo de microalgas).

Parámetros	Duración del cultivo				
	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 10
Temperatura (C)	21,8	22,7	21,9	21,3	22,4
Irradiación solar (W/m <sup>2</sup> )	365,9	342,6	383	397,1	323,9
pH	8,1	8	8,3	7,9	8,3
CE (μs/cm)	1,34	1,33	1,15	1,11	0,98
TDS (mg/L)	610	600	580	550	540
TSS (mg/L)	71	82	93	98	100
Ortofosfato (mg/L)	104	100	73	60	52
Nitrato (mg/L)	10	9,5	8,8	8,2	7,8
Absorbancia (abs)	0,11	0,14	0,16	0,2	0,23
Productividad de la biomasa (mg/L)	113,3	134,4	148,4	176,5	196,63

Se ha observado que el contenido de TDS disminuye drásticamente en los tres experimentos # 1, 2 y 3 durante el período de cultivo. La absorbancia (intensidad de la luz) es mayor en el experimento # 3 (con 300g de CO<sub>2</sub> introducidos en el fotobiorreactor), oscilando entre 0,12 y 0,49 de absorbancia que posteriormente disminuye la conductividad eléctrica de las sales en el sistema. Si bien la intensidad de la luz en sí misma no contribuye directamente a la conductividad eléctrica, tiene un impacto en la

fotosíntesis, el crecimiento de la biomasa y las actividades metabólicas y puede conducir a cambios en la composición iónica del medio de cultivo (Morales et al., 2018; Nezammahalleh et al., 2016). La reducción de los niveles de TDS y CE puede interpretarse como un resultado positivo, que indica el uso de nutrientes por las microalgas para su crecimiento y procesos metabólicos (Nezammahalleh et al., 2016).

El Total de Sólidos Suspendidos (TSS) mostró

una tendencia creciente notable, atribuida principalmente a la formación de biomasa insoluble dentro del sistema, tal como se presenta en las tablas 2, 3 y 4. Este fenómeno contribuye a la turbidez elevada del sistema. Es importante destacar que este aumento observado en los TSS no sólo es consecuencia de la formación de biomasa, sino también es un indicador valioso para cuantificar la productividad de la biomasa. Los crecientes niveles de TSS actúan como una medida tangible y fácilmente medible, ofreciendo un medio directo para medir la eficacia de la producción de biomasa dentro del sistema de cultivo del fotobiorreactor. La producción de biomasa de microorganismos como *Chlorella vulgaris* durante toda la fase de cultivo puede verse influida significativamente por los niveles de sólidos en suspensión total (TSS) y sólidos disueltos totales (TDS) en el agua. Durante el ensayo, la concentración de TSS

aumenta de 71 a 100 mg/L (experimento 1), de 74 a 105 mg/L (experimento 2) y de 81 a 110 mg/L (experimento 3), del día uno al día décimo durante el período de cultivo. Los altos niveles de TSS pueden afectar la penetración de la luz en el agua, reduciendo la disponibilidad de la luz para la fotosíntesis en las células de *Chlorella vulgaris*, lo que puede obstaculizar el crecimiento y la producción de biomasa (Morales et al., 2018).

### 3.2.3 Reducción de la concentración de nutrientes durante el tiempo de cultivo

Un suministro adecuado de nutrientes promueve el crecimiento de algas y aumenta la productividad de la biomasa. Se observa que una concentración de nutrientes externos, o la concentración de nutrientes en el medio de cultivo, controla la fase de crecimiento de las microalgas.

**Tabla 3.** Experimento n° 2 (proporciones utilizadas: 80 % de agua y 20% de cultivo con 200 g de CO<sub>2</sub> intermitentes).

Parámetros	Duración del cultivo				
	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 10
Temperatura (C)	23,8	22,5	22,9	22,3	24
Irradiación solar (W/m <sup>2</sup> )	412,6	377,8	410,9	390,4	367,8
pH	7,8	8	7,5	7,1	7,37
CE (μs/cm)	1,13	1,06	0,97	0,91	0,82
TDS (mg/L)	690	670	600	620	570
TSS (mg/L)	74	78	89	93	105
Ortofosfato (mg/L)	103	77	70	59	60
Nitrato (mg/L)	10	9,3	8,5	7,4	5,2
Absorbencia (abs)	0,091	0,11	0,135	0,21	0,24
Productividad de la biomasa (mg/L)	115,3	142,4	163,1	183,5	203,43

**Tabla 4.** Experimento n° 3 (proporciones utilizadas: 80 % de agua y 20% de cultivo con 300 g de CO<sub>2</sub>).

Parámetros	Duración del cultivo				
	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 10
Temperatura (C)	24,1	24,3	23,9	25,3	24
Irradiación solar (W/m <sup>2</sup> )	426,5	428,6	398,3	463,9	434,7
pH	8,5	7,7	7,5	7,6	7,1
CE (μs/cm)	1,34	1,27	1,35	0,99	0,95
TDS (mg/L)	740	720	690	60	580
TSS (mg/L)	81	87	102	99	110
Ortofosfato (mg/L)	102	89	85	65	40
Nitrato (mg/L)	10	8,1	7,3	5,8	4,2
Absorbencia (abs)	0,12	0,25	0,27	0,38	0,49
Productividad de la biomasa (mg/L)	120,3	211,5	225,6	302,7	318,76

Las tablas 2, 3 y 4 mostraron el patrón de eliminación de ortofosfato y nitrato por microalgas durante su ciclo de crecimiento. Los experimentos 1, 2 y 3 mostraron que el porcentaje de eliminación de ortofosfato del agua por microalgas fue del 50%, 41,74% y 60,78% respectivamente, mientras que la eliminación de nitratos fue del 22%, 48% y 58%, respectivamente durante el ciclo de crecimiento de 10 días. En el presente estudio, esta variabilidad en el porcentaje de fósforo extraído puede deberse a variaciones en la cantidad inicial de fósforo en los medios de cultivo y en las condiciones de cultivo (Barghbani et al., 2012). El contenido global de nitrógeno en los medios disminuye gradualmente durante el proceso de crecimiento para todas las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Esto podría deberse al anabolismo rápido de *Chlorella vulgaris* en los primeros días de la fase de cultivo (Barghbani et al., 2012). La *Chlorella vulgaris* ha consumido la máxima cantidad de ortofosfatos, que es un nutriente esencial para las microalgas, y es un componente crucial de los ácidos nucleicos, ATP (trifosfato de adenosina) y fosfolípidos, desempeñando un rol vital en varios procesos celulares. Una disponibilidad adecuada de fósforo favorece el crecimiento, el metabolismo y la reproducción de las células de *Chlorella vulgaris* (Sriwiriyarat and Mukhthong, 2021). Los resultados destacan la interacción dinámica entre la disponibilidad de nutrientes y el consumo de microalgas, con una reducción sustancial de las concentraciones de ortofosfato y nitrato que subrayan el buen uso de estos nutrientes por parte de las microalgas, demostrando un aporte positivo de nutrientes que favorece su crecimiento y productividad de la biomasa (Tavares et al., 2023).

### 3.2.4 Tasa de productividad de biomasa

Los resultados de productividad de la biomasa presentados en las tablas 2, 3 y 4 mostraron que la productividad de la biomasa en los dos experimentos iniciales # 1 y 2 estaba aumentando gradualmente; sin embargo, se observó que el experimento # 3 con 300 g de CO<sub>2</sub> intermitente estaba teniendo un patrón con un aumento significativo con respecto al período de cultivo. El patrón de aumento de biomasa presentó desde el primer día de cultivo 113,3, 115,3 hasta el décimo día de cultivo 120,3 hasta 196,6, 203,4 y 318,7 mg/L respectivamente. Aunque la productividad de la biomasa no fue demasiado, se puede mejorar optimizando la exposición del cultivo de microalgas a la luz solar y aumentando

el suministro de dióxido de carbono, potencialmente a partir de diversas fuentes de emisión de gases de escape. Este enfoque estratégico se alinea con el reconocimiento de la investigación de que las especies fotoautotróficas requieren cantidades sustanciales de carbono para lograr una producción óptima de biomasa (Razzak, 2019).

Los resultados tabulados del Experimento # 1 muestran que la productividad de la biomasa aumenta durante el tiempo de cultivo y la concentración máxima de biomasa resultó ser de 197,5 mg/L, lo que es significativamente menor que los resultados de los experimentos 2 y 3 utilizando inyecciones de CO<sub>2</sub>. El ensayo realizado con 200 g de CO<sub>2</sub> mostró un aumento progresivo de la concentración de biomasa durante la fase de cultivo. Las microalgas cultivadas en condiciones de medio ambiente y enriquecimiento atmosférico de CO<sub>2</sub> (denominado CO<sub>2</sub> 0,03% atmosférico), mostraron que la concentración de biomasa aumentó ligeramente. Adicionalmente, con 300 g de CO<sub>2</sub> se obtuvo la máxima concentración de biomasa, esto podría ser el resultado de las microalgas cultivadas con mayor concentración de CO<sub>2</sub> es decir, 300 g (Faruque et al., 2021).

### 3.3 Análisis estadístico de la productividad de la biomasa

En el análisis estadístico se utilizó la prueba de medias (HSD) de Tukey para determinar la significación de las diferencias entre pares de medias de productividad de biomasa en el día 10 del período de cultivo mediante el software Minitab (versión 17) con un nivel de significancia de ( $\alpha=0,05$ ). El análisis estadístico se realizó entre la muestra de control (experimento # 1) sin CO<sub>2</sub> suministrado de fuente externa (x1), el experimento # 2 con 200 g de CO<sub>2</sub> suministrado (x2) y el experimento # 3 con 300 g de CO<sub>2</sub> suministrado (x3) en el sistema de cultivo del fotobiorreactor.

La Tabla 5 mostró que el valor de p ( $6,306 \times 10^{-14}$ ) es altamente significativo y similar con diferencia entre x1 y x3, seguido por x2 y x3 en comparación con la muestra control (experimento # 1), es decir,  $p=0,0001$ . Así, se puede concluir que el suministro de CO<sub>2</sub> de fuente externa en el experimento # 2 y experimento # 3 tiene el mismo patrón de significancia estadística con la co-relación entre dos grupos de medias, teniendo un valor altamente significativo con x2 y x3.

**Tabla 5.** Declaración comparativa de la diferencia de las medias de productividad de la biomasa en la prueba de la HSD de Tukey.

Par	Diferencia	SE	Q	IC inferior	IC superior	Medio Crítico	valor p
x1-x2	6,8	0,4679	14,5344	4,7699	8,8301	2,0301	0,0001221
x1-x3	122,5	0,4679	261,833	120,4699	124,5301	2,0301	$6,306 \times 10^{-14}$
x2-x3	115,7	0,4679	247,2986	113,6699	117,7301	2,0301	$6,306 \times 10^{-14}$

### 3.4 Rendimiento de la extracción de proteínas y lípidos

Se recolectó la muestra de biomasa de microalgas para la extracción de proteínas y lípidos, mostrando la mayor productividad de biomasa. El contenido de proteína de biomasa microalgal seca del 7,98% en peso se obtuvo utilizando el método de Lowrys, y el rendimiento lipídico de 1,87 g/ 5 g de biomasa seca se obtuvo utilizando n-hexano en el método de extracción con disolvente. El resultado proteico indica un contenido proteico relativamente menor en comparación con otros estudios realizados en el pasado. Esta divergencia en el contenido proteico podría atribuirse a los parámetros experimentales empleados en este estudio utilizando el medio ambiente. A diferencia de la mayoría de las investigaciones enfocadas en aguas residuales, el método para utilizar los gases de escape de la atmósfera contiene cantidades importantes de óxidos de nitrógeno. La eliminación biológica de óxidos de nitrógeno por parte de las microalgas es un método potencial para convertir los óxidos de nitrógeno en proteínas (Lam and Lee, 2012).

En este caso, el nitrógeno atmosférico se usó en el fotobiorreactor con baja concentración, que es un macronutriente para el crecimiento de las microalgas y, por lo tanto, se observó una menor producción de proteínas. Los estudios que utilizan el medio sintético con la microalga verde *Scenedesmus dimorphus* en BG-11 en entornos de cultivo tanto interiores como exteriores muestran que *S. dimorphus* puede producir biomasa celular en entornos exteriores con hasta un 35% de proteína y un 37% de lípido total en condiciones de crecimiento específicas. Se demostró que los mayores rendimientos de proteínas y carbohidratos eran de 0,2 y 0,7 g/ 1/ día, respectivamente, y podían obtenerse en las primeras etapas del cultivo. El mayor rendimiento de lípidos, 0,17 g/1/día, ocurrió en una etapa tardía del cultivo. Estos resultados se obtuvieron mediante una combinación de manipulación de la disponibilidad de nitrógeno, la intensidad de la luz y la den-

sidad de inoculación celular (Çoban et al., 2021). La cantidad de nitrógeno en un medio de cultivo determina la tasa de desarrollo celular y la composición bioquímica de las microalgas. La investigación demostró que la inanición de nitrógeno en un medio de cultivo retrasa la tasa de crecimiento celular de las microalgas y reduce la síntesis de proteínas al aumentar el contenido de lípidos o carbohidratos (Razzak, 2019).

**Tabla 6.** Principales ácidos grasos identificados en los lípidos extraídos.

Nombre del ácido graso	g/100g Ácidos grasos totales
Mirístico (C14:0)	11,39
Palmítico (C16:0)	34,03
Palmitoleico (C16:1)	9,16
Esteárico (C18:0)	5,38
Oleico (C18:1n9c)	16,58
Linoleico (C18:2n6c)	4,52
g-linolénico (C18:3n6)	13,23
Eurico (C22:1n9)	5,66

### 3.5 Análisis de la composición de los ácidos grasos

Se extrajeron los lípidos de las microalgas y se realizó un análisis de composición de ácidos grasos presentado en la Tabla 6. Se identificó la composición lipídica para incluir ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico (C16:0), ácido palmitoleico (C16:1), ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:1) y ácido linolénico (C18:3). Este perfil detallado de ácidos grasos proporciona información sobre la influencia en las propiedades del biodiesel. Se observa que todos los principales ácidos grasos estaban presentes en el lípido extraído, teniendo propiedades favorables para producir biodiesel de microalgas.

La literatura destaca que la presencia de ácidos grasos saturados y monoinsaturados de cadena larga, particularmente C18:2 y C18:3, influye significativamente en el número de cetanos de biodiesel,

la estabilidad a la oxidación y el contenido de yodo. Se conoce que las cualidades del biodiésel están estrechamente relacionadas con la composición de los ácidos grasos libres. Por ejemplo, el ácido oleico (C18:1) mejora las propiedades del flujo frío, mientras que el ácido palmítico (C16:0) contribuye a una menor concentración de yodo y a un mayor número de cetano. Además, la presencia de ácido linoleico (C18:2) y ácido linolénico (C18:3) se asocia con propiedades de combustión mejoradas, contribuyendo a una mejor calidad general del combustible. El valor del yodo, un parámetro crítico para evaluar la estabilidad química del biodiésel y su susceptibilidad a la reacción oxidativa está significativamente influenciado por la presencia de ácidos grasos de doble enlace. Un mayor número de enlaces dobles aumenta el potencial de polimerización, reduciendo así la estabilidad a la oxidación. Esta comprensión de la composición de los ácidos grasos proporciona información valiosa sobre las posibles aplicaciones y cualidades del biodiésel derivado del cultivo de microalgas (Qie et al., 2019).

### 3.6 Inyección de CO<sub>2</sub> en el sistema del fotobiorreactor

El CO<sub>2</sub> intermitente inyectado en el sistema del fotobiorreactor con una velocidad de 25 m/s de CO<sub>2</sub> para el Experimento # 2 y el Experimento # 3 representó 15 seg y 25 seg respectivamente. El área de la tubería de la manguera de alimentación se calculó como  $2,54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  y la velocidad de CO<sub>2</sub> 25m/s, y el caudal encontrado fue de  $6,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (utilizando  $Q = AV$ ). Ahora, este caudal (Q) se multiplica por el tiempo de dosificación (t) utilizando la ecuación  $V = Q \times t$ , es decir, 15 segundos y 25 segundos para obtener el volumen de CO<sub>2</sub> gas introducido en el sistema de cultivo del fotobiorreactor. La masa del gas CO<sub>2</sub> introducido en el tanque del fotobiorreactor fue de 200 g y 300 g, calculados por ( $D = M/V$ ) para el Experimento # 2 y el Experimento # 3, respectivamente.

### 3.7 Biofijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) mediante el cultivo de microalgas

Las tasas de biofijación de CO<sub>2</sub> ( $R_{\text{CO}_2}$ ) se calculan utilizando la ecuación 5 para los tres experimentos

realizados en días alternativos. Por lo tanto, para calcular el  $R_{\text{CO}_2}$ , la productividad diaria de la biomasa se calculó utilizando la ecuación 9 de regresión obtenida a partir de una curva estándar:

$$y = 0,7015x + 0,0362 \quad (R^2 = 0,9987) \quad (9)$$

El % C se asumió como el 50% en peso seco de la biomasa de algas según la literatura (Scheufele et al., 2019), peso molecular de CO<sub>2</sub> 44,01 g/mol y peso molecular del carbono 12,01 g/mol.

La Figura 3 mostró que el Experimento # 1 tiene una tendencia lineal creciente en la tasa de biofijación durante los días de cultivo con el nivel más alto a 362,07 mg/L/día. Del mismo modo, el experimento # 2 también mostró un patrón similar, pero después del 7<sup>mo</sup> día de cultivo aumentó al nivel más alto a 374,92mg/L/día hasta el 9<sup>mo</sup> día de tiempo de cultivo. Este aumento se debió a la introducción de CO<sub>2</sub> intermitente (200 mg) en el fotobiorreactor para el cultivo de microalgas. El experimento # 3 mostró una tendencia drástica al aumento del cultivo del 1<sup>ro</sup> al 9<sup>mo</sup> día con la introducción de 300 mg de masa de CO<sub>2</sub> en el sistema del fotobiorreactor. El nivel más bajo y alto de la tasa de la bio-fijación fue de 220,55 y 586,48 mg/L/día en 1<sup>er</sup> día y 9<sup>mo</sup> día respectivamente.

Las altas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son esenciales para la fotosíntesis y tienen un impacto directo en las tasas de crecimiento a las que se cultivan las microalgas. La disponibilidad de CO<sub>2</sub> afecta significativamente la eficiencia de la fotosíntesis y a la productividad de la biomasa. Como componente crítico de las reacciones fotosintéticas, el aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> puede mejorar la eficiencia de este proceso, lo que en última instancia conduce a tasas más altas de producción de biomasa (Wang et al., 2013). En este estudio, se encontró que introducir menos CO<sub>2</sub> durante un período más corto de tiempo hace que se disuelva completamente debido al proceso de absorción gas-líquido, mientras que introducir más CO<sub>2</sub> durante un período más largo de tiempo reduce su capacidad de disolverse completamente porque las moléculas de gas no pueden entrar en las moléculas de agua, alcanzando el estado de equilibrio (Razzak et al., 2024).

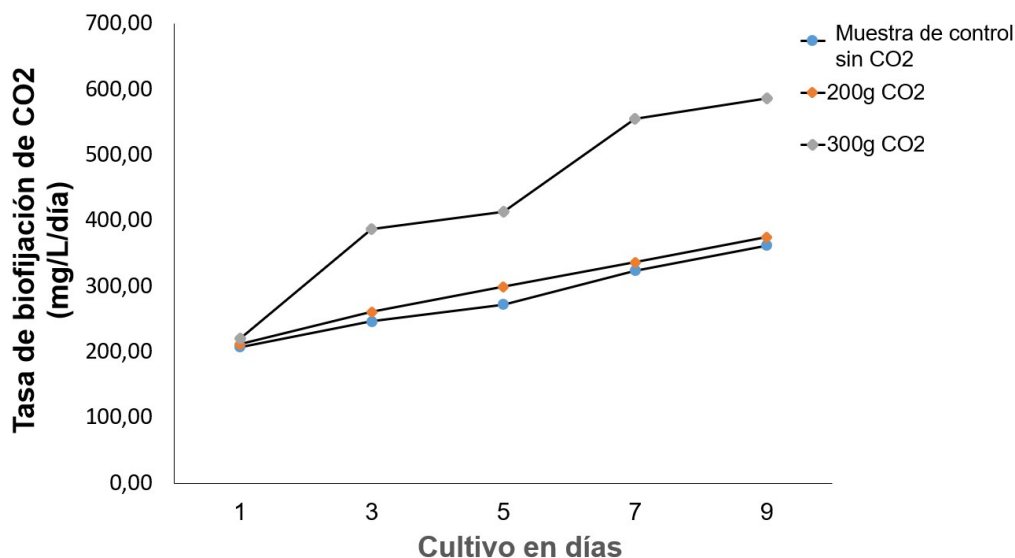


Figura 3. Tasa de biofijación de CO<sub>2</sub> de microalgas al tiempo de cultivo.

### 3.8 Modelización cinética de la capacidad de transferencia volumétrica de masa de CO<sub>2</sub>

La multiplicación del coeficiente de transferencia de masa de oxígeno (k) por la superficie del recipiente en un fotobiorreactor permite evaluar la capacidad del sistema para la transferencia tanto de oxígeno como de dióxido de carbono. Este producto combinado refleja la velocidad a la que estos gases pueden moverse eficientemente al medio de cultivo dentro del fotobiorreactor, necesario para apoyar las necesidades metabólicas de las algas que se cultivan. La superficie de un fotobiorreactor rectangular con dimensiones longitud (47,63 pulgadas), anchura (12,6 pulgadas) y altura (35,43 pulgadas) se calcula como 2734,08 pulgadas<sup>2</sup> (1,763 m<sup>2</sup>).

#### 3.8.1 Capacidad volumétrica de transferencia de masa (k) para el oxígeno:

El coeficiente de difusión de oxígeno en el agua (D<sub>O<sub>2</sub></sub>) fue de 2×10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup> /s y el grosor de la capa límite (δ en el caso de las pruebas de oxígeno) es de 0,02 metros.

$$k_{O_2} = \frac{2 \times 10^{-9} \times 1,763}{0,02} = 1,763 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

#### 3.8.2 Capacidad volumétrica de transferencia de masa (k) para el dióxido de carbono:

El coeficiente de difusión del dióxido de carbono en el agua (D<sub>CO<sub>2</sub></sub>) es de 1,9×10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup> /s y el grosor de la capa límite (en la sección de aguas) es de 0,02 m.

$$k_{CO_2} = \frac{1,9 \times 10^{-9} \times 1,763}{0,02} = 1,676 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \quad (11)$$

Las velocidades a las que las moléculas de oxígeno y dióxido de carbono pueden pasar de la fase gaseosa a la fase líquida de la interfaz gas-líquido están representadas por la capacidad de transferencia volumétrica de masa calculada. Un valor mayor denota una tasa de transferencia de gas más rápida y una mayor cantidad de transferencia de gas, lo que es necesario para mantener el metabolismo de las algas, incluida la fotosíntesis.

## 4 Conclusiones

La investigación desarrollada incluyó el diseño y fabricación de un fotobiorreactor urbano operado por el sistema de energía solar para cultivar especies de microalgas de *Chlorella vulgaris* para la eliminación de nutrientes, producción de biomasa, producción de proteínas y secuestro de CO<sub>2</sub>. La investigación incluyó el seguimiento de los parámetros de cultivo durante un período de cultivo de 10 días. Se

compararon tres condiciones experimentales, y se encontró que el experimento #3 tuvo una mayor productividad de biomasa de 318,76 mg/L al introducir 300 g de CO<sub>2</sub> intermitente en el sistema de cultivo y las eficiencias de eliminación de nutrientes fueron de 60,78% (ortofosfato) y 58% (nitrato). El análisis estadístico encontró que la introducción de CO<sub>2</sub> de una fuente externa en experimentos #2 y #3 resultó en el mismo patrón de significancia estadística, con una co-relación entre dos conjuntos de medias (valor  $p = 6,306 \times 10^{-14}$ ). Los rendimientos de proteínas y lípidos fueron del 7,98% y 37,4% en peso respectivamente. Las capacidades volumétricas de transferencia de masa de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para KO<sub>2</sub> y KCO<sub>2</sub> fueron de  $1,763 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  y  $1,676 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente.

La capacidad media de transferencia de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se ve mejorada por la agitación continua en un fotobiorreactor, esencial para mantener condiciones óptimas para el cultivo de microalgas. Los lípidos extraídos contenían calidades favorables de ácidos grasos para la producción de microalgas biodiésel, mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:1) y linoléico (C18:3). Un fotobiorreactor urbano de microalgas es una estrategia respetuosa con el medio ambiente que puede hacer mejorar en gran medida la economía basada en la biotecnología y disminuir los efectos perjudiciales del CO<sub>2</sub> producido por la quema convencional de combustibles fósiles en el medio ambiente.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad NED, Karachi, por proporcionar las instalaciones de laboratorio y los fondos para este estudio de investigación. Este trabajo fue apoyado a través de una subvención financiera proporcionada por la Junta de Estudios Avanzados e Investigación de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de NED [Número de referencia: Acad /50 (48) /4168].

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses. Todos los coautores han examinado la obra y están de acuerdo con su contenido. Además,

los autores afirman que la presentación es su trabajo original.

## Contribución de los autores

S.K.: Investigación, metodología y redacción del borrador original. M.A.: Conceptualización, supervisión, obtención de fondos, análisis formal y edición. A.M.: Redacción - revisión y edición. A.I.: Escritura y procesamiento de datos.

## Referencias

- Ali, M., Masood, A., and Saleem, M. (2021). Microalgae cultivation in wastewater for simultaneous nutrients removal and biomass production. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 12:475–485. Online: <https://n9.cl/answax>.
- Amaral, A., Gillot, S., Garrido-Baserba, M., Filali, A., Karpinska, A., Plósz, B., De Groot, C., Bellandi, G., Nopens, I., and Takács, I. (2019). Modelling gas-liquid mass transfer in wastewater treatment: when current knowledge needs to encounter engineering practice and vice versa. *Water science and technology*, 80(4):607–619. Online: <https://n9.cl/5vgwj>.
- APHA (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 21st edition.
- Barghbani, R., Rezaei, K., and Javanshir, A. (2012). Investigating the effects of several parameters on the growth of *Chlorella vulgaris* using Taguchi's experimental approach. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 1(2):128. Online: <https://n9.cl/iohvx>.
- Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of biotechnology*, 70(1-3):313–321. Online: <https://n9.cl/shstm>.
- Brindhadevi, K., Mathimani, T., Rene, E., Shanmugam, S., Chi, N., and Pugazhendhi, A. (2021). Impact of cultivation conditions on the biomass and lipid in microalgae with an emphasis on biodiesel. *Fuel*, 284:119058. Online: <https://n9.cl/9isnj>.

- Çoban, A., Şimşek, G., and Çetin, A. (2021). Effect of nitrogen source on growth and protein and lipid amounts of a freshwater microalga *Scenedesmus acutus*. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(2):215–220. Online: <https://n9.cl/m9igzn>.
- Faruque, M., Mohammed, K., Hossain, M., and Razzak, S. (2021). Influence of elevated CO<sub>2</sub> concentrations on growth, nutrient removal, and CO<sub>2</sub> biofixation using *Chlorella kessleri* cultivation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18:913–926. Online: <https://n9.cl/qhk2pc>.
- Gaurav, K., Neeti, K., and Singh, R. (2024). Microalgae-based biodiesel production and its challenges and future opportunities: A review. *Green Technologies and Sustainability*, 2(1):100060. Online: <https://n9.cl/znc4x>.
- Lam, M. and Lee, K. (2012). Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology advances*, 30(3):673–690. Online: <https://n9.cl/w9fok>.
- Leflay, H., Pandhal, J., and Brown, S. (2021). Direct measurements of CO<sub>2</sub> capture are essential to assess the technical and economic potential of *algacoccus*. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 52:101657. Online: <https://n9.cl/ng2a3>.
- Mahapatra, S., Kumar, D., Singh, B., and Sachan, P. (2021). Biofuels and their sources of production: A review on cleaner sustainable alternative against conventional fuel, in the framework of the food and energy nexus. *Energy Nexus*, 4:100036. Online: <https://n9.cl/8wa5y>.
- Morales, M., Sánchez, L., and Revah, S. (2018). The impact of environmental factors on carbon dioxide fixation by microalgae. *FEMS microbiology letters*, 365(3):fnx262. Online: <https://n9.cl/h6rnz>.
- Nezammahalleh, H., Ghanati, F., Adams, T., Nosrati, M., and Shojaosadati, S. (2016). Effect of moderate static electric field on the growth and metabolism of *Chlorella vulgaris*. *Bioresource technology*, 218:700–711. Online: <https://n9.cl/5rotd>.
- Qie, F., Zhu, J., Rong, J., and Zong, B. (2019). Biological removal of nitrogen oxides by microalgae, a promising strategy from nitrogen oxides to protein production. *Bioresource technology*, 292:122037. Online: <https://n9.cl/fmenw>.
- Razzak, S. (2019). In situ biological CO<sub>2</sub> fixation and wastewater nutrient removal with *Neochloris oleoabundans* in batch photobioreactor. *Bioprocess and biosystems engineering*, 42(1):93–105. Online: <https://n9.cl/yq31m7>.
- Razzak, S., Bahar, K., Islam, K., Haniffa, A., Faruque, M., Hossain, S., and Hossain, M. (2024). Microalgae cultivation in photobioreactors: Sustainable solutions for a greener future. *Green Chemical Engineering*, 5(4):418–439. Online: <https://n9.cl/2lhn0>.
- Rehman, M., Kesharvani, S., Dwivedi, G., and Suneja, K. (2022). Impact of cultivation conditions on microalgae biomass productivity and lipid content. *Materials Today: Proceedings*, 56:282–290. Online: <https://n9.cl/nl31us>.
- Rodionova, M., Poudyal, R., Tiwari, I., Voloshin, R., Zharmukhamedov, S., Nam, H., Zayadan, B., Bruce, B., Hou, H., and Allakhverdiev, S. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12):8450–8461. Online: <https://n9.cl/0xwr4>.
- Saratale, R., Ponnusamy, V., Jeyakumar, R., Sirohi, R., Piechota, G., Shobana, S., Dharmaraja, J., Lay, C.-H., Saratale, G., and Shin, H. (2022). Microalgae cultivation strategies using cost-effective nutrient sources: Recent updates and progress towards biofuel production. *Bioresource Technology*, 361:127691. Online: <https://n9.cl/srjve>.
- Scheufele, F., Hinterholz, C., Zaharieva, M., Najdenski, H., Módenes, A., Trigueros, D., Borba, C., Espinoza-Quiñones, F., and Kroumov, A. (2019). Complex mathematical analysis of photobioreactor system. *Engineering in life sciences*, 19(12):844–859. Online: <https://n9.cl/xtk4h>.
- Shuler, M. and Kargi, F. (2002). *Bioprocess Engineering- Basic Concepts*. Prentice-Hall, second edition edition.
- Sievert, K., Cameron, L., and Carter, A. (2023). Why the cost of carbon capture and storage remains persistently high. Online: <https://n9.cl/grhfk>.
- Sriwiriyarat, T. and Mukhthong, M. (2021). The feasibility study of using microalgae for polishing consumer-products industrial effluent containing high total dissolved solids. *Thai Environmental Engineering Journal*, 35(1):1–14. Online: <https://n9.cl/9kjzb>.

- Stojiljković, D. and Spasojević, I. (2023). Urban photo-bioreactor liquid3. Green Product Award. Online:<https://n9.cl/xx5ch>.
- Tavares, L., Nudi, M., Arroyo, P., Godoy, R., and Trevisan, E. (2023). Effect of different concentrations of phosphorus and nitrogen on the growth of the microalgae *Chlorella vulgaris*. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 14(4):563–572. Online:<https://n9.cl/vmaxgx>.
- United Nations (2024). Causes and effects of climate change. United Nations. Online:<https://n9.cl/nij3r>.
- Valavanidis, A. (2023). Extreme weather events exacerbated by the global impact of climate change. glimpse of the future, if climate change continues unabated. Online:<https://n9.cl/5nffq>.
- Wang, L., Li, Y., Sommerfeld, M., and Hu, Q. (2013). A flexible culture process for production of the green microalga *Scenedesmus dimorphus* rich in protein, carbohydrate or lipid. *Bioresource Technology*, 129:289–295. Online:<https://n9.cl/ghase>.
- Yen, H., Ho, S., Chen, C., and Chang, J. (2015). CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> removal from flue gas via microalgae cultivation: A critical review. *Biotechnology Journal*, 10(6):829–839. Online:<https://n9.cl/dy725>.



## IDENTIFICACIÓN DE UN PÉPTIDO ANTIMICROBIANO DE *CHAMAEMELUM NOBILE*

### IDENTIFICATION OF AN ANTIMICROBIAL PEPTIDE FROM *CHAMAEMELUM NOBILE*

Diana Daniela Portela Dussán<sup>1</sup>, Sandra Mónica Estupiñan Torres<sup>2</sup> y Silvio  
Alejandro Lopez-Pazos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Sciences, Universidad Antonio Nariño, Carrera 3 Este 47A-15, Bogotá D.C., Colombia.

<sup>2</sup>Faculty of Health Sciences, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Calle 28 No. 5B-02 Bogotá D.C., Colombia.

\*Autor para correspondencia: [alejandrolopezpazos@uan.edu.co](mailto:alejandrolopezpazos@uan.edu.co)

Manuscrito recibido el 14 de julio de 2023. Aceptado, tras revisión, el 02 de abril de 2024. Publicado el 1 de marzo de 2025.

#### Resumen

*Chamaemelum nobile*, o manzanilla romana, es una planta que contiene propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas. Los péptidos antimicrobianos (AMP) son parte del sistema de defensa de las plantas, que incluye a los péptidos de transferencia de lípidos (LPT). Nuestro objetivo es identificar una proteína relacionada con LPT de *C. nobile* (cnLTP). Se realizó la PCR sobre el ADN de *C. nobile* para la identificación del gen cnLTP; se utilizó bioinformática para su caracterización, y una prueba de sensibilidad contra *Rhizoctonia solani*. cnLTP tiene 99 aminoácidos, 9,8 kDa, punto isoelectrico de 9,39, 33 residuos alifáticos, índice alifático de 85, hidropaticidad de 0,127, cuatro hélices alfa y cuatro puentes disulfuro. Se encontró que el fluido apoplásico de *C. nobile* (1 µg/mL) inhibe el desarrollo de *R. solani*. Este estudio contribuye al conocimiento de un LTP novedoso y no caracterizado, utilizando enfoques *in silico* y experimentales.

**Palabras clave:** Manzanilla romana, péptido antimicrobiano, proteína de transferencia de lípidos, *Rhizoctonia solani*.

#### Abstract

*Chamaemelum nobile*, or Roman chamomile, is a plant containing anti-inflammatory and antimicrobial properties. Antimicrobial peptides (AMPs) are part of the plant defense system including lipid transfer peptides (LTPs). Our objective is to identify a LTP-related protein from *C. nobile* (cnLTP). PCR was performed on *C. nobile* DNA for identifying cnLTP gene. Bioinformatics was used for their characterization, and a sensitivity test was carried out on *Rhizoctonia solani*. cnLTP has 99 amino acids, 9.8 kDa, isoelectric point of 9.39, 33 aliphatic residues, aliphatic index of 85, hydrophobicity

of 0.127, four alpha-helices and four disulfide bridges. An inhibitory activity of apoplast fluid of *C. nobile* was determined at 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  on *R. solani*. This study contributes in the knowledge of a novel and non-characterized LTP using *in silico* and experimental related approaches.

**Keywords:** Roman chamomile, Antimicrobial peptide, Lipid transfer protein, *Rhizoctonia solani*.

---

Forma sugerida de citar: Portela Dussán, D., Estupiñan Torres, S. y Lopez-Pazos, S. (2025). Identificación de un péptido antimicrobiano de *Chamaemelum nobile*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 41(1):118-126. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.07>.

---

IDs Orcid:

Diana Daniela Portela Dussán: <https://orcid.org/0000-0003-2949-7033>

Sandra Mónica Estupiñan Torres: <https://orcid.org/0000-0002-6937-4567>

Silvio Alejandro Lopez-Pazos: <https://orcid.org/0000-0002-3682-4162>

## 1 Introducción

Las proteínas relacionadas con la patogénesis (PR) se pueden detectar a nivel basal en los tejidos sanos de las plantas, pero aumentan su presencia ante el ataque de patógenos. La activación de las PR puede comenzar solo después de una fase de interacción de la planta-patógeno, a partir del reconocimiento de patrones moleculares asociados con microorganismos (PAMPs) por receptores de reconocimiento de estos patrones (PRR) presentes en la membrana celular de las plantas, o mediante el reconocimiento de elicitores como proteínas con dominios de unión a nucleótidos y repeticiones ricas en leucina (NB-LRR). La concentración de PRs aumenta con la transducción de señales químicas como el ácido salicílico, el etileno y el ácido jasmónico durante la primera etapa de activación de los mecanismos de defensa (Zhou and Zhang, 2020; Boyd et al., 2013). Los péptidos antimicrobianos (AMPs) son una parte de las PRs, tienen un peso molecular menor a 10 kDa y una actividad antimicrobiana *in vitro*. Los AMPs se producen por microorganismos, animales y plantas como mecanismo de defensa contra los patógenos (Bin Hafeez et al., 2021).

Los AMPs tienen menos de 200 aminoácidos, se expresan constitutivamente y se inducen en tejidos susceptibles como primordios foliares, estomas y epidermis. Por ejemplo, en *Nicotiana megalosiphon* se evidenció que tras la inoculación con *Peronospora hyoscyami* sp. *tabacina* expresó en hojas un gen de defensina, y en *Brassica oleracea* inoculada con *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* se expresaron genes de AMPs en tallo y hojas; también se observó que el pimiento inoculado con *X. campestris* pv. *vesicatoria* provocó una alta transcripción en el gen CaAMP1, y su expresión generó tolerancia a *Phytophthora sojae* (Sharma et al., 2022; Niu et al., 2020; Jiang et al., 2011; Portieles et al., 2010). Se ha evidenciado que los AMPs catiónicos como las tioninas alfa/beta, defensinas y los péptidos de transferencia de lípidos (LTPs) interactúan con grupos aniónicos de la bicapa fosfolipídica en los microorganismos. También se forman micelas que permiten el flujo de iones hacia el espacio extracelular con descompensación osmótica, lisis celular y muerte (Kovaleva et al., 2020).

Los AMPs aniónicos, como los ciclotidos, interactúan con la membrana citoplasmática de los

patógenos a través de fuerzas electrostáticas entre los residuos polares de un AMP y las cabezas hidrofílicas de los fosfolípidos, mediante el reconocimiento de la columna vertebral quiral del glicerol. La fuerza electrostática de esta unión compleja está determinada por una interacción iónica entre el grupo amonio de la fosfatidiletanolamina y el grupo carboxilo de un glutamato conservado del bucle 1 del AMP (Venkatesan and Roy, 2023; Troeira Henriques and Craik, 2017). La permeabilización sufrida por la membrana citoplasmática en la interacción microorganismo/AMP no es del todo clara. Se han descrito cuatro posibles mecanismos: (i) hélices peptídicas que forman un haz en la membrana con un lumen central, (ii) los AMPs se acumulan en la superficie de la bicapa lipídica interactuando con las cabezas hidrofílicas de los fosfolípidos, cubriendo la membrana como una alfombra y causando la desorganización de la bicapa lipídica, (iii) los AMPs se insertan en la membrana, formando un poro e induciendo una flexión continua de la monocapa lipídica, lo que provoca que la superficie hidrófoba de la membrana se oriente hacia el exterior y la superficie hidrofílica hacia el interior, formando un canal acuoso con pérdida de polaridad, (iv) el AMP provoca un desplazamiento competitivo de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (Boparai and Sharma, 2020; Li et al., 2012).

La manzanilla romana *Chamaemelum nobile* (L.) es una hierba perenne aromática, con un tallo ramificado y alargado que alcanza una altura de entre 20 y 30 cm, que sostiene una cabeza floral formada por hojas blancas con lígulas segmentadas y folíolos bien definidos. Crece en zonas templadas, es adaptable y se utiliza en varios tipos de suelos ácidos con suficiente agua. *C. nobile*. Contiene entre un 0,24% y 1,9% de aceites volátiles y alrededor de 120 metabolitos secundarios, incluidos flavonoides (quercetina, luteolina, apigenina, patuletina), alfa-bisabolol y óxidos de bisabolol A y B, azulenos (camazuleno), monoterpenos (alfa-pineno), sesquiterpenos (farneseno), cumarinas (herniarina y umbeliferona). Su composición le otorga posibles propiedades terapéuticas reconocidas (antiinflamatorias, espasmolíticas, sedantes, antioxidantes, anticoagulantes, antihiperlipidémicas, repelentes y antimicrobianas).

La producción mundial de *C. nobile* supera las 1000 toneladas/año. Se utilizan 800 kg de tallo floral/ha para producir entre 0,8% y 1,5% de aceites esenciales. De igual forma, se pueden obtener com-

puestos fenólicos y alcanos de las semillas, frutos o raíces. Los aceites de *C. nobile* son efectivos *in vitro* contra *Staphylococcus aureus* (0,1 mg/mL), *Escherichia coli* (0,1 mg/mL), *Bacillus subtilis* (0,05 mg/mL), *Pseudomonas aeruginosa* (12,5 y 25 mg/mL), *P. tolaasii* (300 mg/mL), *Candida albicans* (0,1 mg/mL), y hongos como *Aspergillus candidus*, *Penicillium* sp., *Fusarium culmorum* y *A. niger* (900 mg/mL) (Ghaedi et al., 2015; Kazemian et al., 2015; Srivastava et al., 2010; Sadari et al., 2005).

El objetivo de esta investigación fue encontrar un AMP catiónico de *C. nobile* (denominado cnLTP) enfocado en identificar la secuencia de ADN de un LTP. Los parámetros a utilizar fueron las pruebas bioinformáticas y moleculares, y la evaluación sobre *Rhizoctonia solani*, que es un patógeno de la papa.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Cultivo de *C. nobile*

Se utilizaron semillas comerciales de manzanilla romana en un medio de propagación (Mezcla de Sales y Vitaminas de Murashige y Skoog (MS) suplementado con 20 mg/L de sacarosa, 0,1 mg/L de bencilaminopurina (BAP), 0,5 mg/L de ácido naftalenoacético (ANA), 0,25 mg/L de ácido giberélico (GA3)). Las semillas se mantuvieron en condiciones de temperatura constante (20 °C) y humedad (70%).

### 2.2 PCR para la detección del gen cnLTP

Para extraer el ADN, se sumergieron las hojas de *C. nobile* de plántulas *in vitro* en un tubo que contenía tampón de lisis (200 mM Tris HCl pH 7,5, 250 mM NaCl, 25 mM EDTA, 0,5% SDS), solución de precipitación (isopropanol) y tampón TE 1X como diluyente (Edwards et al., 1991). Se realizó PCR utilizando 1X tampón PCR, 2,5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0,2 mM de dNTPs, 0,4 μM de cada cebador y 0,2 U de Taq ADN polimerasa. Las condiciones del ciclo térmico fueron: una fase de desnaturalización a 95 °C durante 5 min, seguida de 30 ciclos consistentes en desnaturalización (95 °C por 1 min), alineamiento (50 °C por 1 min), extensión (72 °C por 1 min) y una extensión final (72 °C por 5 min).

Los productos de PCR se determinaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1,2%

y se secuenciaron (Macrogen, EE. UU.). Los cebadores directo e inverso para LTP fueron 5'-GACTGCTCAACGGTTCAGTAAAGTTGA-3' y 5'-TCAACTTTACTGAACCGTTGAGCAGTC-3', respectivamente (Rojas, 2010). Los datos de la secuencia obtenida se depositaron en GenBank (ID: MT294300).

### 2.3 Caracterización *in silico* de cnLTP

Se empleó la secuencia de nucleótidos de cnLTP para obtener su secuencia de aminoácidos, utilizando la herramienta "Translate" del servidor Expasy (<http://web.expasy.org/translate/>) (Artimo et al., 2012). Para prever el posible rol del AMP, se realizó un análisis comparativo usando BLASTp (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLASTp/>) (Shah et al., 2018) para encontrar secuencias similares en bases de datos de proteínas. La anotación bioquímica de cnLTP se realizó usando ProtParam (<https://web.expasy.org/protparam/>) (Artimo et al., 2012). El modelado por homología de cnLTP se llevó a cabo utilizando el servidor I-TASSER (<https://zhanglab.ccmb.med.umich.edu/I-TASSER/>) (Zhang, 2009). El mejor resultado obtenido en la anotación de cnLTP fue para un LTP de *Nicotiana tabacum*, que se utilizó como plantilla (PDB ID: 1T12A; 73% de identidad, 91% de cobertura de consulta; valor E de 7e-43). Las figuras se realizaron con DeepView (<https://spdbv.vital-it.ch/>) (Johansson et al., 2012).

### 2.4 Prueba de susceptibilidad de *R. solani* utilizando fluido apoplástico de *C. nobile*

El fluido de lavado apoplástico (AWF) de *C. nobile* se extrajo de hojas (Butt et al., 2019; Gentzel et al., 2019). Primero, se lavaron las hojas maduras (~ 1 g) con agua destilada estéril para eliminar los exudados citoplasmáticos de las células dañadas, y luego se determinó el peso fresco. Los segmentos de hojas se infiltraron en un frasco que contenía 250 mL de agua destilada estéril a 4 °C y presión de vacío de 20 kPa, lo que permite que el aire escape y facilite el flujo de agua en el espacio intercelular, lavando las moléculas de AWF. Una vez completado el método de presión, el frasco se agitó lentamente hasta liberar aire y vacío para reducir la lisis celular y evitar la contaminación citoplasmática.

La presión de vacío se repitió hasta que las hojas quedaron completamente infiltradas, volviéndose de color oscuro. El AWF se recuperó de los segmentos de hojas secados con papel de laboratorio suave y envueltos en parafilm; luego, se centrifugaron a 4 °C, 10,000 rpm durante 10 min. Se utilizó el ensayo de Bradford para medir la concentración de proteínas (Bradford, 1976). La evaluación de la calidad de los péptidos de AWF se realizó mediante tricina-SDS-PAGE. Se completó la evaluación preliminar de la actividad biológica del AWF sobre *R. solani* utilizando 10 cm del micelio que se cultivó en medio PDA, y se añadieron carriles de AWF a cada lado, extendiéndose más allá de los extremos de la estructura fúngica existente en una base decreciente gradual, utilizando concentraciones de 0,1 µg/mL a 1 µg/mL.

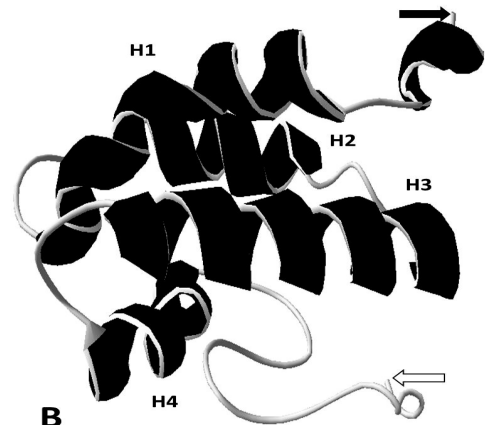
Se utilizó una suspensión de la cepa PAO1 de *P. aeruginosa* como control positivo (control negativo: agua en lugar de AWF como muestra, datos no mostrados). El *R. solani* se incubó durante cinco días a 30 °C. Se midió el efecto de las proteínas del AWF en *R. solani* mediante el desplazamiento del micelio en la placa de Petri.

### 3 Resultados

Las semillas de manzanilla romana se cultivaron en un medio MS suplementado con hormonas de crecimiento con el objetivo de inducir la germinación y el crecimiento de plántulas adecuadas para la extracción de ADN genómico. La PCR identificó un producto de aproximadamente 300 pb, que pudo ser determinado mediante secuenciación. Esta secuencia se comparó con las entradas de nucleótidos registradas en la base de datos GenBank utilizando el programa BLAST (Shah et al., 2018). La secuencia de ADN (297 pb) mostró una estrecha relación con los LTPs de tomate (identidad 96%, valor E 4e-57, cobertura 96%, NCBI). Este conocimiento, a su vez, permitió deducir la secuencia del cnLTP (99 residuos) que codifica el ADN y que contiene únicamente secuencias de ADN codificante para el péptido maduro, sin señal peptídica ni sitio de poliadenilación. La secuencia de aminoácidos en el cnLTP y, por lo tanto, la función de la proteína, está determinada por ocho residuos de C que están enlazados en cuatro puentes disulfuro (Figura 1A).

cnLTP -----APHGSALTCGQVESGLAPCLPYLQKGPLGGCCRGVKGLLGA  
 AMN10034.1 MEMSSKIACFIVLCMIVVAPHGEALSCGQVESGLAPCLPYLQKGPLGGCCRGVKGLLGA  
 NP\_001316314 MEMSSKIACFIVLCMIVVAPHGEALSCGQVESGLAPCLPYLQKGPLGGCCRGVKGLLGA  
 \*\*\*\* \*.:\*\*\*\*\*  
  
 cnLTP AKTPADRKTACTCLKSAANAIGKLNLGKAAGIPACGVNIPYKISPFPTDCSKVQKAL  
 AMN10034.1 AKTPADRKTACTCLKSAANAIGKLNLGKAAGIPACGVNIPYKISPFPTDCSKVQ---  
 NP\_001316314 AKTPADRKTACTCLKSAANAIGKLNLGKAAGIPACGVNIPYKISPFPTDCSKVQ---  
 \*\*\*\*\*:\*\*\*\*\*

**A**



**B**

**Figura 1.** Estructura de cnLTP. A. Alineación de dos LTPs de tomate con cnLTP, asociada con propiedades fisicoquímicas según Clustal Omega (Sievers and Higgins, 2014): en rojo, aminoácidos pequeños e hidrofóbicos (junto con aromáticos -Y); en azul, ácidos; en magenta, básicos - H; en verde, hidroxilo, sulfhidrilo, amina y G; en gris, aminoácidos e iminoácidos inusuales. B. Modelo 3D de cnLTP, la flecha negra indica el terminal N, la flecha blanca señala el terminal C. Las hélices están indicadas y coloreadas en negro.

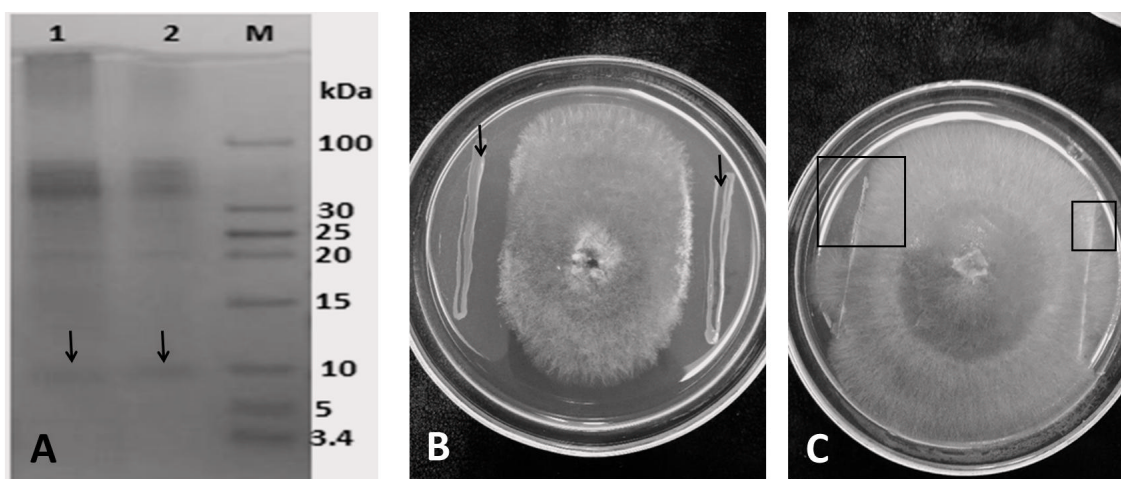
El peso molecular teórico del cnLTP es de 9,8 kDa y su punto isoeléctrico es de 9,39. Además, el péptido está compuesto por 33 residuos alifáticos (A, V, I y L), el índice alifático del cnLTP es 85, el cual determina el volumen ocupado por cadenas

laterales alifáticas, y contiene 12 residuos cargados positivamente debido a la conformación catiónica del cnLTP a pH neutro, y tres residuos cargados negativamente. La hidropatía es 0,127, lo que indica la presencia de una cavidad hidrofóbica donde tam-

bién ocurre la interacción con lípidos. El cnLTP está formado por cuatro alfa-hélices. La primera hélice (P2-Q24) presenta una estructura H1A (P2-S5) formada por dos pliegues en His3 y Gly4, y H1B (P18-L23) formada por cuatro pliegues en Q11, G15, C19 y Y22. La segunda hélice H2 (C32-L39) contiene tres pliegues en R34, G35 y L39. La tercera hélice H3 (P46-A62) comprende siete pliegues en D48, K50, A52, T54, L56, K57, A59 y N61. La cuarta hélice H4 (L68-C78) encierra pliegues en G69, I74 y S76. Las cuatro alfa-hélices están conectadas por tres bucles cortos, L1 (G25-G31), L2 (L40-T45) y L3 (I63-N67) (Figura 1B). El cnLTP está estabilizado por cuatro puentes disulfuro formados entre C9-C33, C19-C55, C32-C78 y C53-C92, los cuales se calcularon mediante DISULFIND (<http://disulfind.dsi.unifi.it/>)

(Ceroni et al., 2006). El cnLTP contiene 50 residuos hidrofóbicos: A, V, L, I, P, F y C, estando la mayoría en el interior del péptido, formando una cavidad hidrofóbica, lo que es característico de esta familia de AMPs (Li et al., 2012).

La evaluación biológica del fluido apoplástico de *C. nobile* se llevó a cabo teniendo en cuenta la concentración de proteínas (2,37 mg/mL), así como la presencia intrínseca de péptidos de bajo peso molecular, de aproximadamente 10 kDa, lo que indicaría que son LTPs (Figura 2A). Las pruebas de antagonismo indicaron un efecto inhibitorio sobre *R. solani* a una concentración de 1 µg/mL (Figuras 2B-2C).



**Figura 2.** Bioensayo del AWF de *C. nobile* en *R. solani*. A. Tricina SDS-PAGE mostró una banda de 10 kDa relacionada con LTPs en el AWF de *C. nobile* (líneas 1 y 2, M es el marcador de peso molecular). B. Control positivo que contiene carriles con suspensión de la cepa *P. aeruginosa* PAO1 (flechas negras). C. Micelio de *R. solani* con carriles de AWF de *C. nobile* a cada lado, que se fueron extendiendo gradualmente en el medio; los cuadros muestran las áreas de inhibición.

## 4 Discusión

Los péptidos permiten que las bacterias evadan la defensa del huésped y se proliferen al impedir la señalización celular, la migración celular e incluso pueden matar directamente las células de respuesta. Los péptidos tienen mecanismos de daño complejos sobre las membranas celulares (ruptura), la síntesis de proteínas (inhibición), los segundos mensajeros (activación) o la respuesta de defensa (activación) (Yang and Yousef, 2018). Hasta ahora, se ha sugerido que una caracterización bioquímica específica enfocada en la actividad biológica específica o un diseño asistido por computadora son vías para el

descubrimiento de nuevas opciones biotecnológicas (Rondon-Villarreal and Pinzon-Reyes, 2018).

En los LTPs, una secuencia señal es la responsable de dirigir el péptido hacia la membrana citoplasmática, donde es llevada en el extremo N por una aminopeptidasa, y el péptido maduro se exporta al espacio intercelular, donde ejerce su actividad biológica (Pagnussat et al., 2012). El cnLTP maduro tiene una sustitución conservada (T-S), además de dos sustituciones semiconservadas (E-S, N-S). Se ha informado que la conservación del sitio de fosforilación de S (que podría ser intercambiado por T o E fosforilables) sería uno de los residuos clave para el

plegamiento de la proteína (Pearlman et al., 2011). La presencia de la cavidad hidrofóbica es esencial en la familia de los LTPs, ya que permite la unión y transferencia de lípidos, por ejemplo, un LTP de trigo que tenía una cavidad hidrofóbica capaz de atraer prostaglandina B2 y movilizarla entre fracciones microsomales y mitocondrias. La cavidad hidrofóbica de los LTP puede unirse a ácidos grasos saturados (12–19 átomos de carbono), ácidos grasos insaturados de diferentes longitudes de cadena (16–18 átomos de carbono) y geometría de insaturación, lisolípidos (14–16 átomos de carbono) y ácido jasmónico (Melnikova et al., 2016; Tassin-Moindrot et al., 2000).

Los LTPs se dividen en dos grupos según su peso molecular y conformación estructural: (i) tipo 1 (9-10 kDa), que están formados por cuatro alfa-hélices y se caracterizan por tener actividad inhibitoria sobre fitopatógenos; (ii) tipo 2 (7,0 kDa), que también están formados por cuatro alfa-hélices, pero no muestran actividad inhibitoria sobre los patógenos de las plantas (Finkina et al., 2016). El cnLTP pertenece al tipo 1 de los LTPs, en particular por su peso molecular (9.8 kDa) y sus cuatro alfa-hélices. Los LTPs tienen actividad biológica contra bacterias y hongos como *Clavibacter michiganensis*, *P. solanacearum*, *P. syringae*, *Alternaria brassicola*, *Ascochyta pisi*, *Colletotrichum lindemuthianum*, *F. solani*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Verticillium dahliae* (Finkina et al., 2016). Las pruebas de antagonismo indicaron un efecto inhibitorio del AWF de *C. nobile* sobre *R. solani*, por ejemplo, se ha evaluado la actividad antimicrobiana de los aceites de *C. nobile* sobre *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. (Sharifzadeh et al., 2016). La localización de un LTP en la pared celular y su externalización hacia el espacio intercelular por una secuencia señal sugiere su presencia en el fluido apoplástico, como se ha evidenciado en *Arabidopsis thaliana*, *B. oleracea*, *Ricinus communis* y *Vigna unguiculata* (Missaoui et al., 2022). Se aislaron dos LTPs (IWF1 e IWF2) del fluido de lavado intercelular de *Beta vulgaris* con actividad antifúngica sobre *Cercospora beticola*, demostrando su presencia en el AWF (Nielsen et al., 1996). I-TASSER puede indicarnos cómo el cnLTP interactúa con componentes celulares; por ejemplo, el cnLTP puede unirse químicamente al ácido palmítico, ya que este constituye el 30% de todos los fosfolípidos (Carta et al., 2017).

## 5 Conclusiones

Este proyecto exploró el problema de la identificación y caracterización de nuevos AMPs de *C. nobile*. Se encontraron características relevantes del cnLTP (por ejemplo, la cavidad hidrofóbica o los puentes disulfuro); de igual forma, se analizó su actividad sobre *R. solani*. Finalmente, las plantas medicinales como *C. nobile* pueden ser una fuente interesante de AMPs para ser utilizados en Biotecnología, ya que poseen claves para la síntesis mejorada de nuevas moléculas o moléculas optimizadas, creando condiciones para su adaptación.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad Antonio Nariño (proyecto 2022207) y la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca (Acuerdo 081 de 2020).

## Contribución de los autores

DDPD; Conceptualización, investigación, tratamiento de datos, visualización, escritura del borrador original. SMET; Administración del proyecto. SALP; Conceptualización, investigación, administración del proyecto, tratamiento de datos, visualización, escritura del borrador original, escritura-revisión y edición.

## Referencias

- Artimo, P., Jonnalagedda, M., Arnold, K., Baratin, D., Csardi, G., De Castro, E., Duvaud, S., Flegel, V., Fortier, A., Gasteiger, E., Hernandez, C., Ioannidis, V., Kuznetsov, D., Liechti, R., Moretti, S., Mostaguir, K., Redaschi, N., Rossier, G., Xenarios, I., and Stockinger, H. (2012). Expasy: Sib bioinformatics resource portal. *Nucleic acids research*, 40(W1):W597–W603. Online:https://n9.cl/6qsqz.
- Bin Hafeez, A., Jiang, X., Bergen, P., and Zhu, Y. (2021). Antimicrobial peptides: an update on classifications and databases. *International journal of molecular sciences*, 22(21):11691. Online:https://n9.cl/7j3e1.

- Boparai, J. and Sharma, P. (2020). Mini review on antimicrobial peptides, sources, mechanism and recent applications. *Protein and peptide letters*, 27(1):4–16. Online:https://n9.cl/7ca86.
- Boyd, L., Ridout, C., O'Sullivan, D., Leach, J., and Leung, H. (2013). Plant-pathogen interactions: disease resistance in modern agriculture. *Trends in genetics*, 29(4):233–240. Online:https://n9.cl/mzus9.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2):248–254. Online:https://n9.cl/dtt60.
- Butt, U., Naz, R., Nosheen, A., Yasmin, H., Keyani, R., Hussain, I., and Hassan, M. (2019). Changes in pathogenesis-related gene expression in response to bioformulations in the apoplast of maize leaves against fusarium oxysporum. *Journal of Plant Interactions*, 14(1):61–72. Online:https://n9.cl/47u486.
- Carta, G., Murru, E., Banni, S., and Manca, C. (2017). Palmitic acid: physiological role, metabolism and nutritional implications. *Frontiers in physiology*, 8:902. Online:https://n9.cl/u84aoj.
- Ceroni, A., Passerini, A., Vullo, A., and Frasconi, P. (2006). Disulfind: a disulfide bonding state and cysteine connectivity prediction server. *Nucleic acids research*, 34(Web Server issue). Online:https://n9.cl/n0oc5):W177–W181.
- Edwards, K., Johnstone, C., and Thompson, C. (1991). A simple and rapid method for the preparation of plant genomic dna for pcr analysis. *Nucleic acids research*, 19(6):1349. Online:https://bit.ly/3UFvZb8.
- Finkina, E., Melnikova, D., and Bogdanov, I. (2016). Lipid transfer proteins as components of the plant innate immune system: structure, functions, and applications. *Acta Naturae*, 8(2):47–61. Online:https://n9.cl/6pyyvl.
- Gentzel, I., Giese, L., Zhao, W., Alonso, A., and Mackey, D. (2019). A simple method for measuring apoplast hydration and collecting apoplast contents. *Plant Physiology*, 179(4):1265–1272. Online:https://n9.cl/cd1nud.
- Ghaedi, M., Naghiha, R., Jannesar, R., and Mirtamizdoust, B. (2015). Antibacterial and antifungal activity of flower extracts of urtica dioica, chamaemelum nobile and salvia officinalis: Effects of Zn[OH]<sub>2</sub> nanoparticles and hp-2-minh on their property. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 32:353–359. Online:https://n9.cl/5rvne.
- Jiang, H., Song, W., Li, A., Yang, X., and Sun, D. (2011). Identification of genes differentially expressed in cauliflower associated with resistance to xanthomonas campestris pv. campestris. *Molecular biology reports*, 38:621–629. Online:https://n9.cl/djhw6.
- Johansson, M., Zoete, V., Michielin, O., and Guex, N. (2012). Defining and searching for structural motifs using deepview/swiss-pdbviewer. *BMC bioinformatics*, 13:1–11. Online:https://n9.cl/gog0w7.
- Kazemian, H., Ghafourian, S., Heidari, H., Amiri, P., Yamchi, J., Shavalipour, A., Houri, H., Maleki, A., and Sadeghifard, N. (2015). Antibacterial, anti-swarming and anti-biofilm formation activities of chamaemelum nobile against pseudomonas aeruginosa. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 48:432–436. Online:https://n9.cl/w42wgt.
- Kovaleva, V., Bukhteeva, I., Kit, O., and Nesmelova, I. (2020). Plant defensins from a structural perspective. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15):5307. Online:https://n9.cl/rs0vj.
- Li, Y., Xiang, Q., Zhang, Q., Huang, Y., and Su, Z. (2012). Overview on the recent study of antimicrobial peptides: origins, functions, relative mechanisms and application. *Peptides*, 37(2):207–215. Online:https://n9.cl/lmj10.
- Melnikova, D., Mineev, K., Finkina, E., Arseniev, A., and Ovchinnikova, T. (2016). A novel lipid transfer protein from the dill anethum graveolens l.: isolation, structure, heterologous expression, and functional characteristics. *Journal of Peptide Science*, 22(1):59–66. Online:https://n9.cl/p1gau.
- Missaoui, K., Gonzalez-Klein, Z., Pazos-Castro, D., Hernandez-Ramirez, G., Garrido-Arandia, M., Brini, F., Diaz-Perales, A., and Tome-Amat, J. (2022). Plant non-specific lipid transfer proteins: An overview. *Plant Physiology and Biochemistry*, 171:115–127. Online:https://n9.cl/gyqyk.

- Nielsen, K., Nielsen, J., Madrid, S., and Mikkelsen, J. (1996). New antifungal proteins from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) showing homology to non-specific lipid transfer proteins. *Plant Molecular Biology*, 31:539–552. Online:https://n9.cl/pvxezo.
- Niu, L., Zhong, X., Zhang, Y., Yang, J., Xing, G., Li, H., Liu, D., Ma, R., Dong, Y., and Yang, X. (2020). Enhanced tolerance to phytophthora root and stem rot by over-expression of the plant antimicrobial peptide caamp1 gene in soybean. *BMC genetics*, 21:1–10. Online:https://n9.cl/f9rr6r.
- Pagnussat, L., Burbach, C., Baluška, F., and de la Canal, L. (2012). An extracellular lipid transfer protein is relocalized intracellularly during seed germination. *Journal of experimental botany*, 63(18):6555–6563. Online:https://n9.cl/i93pf.
- Pearlman, S., Serber, Z., and Ferrell, J. (2011). A mechanism for the evolution of phosphorylation sites. *Cell*, 147(4):934–946. Online:https://n9.cl/lh5n4.
- Portieles, R., Ayra, C., Gonzalez, E., Gallo, A., Rodriguez, R., Chacon, O., Lopez, Y., Rodriguez, M., Castillo, J., and Pujol, M. (2010). Nmdef02, a novel antimicrobial gene isolated from *Nicotiana megalosiphon* confers high-level pathogen resistance under greenhouse and field conditions. *Plant biotechnology journal*, 8(6):678–690. Online:https://n9.cl/f12lm.
- Rojas, A. (2010). Identificación de genes tipo péptido antimicrobiano provenientes de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Rondon-Villarreal, P. and Pinzon-Reyes, E. (2018). Computer aided design of non-toxic antibacterial peptides. *Current topics in medicinal chemistry*, 18(13):1044–1052. Online:https://n9.cl/je9o7g.
- Saderi, H., Owlia, P., Hosseini, A., and Semiyari, H. (2005). Antimicrobial effects of chamomile extract and essential oil on clinically isolated *Porphyromonas gingivalis* from periodontitis. In *III WOC-MAP Congress on Medicinal and Aromatic Plants*, volume 6, pages 145–146. *Acta horticulturae*.
- Shah, N., Altschul, S., and Pop, M. (2018). Outlier detection in blast hits. *Algorithms for Molecular Biology*, 13:1–9. Online:https://n9.cl/cwep59.
- Sharifzadeh, A., Javan, A., Shokri, H., Abbaszadeh, S., and Keykhosravi, K. (2016). Evaluation of antioxidant and antifungal properties of the traditional plants against foodborne fungal pathogens. *Journal de Mycologie Médicale*, 26(1):e11–e17. Online:https://n9.cl/d8ldk.
- Sharma, P., Kaur, J., Sharma, G., and Kashyap, P. (2022). Plant derived antimicrobial peptides: Mechanism of target, isolation techniques, sources and pharmaceutical applications. *Journal of Food Biochemistry*, 46(10):e14348. Online:https://n9.cl/n7751.
- Sievers, F. and Higgins, D. (2014). Clustal omega. *Current protocols in bioinformatics*, 48(1):3–13. Online:https://n9.cl/1eihb.
- Srivastava, J., Shankar, E., and Gupta, S. (2010). Chamomile: A herbal medicine of the past with a bright future. *Molecular medicine reports*, 3(6):895–901. Online:https://n9.cl/fqf5r.
- Tassin-Moindrot, S., Caille, A., Douliez, J., Marion, D., and Vovelle, F. (2000). The wide binding properties of a wheat nonspecific lipid transfer protein: solution structure of a complex with prostaglandin b2. *European Journal of Biochemistry*, 267(4):1117–1124. Online:https://n9.cl/nky5q.
- Troeira Henriques, S. and Craik, D. (2017). Cyclotide structure and function: The role of membrane binding and permeation. *Biochemistry*, 56(5):669–682. Online:https://n9.cl/sx0eik.
- Venkatesan, J. and Roy, D. (2023). Cyclic cystine knot and its strong implication on the structure and dynamics of cyclotides. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 91(2):256–267. Online:https://n9.cl/qcmf6g.
- Yang, X. and Yousef, A. (2018). Antimicrobial peptides produced by *Brevibacillus* spp.: structure, classification and bioactivity: a mini review. *World journal of microbiology and biotechnology*, 34:1–10. Online:https://n9.cl/bqf5o.
- Zhang, Y. (2009). I-tasser: Fully automated protein structure prediction in casp8. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 77(S9):100–113. Online:https://n9.cl/xo92s.
- Zhou, J. and Zhang, Y. (2020). Plant immunity: danger perception and signaling. *Cell*, 181(5):978–989. Online:https://n9.cl/98e2d.



# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA, MICROBIANA E HIGIÉNICA DE LA LECHE DE VACA PRODUCIDA POR REBAÑOS EN LOS ANDES PERUANOS

## ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL, MICROBIAL, AND HYGIENIC QUALITY OF RAW COW MILK PRODUCED IN DAIRY HERDS FROM THE PERUVIAN ANDES

Fernando Arauco Villar\*<sup>1</sup>, Leonor Guzmán Estremadoyro<sup>1</sup>, Rafael Pantoja Esquivel<sup>1</sup>, Noemí Mayorga Sánchez<sup>1</sup>, Ide Unchupaico Payano<sup>1</sup> y Alex Rubén Huamán de la Cruz<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Zootecnia, Av. Mariscal. Castilla N. 39 El Tambo, Huancayo, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Perú.

<sup>3</sup>Universidad Peruana Unión, Unidad de Posgrado.

\*Autor para correspondencia: [faraucov@gmail.com](mailto:faraucov@gmail.com)

Manuscrito recibido el 18 de junio de 2021. Aceptado, tras revisión el 27 de febrero de 2024. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

El estudio se llevó a cabo en el Valle del Mantaro, Región Junín, Perú, con el objetivo de evaluar propiedades fisicoquímicas, calidad microbiana e higiénica de 40 muestras de leche cruda recolectada de rebaños bovinos lecheros de cuatro provincias: Huancayo (n = 13), Concepción (n = 11), Jauja (n = 9) y Chupaca (n = 7). Las propiedades fisicoquímicas se cuantificaron mediante la evaluación del contenido de grasa, densidad, sólidos no grasos, proteína, adición de agua, punto de congelación, sales, sólidos totales, lactosa y pH utilizando el analizador de leche Lactoscan SP. La calidad microbiana se determinó a través de bacterias mesófilas viables (VMB), coliformes totales (TC), coliformes fecales (FC) y levaduras y mohos (YMC). Además, la presencia de antibióticos se midió mediante el kit de prueba SNAPduo \* ST plus y el tiempo de reducción mediante la reducción de colorante azul de metileno (MBRT). Los resultados reportados en este estudio indican que las propiedades fisicoquímicas de la leche cruda de vaca fueron adecuadas en comparación con los niveles estándar. En calidad microbiana, solo Chupaca mostró valores superiores (6,28 log ufc/mL) a los recomendados (5,3 log ufc/mL). Asimismo, las bacterias totales por mL en Huancayo (H,  $19,12 \times 10^5$ ) y Concepción (C,  $1,18 \times 10^5$ ) fueron relativamente altas en comparación con el nivel aceptable ( $1 \times 10^5$  bacterias por mL de leche cruda). La presencia de antibiótico se encontró en el 37,5% (n = 15) del total de muestras (n = 40). El análisis MBRT informó 32,5%, 45,0% y 22,5%, como de calidad excelente, buena y aceptable, respectivamente. Así, se concluyó que las propiedades fisicoquímicas presentaron nivel adecuado mientras que la calidad microbiana en las zonas fue buena pero recomendable para enriquecer las prácticas higiénicas, la higiene personal en el manejo de la leche por presencia de microbios y concienciar al público en temas de seguridad.

---

**Palabras clave:** calidad de la leche, características fisicoquímicas, calidad bacteriológica, ganadería lechera andina.

---

### Abstract

The study was performed in Mantaro Valley, Junín, Perú, with the aim to evaluate the physicochemical, microbial, and hygienical quality of 40 raw cows' milk collected from dairy herds from four provinces: Huancayo (n = 13), Concepción (n = 11), Jauja (n = 9), and Chupaca (n = 7). Physicochemical properties were quantified by evaluating the fat content, density, non-fat-solids, protein, water add, freezing point, salts, total solids, lactose, and pH using the milk analyzer Lactoscan SP. Microbial quality was determined through viable mesophilic bacteria (VMB), total coliforms (TC), fecal coliforms (FC), and yeast and mold (YMC). In addition, antibiotic presence was measured by SNAPduo\*ST plus test kit and Reduction time by Methylene Blue Dye Reduction (MBRT). The results found in this work indicate that physicochemical features of raw cow milk were adequate compared to standard levels. In microbial quality, only Chupaca showed higher values (6.28 log cfu/mL) than recommended (5.3 log cfu/mL). Likewise, total bacterial/mL in Huancayo (H,  $19.12 \times 10^5$ ) and Concepcion (C,  $1.18 \times 10^5$ ) were relatively high concerning the acceptable level ( $1 \times 10^5$  bacteria/mL of raw milk). Antibiotic presence was found in 37.5% (n = 15) from the total of samples (n = 40). MBRT analysis reported 32.5%, 45.0%, and 22.5%, as of excellent, good, and acceptable quality, respectively. Thus, it was concluded that physicochemical properties presented an appropriate level whereas microbial quality in the areas was good but is recommendable for enriched hygienic practices, personal hygiene in milk handling due to microbial presence, and educating the public on safety issues.

**Keywords:** milk quality, physicochemical characteristics, bacteriological quality, Andean dairy farming.

---

Forma sugerida de citar: Arauco Villar, F., Guzmán Estremadoyro, L., Pantoja Esquivel, R., Mayorga Sánchez, N., Unchupaico Payano, I. y Huamán de la Cruz, A. (2025). Evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiana e higiénica de la leche de vaca producida por rebaños en los Andes peruanos. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):127-139. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.08>.

---

#### IDs Orcid:

Fernando Arauco Villar: <https://orcid.org/0000-0002-1768-8388>  
Leonor Guzmán Estremadoyro: <https://orcid.org/0000-0002-1817-1356>  
Rafael Pantoja Esquivel: <https://orcid.org/0000-0001-7080-1426>  
Noemí Mayorga Sánchez: <https://orcid.org/0000-0001-6157-468X>  
Ide Unchupaico Payano: <https://orcid.org/0000-0001-6922-9311>  
Alex Huamán De La Cruz: <https://orcid.org/0000-0003-4583-9136>

## 1 Introducción

La leche de vaca tiene una composición bioquímica compleja y es el principal tipo de leche consumida a nivel mundial (Boudalia et al., 2016). Debido a sus características, que incluyen una importante fuente de nutrientes, proteínas, vitaminas, carbohidratos y grasas energéticas, es altamente recomendable tanto para la protección inmunológica como para la dieta humana (MINAGRI, 2005). La leche ofrece un entorno para el crecimiento microbiano y la proliferación de agentes zoonóticos, lo que acelera la degradación de su calidad y vida útil (Gemechu and Amene, 2016; Kra et al., 2013). Teóricamente, la leche recién obtenida de un animal sano es segura para el consumo humano (Thorning et al., 2016). Sin embargo, la leche puede contaminarse fácilmente durante o después de ser secretada por la ubre, debido a patógenos transmitidos por los alimentos o microorganismos de descomposición presentes en el alimento del animal, el suelo, el aire, el agua, las heces de los animales, los equipos o el contacto humano (Elrahman et al., 2009; Owusu-Kwarteng et al., 2020).

Además, la prevalencia de microorganismos de descomposición y agentes patógenos en la leche y los productos lácteos puede estar influenciada por un gran número de factores y sus posibles combinaciones. Entre estos factores se incluyen el nivel de higiene, el estado de salud de la vaca, el rebaño y el entorno, las condiciones de ordeño y almacenamiento previo, las prácticas de manejo en la granja, las tecnologías empleadas, los riesgos microbianos, los alimentos suministrados al ganado, las prácticas de cría, la estación del año y la ubicación geográfica (Alhussien and Dang, 2018; Hnini et al., 2018; Owusu-Kwarteng et al., 2020). Los riesgos para la inocuidad alimentaria asociados al consumo de productos lácteos y leche de vaca varían entre los países en desarrollo (pequeños productores lecheros) y los países desarrollados (industriales con tecnologías de pasteurización). Por tanto, una alta presencia bacteriana indica una higiene deficiente en la producción o una pasteurización ineficaz de la leche (Owusu-Kwarteng et al., 2020).

En Perú se producen aproximadamente 2.8 millones de toneladas métricas (MMT) de leche líquida por año, y el consumo per cápita de leche es de 84 litros (USDA, 2019). Las regiones de Cajamarca

(18%), Arequipa (18%) y Lima (13%) concentran la mayor producción lechera, con algunas granjas modernas y tecnologías avanzadas (Bernet et al., 2001). Sin embargo, la mayor parte de la producción de leche proviene de pequeños rebaños (USDA, 2019). En el Valle del Mantaro se producen aproximadamente 80,000 litros de leche por día, de los cuales el 7% se destina a la producción de queso, mantequilla, yogurt y otros derivados (Correo, 2019).

Por tanto, la producción de leche en el Valle del Mantaro es fundamental para el sustento de la población. Sin embargo, no existen datos publicados sobre la composición y calidad higiénica de la leche cruda de vaca producida por pequeños productores. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad de la leche a través de sus propiedades fisicoquímicas y su análisis microbiológico. Previamente, se realizó una encuesta a los propietarios y administradores de los rebaños lecheros, así como a los recolectores de leche, para identificar los posibles factores de riesgo que puedan estar influyendo en la calidad de la leche

## 2 Material y Métodos

### 2.1 Zona de estudio y población

El estudio se llevó a cabo en el Valle del Mantaro (VM), ubicado en la región Junín, Perú, a 3,200 msnm, y constituido por las provincias de Jauja (J), Concepción (C), Huancayo (H) y Chupaca (CH). El VM es un valle interandino de origen fluvial con una actividad agrícola diversificada, que incluye la producción de varios cultivos como maíz, papas y hortalizas. La actividad lechera en la zona no está muy desarrollada y se caracteriza por pequeños hatos de menos de tres vacas; hatos medianos, de entre cuatro y diez vacas; y los más grandes, que cuentan con más de diez y hasta cien vacas.

### 2.2 Protocolo de muestreo

El estudio se llevó a cabo entre octubre de 2019 y febrero de 2020. Se recolectaron 40 muestras de leche provenientes de rebaños lecheros y centros de acopio (planta de procesamiento y mercados de alimentos) en cuatro provincias: Huancayo (n =13), Concepción (n =11), Jauja (n =9) y Chupaca (n =7), ubicadas en el Valle del Mantaro, región Junín, Perú. La selección de los criterios se realizó mediante

muestreo discrecional, considerando únicamente rebaños con una población mayor a 5 vacas.

Las muestras de leche fueron recolectadas de manera aséptica utilizando un balde estéril, directamente de los tarros lecheros seleccionados aleatoriamente de acuerdo con el volumen de producción del rebaño lechero. Las muestras se almacenaron en frascos de vidrio estériles con una capacidad de 500 mL y fueron transportadas al laboratorio dentro de una caja de poliestireno con refrigerante (3 °C– 9 °C) (Brousett-Minaya et al., 2015) para los análisis correspondientes. Todo el equipo utilizado para la recolección de las muestras de leche fue esterilizado y mantenido limpio para evitar contaminación o influencias en las propiedades o composición de la leche (Brousett-Minaya et al., 2015).

### 2.3 Análisis fisicoquímico de muestras de leche cruda de vaca

Los componentes de la leche (proteína, grasa, sólidos y sólidos no grasos (SNF), y lactosa) y las características físicas (porcentaje de agua, punto de congelación, sales y densidad) fueron cuantificados mediante un analizador de leche Lactoscan SP (Apple Industries Services-La Roche Sur Foron, Francia). Se tomaron 25 mL de cada muestra de leche en el portamuestras, colocando el analizador en posición de reposo y comenzando la medición. Tras un tiempo de medición de 45 segundos, el indicador digital (pantalla IED) mostró los resultados obtenidos; el procedimiento se realizó por duplicado (Juárez-Barrientos et al., 2016).

Los residuos de antibióticos (beta-lactámicos, tetraciclinas y cefalexina) se midieron utilizando el kit de prueba SNAPduo\*ST plus, siguiendo la metodología descrita por Cardoso et al. (2019). La acidez de las muestras se determinó mediante el método AOAC (AOAC International, 2000). El pH se cuantificó utilizando un pH-metro Orion, calibrado previamente (7,02 a 4,00), sumergiendo el electrodo en un pequeño volumen de leche extraída de un vaso de precipitados.

### 2.4 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico de las muestras de leche de vaca incluyó la cuantificación de unidades formadoras de colonias por mL (UFC) de bacterias

mesófilas viables (BMV - método de referencia ISO 4833-1:2013), coliformes fecales (CF) y totales (CT), así como levaduras y hongos mediante el promedio adecuado (ISO, 2013). La determinación de la calidad higiénica incluyó el recuento de microorganismos mesófilos aerobios viables, expresados en unidades formadoras de colonias por mL. Para ello, se preparó y homogeneizó la muestra con diluciones decimales sucesivas, utilizando agar para conteo en placa (APC) y se incubó durante 24-48 horas a 37 °C.

Para la determinación de coliformes totales y coliformes fecales, indicadores de contaminación fecal del producto, el método consistió en cultivar muestras de leche según el protocolo establecido para determinar la presencia de coliformes totales y el número más probable (NMP). Este procedimiento implicó realizar diluciones decimales seriadas hasta alcanzar una dilución de  $10^{-8}$ . Se añadió 1 mL de cada dilución a tubos que contenían 10 mL de caldo simple de lactosa con un tubo de Durham invertido para determinar la presencia de gas. Los tubos se incubaron durante 24 horas a 37 °C, y después de este período se revisaron los tubos que mostraban formación de gas, es decir, aquellos en los que se observaron burbujas en los tubos de Durham. Los tubos negativos a la presencia de gas se incubaron por 24 horas adicionales. Tras este tiempo, se registraron los resultados y se seleccionó la dilución más alta en la que se observó gas en los tres tubos con caldo simple de lactosa. Posteriormente, se tomó una siembra de los tubos con gas y se inoculó en una placa de agar MacConkey para determinar si el gas era producido por la presencia de bacterias coliformes fecales. La placa se incubó durante 24 horas a 37 °C y se verificó la presencia de colonias de bacterias coliformes fecales, caracterizadas por su color rosado.

Para la determinación de hongos y levaduras, se utilizó agar Sabouraud, con incubación a 25 °C durante 24 a 72 horas, realizando un examen diario del cultivo. Todo el equipo utilizado para los análisis fue previamente esterilizado y manejado según las indicaciones del fabricante.

### 2.5 Calidad higiénica de la leche cruda

La calidad higiénica de la leche se refiere a la cantidad y tipo de bacterias presentes como consecuen-

cia de su manipulación durante el proceso de ordeño, almacenamiento y transporte (12-24 horas). Para este propósito se utilizó el ensayo de reductasa en leche (Tiempo de Reducción de Azul de Metileno - MBRT) según la norma técnica peruana NTP 202.014:2004 (MINAGRI, 2018), realizando la primera lectura a la media hora de incubación (37 °C) y lecturas posteriores en intervalos de una hora.

El ensayo de reducción de azul de metileno se basa en el color que se transmite a la muestra de leche al añadir un colorante (solución de azul de metileno al 1% en metanol), el cual desaparece más o menos rápidamente (Yadav et al., 2018). La decoloración ocurre debido a la eliminación de oxígeno y a las sustancias reducidas por el metabolismo bacteriano. Las muestras fueron evaluadas según los siguientes criterios: Excelente (decoloración > 4 horas), Buena (decoloración entre 3 a 4 horas), Aceptable (decoloración de 0,5 a <3 horas) e Inaceptable (decoloración < 0,5 horas).

El tiempo de reducción para cada muestra de leche de vaca fue registrado en un formato de Excel y procesado estadísticamente.

## 2.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software libre CRAN R, versión 3.3.6 (R Team Core, 2019). Las diferencias en las características fisicoquímicas y microbiológicas entre cada provincia se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Características fisicoquímicas de la leche cruda de vaca

Los resultados de las características fisicoquímicas de la leche cruda de vaca obtenida en Huancayo, Jauja, Concepción y Chupaca se presentan en la Tabla 1. El contenido de grasa (%) osciló entre 3,29 y 3,77, con un promedio para las cuatro provincias de  $3,58 \pm 0,50$ . Resultados similares fueron reportados por Montes de Oca-Flores et al. (2019), Kra et al. (2013) y Asefa and Teshome (2019), con  $3,46\%$ ,  $3,26 \pm 1,18\%$  y  $3,89 \pm 0,58\%$ , respectivamente. En

contraste, un mayor contenido promedio de grasa de  $6,02 \pm 0,76\%$  fue informado por Gemechu and Amene (2016) en Etiopía.

Se observó una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en el contenido de grasa (%) entre las cuatro provincias; sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre Jauja y Chupaca. El contenido de grasa de la leche puede estar influenciado por la época del año que afecta la dieta, así como por las prácticas de manejo y el componente racial (Desyibelew and Wondifraw, 2019). La Unión Europea y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) establecen que el contenido de grasa en la leche fluida total y no procesada no debe ser inferior a 3,5% y 3,25%, respectivamente. Los resultados obtenidos en este trabajo se encuentran dentro de los estándares recomendados.

La gravedad específica (promedio  $1,03 \pm 0,01$  g/dm<sup>3</sup>) fue inferior a la reportada por Gwandu et al. (2018) y Gemechu and Amene (2016). Asimismo, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las provincias estudiadas. El contenido de sólidos no grasos en la leche varió entre  $8,47 \pm 0,51\%$  y  $8,99 \pm 0,72\%$ , con un promedio general de  $8,82 \pm 0,62\%$ . Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre provincias, excepto entre Huancayo y Jauja. Estos resultados son superiores a los reportados por Gemechu and Amene (2016) en Etiopía ( $8,08 \pm 0,13\%$ ) y por Mahmoudi and Norian (2015) en Irán (8.50%). La Unión Europea establece que el contenido estándar de sólidos no grasos en la leche cruda no debe ser inferior al 8,59% (Tamime, 2008). Los resultados obtenidos en este estudio mostraron valores superiores al 8,59% en tres provincias (Huancayo, Jauja y Concepción), mientras que Chupaca presentó un valor ligeramente inferior ( $8,47 \pm 0,51\%$ ). Estas diferencias, ligeramente por debajo del estándar de calidad de la UE, pueden estar relacionadas con la estacionalidad, las prácticas de alimentación, el período de lactancia y el método de ordeño.

El contenido de proteína en la leche fue de  $3,28 \pm 0,31\%$  en Huancayo,  $3,27 \pm 0,26\%$  en Jauja,  $3,19 \pm 0,15\%$  en Concepción y  $3,28 \pm 0,31\%$  en Chupaca, con un promedio general de  $3,21 \pm 0,25\%$ . Se encontró una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre Huancayo, Concepción y Chupaca, pero no entre Huancayo y Jauja ( $p > 0,05$ ). Estos resultados

son similares a los reportados por Asefa and Teshome (2019) y Mahmoudi and Norian (2015), quienes encontraron valores de  $3,16 \pm 0,31\%$  y  $3,40\%$ , respectivamente. Los estándares de calidad de la Unión Europea (UE) y de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) sugieren valores no inferiores al  $2,73\%$  y  $2,9\%$  para la leche cruda entera, respectivamente. Todas las muestras de leche recolectadas en las cuatro provincias presentaron valores dentro de los estándares recomendados.

En las muestras de leche de Huancayo y Chupaca se detectó la presencia de agua añadida ( $0,56 \pm 2,03\%$  y  $1,59 \pm 2,98\%$ , respectivamente). Según Rasheed et al. (2018) y Tripathy et al. (2019), la leche natural al ser un alimento rico en nutrientes, proteínas y vitaminas no debería sufrir ningún tipo de adulteración, ya que esto puede representar serios riesgos para la salud. Según nuestros resultados, la incorporación de agua a la leche es una práctica de adulteración que refleja comportamientos negativos

por parte de algunos productores en Huancayo y Chupaca, con el fin de aumentar el volumen total del producto ofrecido. La concentración de sólidos totales (TS) osciló entre  $12,35\%$  y  $12,91\%$ , con un promedio general de  $12,52 \pm 1,11\%$ . La provincia de Jauja presentó una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) respecto a las otras provincias ( $p > 0,05$ ). Estos valores son superiores a los reportados por Desyibelew and Wondifraw (2019) ( $11,89 \pm 0,40\%$ ) y Hnini et al. (2018) ( $11,84 \pm 0,28\%$ ) en Etiopía y Marruecos, respectivamente. La Unión Europea (UE) establece que el contenido de sólidos totales no debe ser inferior al  $12,5\%$ . Por tanto, el promedio de TS encontrado en las muestras de leche está ligeramente dentro del estándar recomendado. Los valores ligeramente inferiores a los de la UE, observados en Huancayo, Chupaca y Concepción, pueden atribuirse a prácticas de manejo y alimentación deficientes que afectan la calidad de la leche, aunque esto no es estadísticamente significativo (Picinin et al., 2019).

**Tabla 1.** Media  $\pm$  desviación estándar (D.E.) y comparación mediante la prueba de Tukey de las características fisicoquímicas de las muestras de leche cruda de vaca obtenidas en cuatro provincias del Valle del Mantaro ( $n = 40$ )

Variables	Huancayo (H) (n = 13)	Jauja (J) (n = 9)	Concepción (C) (n = 11)	Chupaca (CH) (n = 7)	Media global (n = 40)
Contenido en grasa (%)	$3,29 \pm 0,32^a$	$3,77 \pm 0,50^b$	$3,63 \pm 0,47^c$	$3,77 \pm 0,67^b$	$3,58 \pm 0,50$
Gravedad específica (g/dm <sup>3</sup> )	$1,03 \pm 0,02^a$	$1,03 \pm 0,01^a$	$1,03 \pm 0,01^a$	$1,03 \pm 0,02^a$	$1,03 \pm 0,01$
Sólidos no grasos (%)	$8,96 \pm 0,73^a$	$8,99 \pm 0,72^a$	$8,75 \pm 0,42^b$	$8,47 \pm 0,51^c$	$8,82 \pm 0,62$
Proteína (%)	$3,28 \pm 0,31^a$	$3,27 \pm 0,26^a$	$3,19 \pm 0,15^b$	$3,07 \pm 0,18^c$	$3,21 \pm 0,25$
Adición de agua (%)	$0,56 \pm 2,03^a$	$0,00 \pm 0,00^b$	$0,00 \pm 0,00^b$	$1,59 \pm 2,98^c$	$0,46 \pm 1,72$
Punto de congelación	$560 \pm 52^a$	$570 \pm 32^a$	$561 \pm 27^b$	$535 \pm 51^c$	$558 \pm 42$
Sales (%)	$0,72 \pm 0,07^a$	$0,72 \pm 0,07^a$	$0,71 \pm 0,03^a$	$0,69 \pm 0,04^a$	$0,71 \pm 0,05$
Sólidos totales (%)	$12,37 \pm 1,24^a$	$12,91 \pm 1,21^b$	$12,48 \pm 0,85^a$	$12,35 \pm 1,21^a$	$12,52 \pm 1,11$
Lactosa (%)	$4,97 \pm 0,55^a$	$4,95 \pm 0,41^a$	$4,83 \pm 0,22^b$	$4,67 \pm 0,28^c$	$4,88 \pm 0,41$
pH	$6,67 \pm 0,27^a$	$6,62 \pm 0,29^a$	$6,78 \pm 0,23^b$	$6,76 \pm 0,11^b$	$6,70 \pm 0,24$

Los valores de cada línea horizontal seguidos de la misma letra no difieren significativamente a  $p < 0,05$ ,  $n =$  número de muestras de leche.

El contenido de lactosa varió entre  $4,67\%$  y  $4,97\%$ , con un promedio general de  $4,88 \pm 0,41\%$ . Hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre Huancayo, Concepción y Chupaca, pero no entre

Huancayo y Jauja ( $p > 0,05$ ). Elrahman et al. (2009) reportaron valores más bajos de lactosa ( $4,33 \pm 0,02\%$ ) en leche cruda de vacas en Sudán; sin embargo, Asefa and Teshome (2019) encontraron resul-

tados similares a los del presente estudio en vacas etíopes ( $4,77 \pm 0,42\%$ ). A diferencia de la concentración de grasa, la concentración de lactosa en la leche es similar en todas las razas lecheras y no puede ser fácilmente alterada por prácticas de alimentación. La lactosa es importante porque influye en la absorción de minerales como cobre, zinc y calcio, especialmente durante la lactancia. Los valores de pH de las muestras de leche de Jauja y Huancayo no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), al igual que entre Concepción y Chupaca, con un promedio general de pH de  $6,70 \pm 0,24$ . La medición del pH de la leche permite detectar impurezas, deterioro y signos de infección por mastitis, lo que ayuda a comprender las causas de algunos cambios en su composición. La leche fresca tiene un valor de pH de 6,7; un valor inferior puede ser indicativo de deterioro debido a la degradación bacteriana, cuan-

do la lactosa se descompone y se forma ácido láctico por la presencia de bacterias ácido-lácticas (BAL), lo que puede provocar la coagulación o formación de grumos con un olor y sabor característicos (“leche agria”). Por otro lado, valores de pH superiores a 6,7 pueden indicar la presencia de vacas con mastitis, por lo que la medición del pH puede ser una herramienta rápida para detectar esta enfermedad. Pequeñas variaciones en el pH (6,7) pueden afectar el tiempo requerido para la pasteurización y la estabilidad de la leche después del tratamiento.

### 3.2 Calidad microbiana de la leche cruda de vaca

La Tabla 2 presenta la calidad microbiana en muestras de leche cruda de vaca recogidas en el Valle del Mantaro.

**Tabla 2.** Media  $\pm$  desviación estándar (D.E.) y comparación mediante el test de Tukey de los recuentos microbianos ( $\log_{10}$  ufc/mL) pertenecientes a las muestras de leche estudiadas en cuatro provincias del Valle del Mantaro ( $n = 40$ ).

Variables	Huancayo (H) (n = 13)	Jauja (J) (n = 9)	Concepción (C) (n = 11)	Chupaca (CH) (n = 7)	Media global (n = 32)
BMV (UFC/mL $\times 10^5$ )	$19,12 \pm 54,78^a$	$0,95 \pm 1,24^b$	$1,18 \pm 1,64^c$	$0,31 \pm 0,42^d$	$0,66 \pm 30,76$
Log BMV	$6,28 \pm 6,74^a$	$4,98 \pm 5,10^b$	$5,07 \pm 5,21^b$	$4,48 \pm 4,63^c$	$4,82 \pm 6,49$
CT (UFC/mL $\times 10^3$ )	$0,25 \pm 0,46$	$0,34 \pm 0,47$	$0,27 \pm 0,44$	$0,50 \pm 0,56$	$0,33 \pm 0,47$
Log CT	$2,39 \pm 2,66^a$	$2,53 \pm 2,67^b$	$2,44 \pm 2,65^a$	$2,70 \pm 2,75^c$	$2,52 \pm 2,67$
CF (UFC/mL $\times 10^3$ )	$0,01 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,49$	$0,03 \pm 0,06$	$0,32 \pm 0,53$	$0,12 \pm 0,32$
Log CF	$0,84 \pm 1,34^a$	$1,34 \pm 2,69^b$	$1,49 \pm 1,81^c$	$2,50 \pm 2,73^d$	$2,06 \pm 2,52$
MLH (UFC/mL $\times 10^5$ )	$1,87 \pm 5,81$	$0,67 \pm 1,33$	$0,06 \pm 0,06$	$0,47 \pm 0,78$	$0,81 \pm 3,27$
Log MLH	$2,76 \pm 5,76^a$	$4,83 \pm 5,12^b$	$3,77 \pm 3,82^c$	$4,67 \pm 4,89^d$	$4,01 \pm 4,90$

BMV= bacterias mesófilas viables, CT= coliformes totales, CF= coliformes fecales, MLH= cuenta de levaduras y mohos. Las medias  $\pm$  D.S. seguidas de letras superíndices diferentes en una misma fila especifican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), UFC= unidad formadora de colonias por mL, n = número de muestras de leche.

El recuento total de bacterias mesófilas viables (BMV) expresado en logaritmos mostró un promedio general de  $\text{Log } 4,82 \pm 6,49$  UFC/100 mL ( $0,66 \pm 30,76 \times 10^5$  UFC/mL). Los resultados encontrados en las muestras de leche revelaron que en Huancayo, las BMV excedieron el nivel permitido de  $\text{Log } 5,3$  UFC/mL ( $5 \times 10^5$  UFC/mL) según los estándares oficiales (MINAGRI, 2017), ya que se determinó un  $\text{Log } 6,28 \pm 6,74$  UFC/mL ( $191,2 \pm 54,78 \times 10^5$  UFC/mL). La contaminación microbiana está relacionada con la cadena de manejo y con el animal

mismo cuando está infectado (Gwandu et al., 2018); por lo tanto, el proceso de ordeño, el ambiente de ordeño, el manejo de la leche y su almacenamiento se habrían realizado en condiciones antihigiénicas, lo que sería más evidente en Huancayo debido a la alta carga microbiana en la leche. Hallazgos similares fueron reportados por Gwandu et al. (2018) en Tanzania y Ogot et al. (2015) en Kenia.

El promedio de recuento de coliformes fecales (CF) en las cuatro provincias mostró diferencias sig-

nificativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas (Tabla 2). El promedio general de CF fue de  $\text{Log } 2,06 \pm 2,52$  UFC/mL, con el siguiente orden: Chupaca ( $2,50 \pm 2,73$ ) > Concepción ( $1,49 \pm 1,81$ ) > Jauja ( $1,34 \pm 2,69$ ) > Huancayo ( $0,84 \pm 1,34$ ). Resultados similares fueron reportados por Abdalla and Elhagaz (2011), quienes determinaron un recuento de coliformes de  $\text{Log } 2,23 \pm 0,14$  UFC/mL en muestras de leche de vaca obtenidas en granjas de Sudán. En contraste, Gemechu and Amene (2016) informaron un mayor recuento de CF con un promedio general de  $\text{Log } 5,10 \pm 0,29$  UFC/mL. En el presente estudio, algunas vacas se mantienen en establos fangosos y en condiciones higiénicas deficientes, lo que probablemente influyó en la contaminación de las muestras de leche, incrementando el recuento microbiano.

Es importante determinar tanto el número total de bacterias como el tipo de microorganismos presentes; los coliformes, por ejemplo, pueden crecer a temperaturas de  $4^{\circ}\text{C}$  a  $7^{\circ}\text{C}$ , resistiendo la pasteurización, lo que reduce la vida útil de la leche y altera la calidad de productos derivados como el queso y el yogurt. Por esta razón, es esencial enfriar la leche para mantener su calidad higiénica. Las fuentes de contaminación pueden incluir bacterias dentro de la glándula mamaria, relevantes en rebaños con alta presencia de mastitis, y bacterias externas al animal, que son la principal fuente de contaminación. El número final de microorganismos en la leche está relacionado con el entorno (pastos, corrales, etc.), el nivel de contaminación bacteriana, las condiciones favorables para el desarrollo de bacterias durante el almacenamiento y las prácticas de higiene.

El promedio de recuento total de coliformes presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras de leche obtenidas de granjas lecheras de cada provincia, con un promedio general de  $\text{Log } 4,82 \pm 6,49$  UFC/mL (rango de  $\text{Log } 4,48 - 6,28$  UFC/mL). Así, el recuento promedio general de coliformes totales en la leche cruda de vaca de las cuatro provincias fue inferior al reportado por Gemechu and Amene (2016), quienes encontraron un elevado recuento total de bacterias de  $\text{Log } 7,09 \pm 0,34$  UFC/mL en muestras de leche recolectadas en granjas lecheras de la zona Bench Maji, Etiopía. Por otro lado, el recuento total de bacterias en Huancayo ( $19,12 \times 10^5$ ) y Concepción ( $1,18 \times 10^5$ ) fue relativamente superior al nivel aceptable ( $1 \times 10^5$  bacterias por mL de leche cruda).

El mayor recuento microbiano observado en Huancayo podría deberse a la falta de preparación adecuada y conocimiento sobre el uso de utensilios y materiales de ordeño limpios (recipientes plásticos), al mantenimiento deficiente del área de producción de leche, al tratamiento inadecuado de la ubre de las vacas por los ordeñadores y a la baja calidad higiénica en general. Asimismo, la mayor parte de la producción de leche se realiza en pequeños rebaños. La presencia de bacterias coliformes fecales indica condiciones antihigiénicas y prácticas deficientes en el almacenamiento o la producción (Martin et al., 2016). A través de programas de prevención en el ordeño, se puede reducir la posibilidad de contaminación con coliformes totales, y en particular con coliformes fecales, lo que constituye un riesgo para la salud pública.

El recuento promedio de levaduras y mohos (MLH) fue de  $\text{Log } 2,76 \pm 5,76$ ,  $\text{Log } 4,83 \pm 5,12$ ,  $\text{Log } 3,77 \pm 3,82$  y  $\text{Log } 4,67 \pm 4,89$  UFC/mL para las muestras de leche analizadas de Huancayo, Jauja, Concepción y Chupaca, respectivamente, con un promedio general de  $\text{Log } 4,01 \pm 4,90$  UFC/mL. Se observaron diferencias significativas entre los recuentos de mohos y levaduras ( $p > 0,05$ ) (Tabla 2). Entre provincias, Jauja presentó un mayor recuento de MLH que Chupaca, Concepción y Huancayo. Valores similares de MLH fueron reportados por Gemechu and Amene (2016) en tres ciudades de Etiopía, con un promedio general de  $\text{Log } 3,90 \pm 0,48$ . Sin embargo, en otras ciudades etíopes, Habtamu et al. (2018) reportaron valores más altos de MLH, con un promedio general de  $\text{Log } 7,21 \pm 0,21$  UFC/mL.

Ortiz-Durán et al. (2017) en Colombia mencionan que la presencia de hongos en la leche puede ser un indicador de mala higiene o enfermedad en la glándula mamaria, evidenciando la presencia de *Candida spp.* y, en menor proporción, *Aspergillus spp.* en todas las muestras evaluadas; lo que sugiere un factor que pone en riesgo la seguridad y calidad de la leche y sus derivados. Los mayores valores de MLH encontrados en la leche analizada de las provincias de Jauja y Chupaca podrían estar relacionados con una higiene personal deficiente, contaminación del aire por organismos, recipientes sin limpiar y malas prácticas de los manipuladores de leche.

### 3.3 Calidad higiénica de la leche cruda de vaca

Se detectó la presencia de residuos de antibióticos (betalactámicos, tetraciclina y cefalexina) en el 37,5% (n = 15) del total de muestras (n = 40). Las provincias de Huancayo (n = 13), Jauja (n = 9), Concepción (n = 11) y Chupaca (n = 7) mostraron la presencia de antibióticos en 30,7%, 44,4%, 54,5% y 14,3%, respectivamente (Tabla 3). El elevado recuento de mesófilos aeróbicos se atribuye a la presencia de bacterias en los residuos de leche que quedan en la superficie de los materiales utilizados para la recogida o almacenamiento de leche, las ubres sucias o mal limpiadas antes del ordeño y la falta de enfriamiento rápido de la leche (Calderón et al., 2006).

El ensayo de reducción del azul de metileno (MBRT) es un método adecuado para inferir el número de organismos presentes en las muestras de leche (Nandy and Venkatesh, 2010). A medida que aumenta la carga bacteriana en la leche, el indicador de la oxidación-reducción cambia más rápidamente a su base leucocitaria, lo que representa un recuento metabólico indirecto. Sin embargo, si el número de microorganismos presentes en la leche cruda con efecto reductor es bajo, el ensayo puede no estar en correlación con el recuento bacteriano obtenido a partir de las placas. Esta discrepancia significa que la TRBM no siempre refleja con precisión la contaminación microbiana real de la leche, disminuyendo su valor como herramienta de diagnóstico rápido (Luigi et al., 2013).

De las 40 muestras de leche analizadas con MBRT (Tabla 2), 13 muestras (32,5%) eran de excelente calidad, 18 muestras (45,0%) eran de buena calidad, 9 muestras (22,5%) eran de calidad aceptable y ninguna muestra (0%) se clasificó de mala calidad. Por provincias, Huancayo (n = 13) presentó una calidad excelente, buena y aceptable en 38,4% (H2, H3, H5, H6 y H7), 38,4% (H1, H4, H8, H9 y H11) y 23,2% (H10, H12 y H13), respectivamente.

En Jauja (n = 9), 55,6% (n = 5; J1, J2, J4, J7 y J8) de las muestras fueron de excelente calidad, mientras que el 22,2% (n = 2) fueron de buena calidad (J3 y

J9) y aceptable (J5 y J6). Para Concepción (n = 11), 27,3%, 54,6% y 18,1% de las muestras fueron de excelente calidad (C2, C4 y C5), buena (C1, C3, C6, C7, C8 y C10) y aceptable (C9 y C11), respectivamente.

En Chupaca (n = 7), el 71,4% de las muestras se clasificaron como de buena calidad (CH2, CH3, CH4, CH5 y CH7), y el 28,6% como de calidad aceptable (CH1 y CH6). En general, la calidad de la leche en el Valle de Mantaro fue categorizada como Buena Calidad con un MBRT promedio de  $3,50 \pm 1,26$  horas.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de calidad higiénica, incluyendo la presencia de antibióticos, el tiempo de reducción de azul de metileno (MBRT) y la clasificación de calidad de muestras de leche cruda de vaca recolectadas en cuatro provincias del Valle de Mantaro.

El reconocimiento de los factores de riesgo presentes a lo largo del proceso biológico y de producción de leche de baja calidad debería permitir a los diferentes actores involucrados (productores, recolectores y procesadores de leche) replantear sus respectivos esquemas de trabajo con el fin de adoptar medidas correctivas para mejorar la calidad higiénica de la leche.

## 4 Conclusiones

Con referencia a las propiedades fisicoquímicas de las muestras de leche cruda de vaca provenientes de las cuatro provincias del Valle del Mantaro, los valores encontrados se ubicaron dentro de los estándares nacionales e internacionales.

La determinación de la calidad higiénica de la leche muestreada en las cuatro provincias mostró un nivel aceptable según la prueba de reducción de azul de metileno (RAM). El análisis microbiológico detectó la presencia de bacterias mesófilas viables, coliformes totales, coliformes fecales, y recuentos de levaduras y mohos, lo cual podría estar relacionado con condiciones sanitarias deficientes, materiales de recolección sucios, un ambiente de ordeño inadecuado, entre otros factores.

**Tabla 3.** Presencia de residuos de antibióticos, prueba MBRT (tiempo de reducción del azul de metileno) y clasificación de la calidad basada en cada punto de recogida y su media.

Lugar	Punto	Residuos de antibióticos presencia	Tiempo de reducción (horas)	Tiempo medio de reducción (horas)	Calidad
Huancayo (H) (n = 13)	H1	No (-)	3,0 (Buena)	3,54 ± 1,43	Buena
	H2	No (-)	4,5 (Excelente)		
	H3	No (-)	4,5 (Excelente)		
	H4	Si (+)	4,0 (Buena)		
	H5	Si (+)	5,0 (Excelente)		
	H6	Si (+)	4,5 (Excelente)		
	H7	No (-)	5,5 (Excelente)		
	H8	No (-)	3,5 (Buena)		
	H9	No (-)	4,0 (Buena)		
	H10	Si (+)	1,0 (Aceptable)		
	H11	No (-)	4,0 (Buena)		
	H12	No (-)	1,5 (Aceptable)		
	H13	No (-)	1,0 (Aceptable)		
Jauja (J) (n = 9)	J1	No (-)	4,5 (Excelente)	3,33 ± 1,31	Buena
	J2	No (-)	5,0 (Excelente)		
	J3	No (-)	3,5 (Buena)		
	J4	Si (+)	5,0 (Excelente)		
	J5	No (-)	1,5 (Aceptable)		
	J6	Si (+)	1,5 (Aceptable)		
	J7	Si (+)	3,5 (Excelente)		
	J8	Si (+)	2,0 (Excelente)		
	J9	No (-)	3,5 (Buena)		
Concepcion (C) (n = 11)	C1	Si (+)	3,5 (Buena)	3,54 ± 1,29	Buena
	C2	Si (+)	1,5 (Excelente)		
	C3	No (-)	3,0 (Buena)		
	C4	No (-)	4,5 (Excelente)		
	C5	No (-)	4,0 (Excelente)		
	C6	Si (+)	5,5 (Buena)		
	C7	No (-)	5,0 (Buena)		
	C8	Si (+)	3,5 (Buena)		
	C9	No (-)	4,0 (Aceptable)		
	C10	Si (+)	3,5 (Buena)		
	C11	Si (+)	1,0 (Aceptable)		
Chupaca (CH) (n = 7)	CH1	No (-)	2,5 (Aceptable)	3,57 ± 0,68	Buena
	CH2	No (-)	4,0 (Buena)		
	CH3	No (-)	4,0 (Buena)		
	CH4	No (-)	4,0 (Buena)		
	CH5	No (-)	4,0 (Buena)		
	CH6	Si (+)	2,5 (Aceptable)		
	CH7	No (-)	4,0 (Buena)		
Total (n = 40)				3,50 ± 1,26	Buena

Las recomendaciones para producir leche de buena calidad higiénica, basadas en el Código de Prácticas Higiénicas para la Leche y los Productos Lácteos CAC/RCP 57, publicado en 2004 por el Codex Alimentarius (MIDAGRI, 2004), incluyen la me-

jora de las prácticas generales de higiene, tanto en el entorno y proceso de ordeño como en el manejo post-ordeño y el almacenamiento higiénico de la leche. Si bien es cierto que la composición de la leche varía debido a una multiplicidad de factores, la

genética y la nutrición desempeñan un papel determinante en su calidad composicional, es en estos aspectos donde los productores lecheros del Valle del Mantaro deberían enfocar mayor atención.

## Declaración de interés

Los autores no declaran ningún conflicto de interés.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios, gerentes y colaboradores de las granjas donde se recogieron las muestras. Igualmente, al MSc Danny Cruz por el apoyo en el análisis estadístico.

## Contribución de los autores

F.A.V.: conceptualizó y diseñó el manuscrito, L.G.E.: redactó el manuscrito, N.M.S.; I.U.P.; A.R.H.D.L.C.: realizaron el análisis estadístico, la interpretación y la edición del manuscrito.

## Referencias

Abdalla, M. and Elhagaz, F. (2011). The impact of applying some hygienic practices on raw milk quality in khartoum state, sudan. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 7(2):169–173. Online:https://n9.cl/79pdo4.

Alhussien, M. and Dang, A. (2018). Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. *Veterinary world*, 11(5):562–577. Online:https://n9.cl/e54wk.

AOAC International (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, volume 15. AOAC International, 17th edition.

Asefa, Z. and Teshome, G. (2019). Physical properties and chemical compositions of raw cow milk in milk shades around addis ababa, ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 9(19):33–37. Online:https://n9.cl/au9ni.

Bernet, T., Staal, S., and Walker, T. (2001). Changing milk production trends in peru. *Mountain Research and Development*, 21(3):268–275. Online:https://n9.cl/phgd6.

Boudalia, S., Benati, D., Boukharoub, R., Chemakh, B., and Chemmam, M. (2016). Physicochemical properties and hygienic quality of raw and reconstituted milk in the region of guelma-algeria. *International Journal of Agricultural Research*, 11(2):77–83. Online:https://n9.cl/mhzy1.

Brousett-Minaya, M., Torre, A., Chambi, A., Villalba, M., Herán, and Samata, G. (2015). Physicochemical, microbiological and toxicological quality of raw milk in cattle basins of the region puno-peru. *Scientia agropecuaria*, 6(3):165–176. Online:https://n9.cl/zc2z1.

Calderón, A., García, F., and Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1):725–737. Online:https://n9.cl/wqn38u.

Cardoso, C., de C Nunes, E., Barbosa, E., das GP Ribeiro, A., de M Souza, R., Liberal, M., and Castro, H. (2019). Farm test for rapid identification of antibiotic residues in raw milk. *Adv. Biotech. Microbiol*, 13(1):9–15. Online:https://n9.cl/eydss.

Correo (2019). En riesgo producción de 100 mil litros de leche de la región junín. Diario Correo website. Online:https://n9.cl/fsevww.

Desyibelew, W. and Wondifraw, Z. (2019). Evaluation of milk composition in zebu × hf crossbred dairy cows in different seasons and stage of lactations in amanuel town. *Ethiopia. Journal of Agricultural Science and Food Research*, 10(1):255. Online:https://n9.cl/nlmla.

Elrahman, S., Ahmad, A., El Zubeir, I., El Owni, A., and Ahmed, M. (2009). Microbiological and physicochemical properties of raw milk used for processing pasteurized milk in blue Nile dairy company (sudan). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4):3433–3437. Online:https://n9.cl/ucjtbk.

Gemechu, T. and Amene, T. (2016). Physicochemical properties and microbial quality of raw cow milk produced by smallholders in bench maji-zone, southwestern ethiopia. *Food Science and Quality Management*, 54(1):47–54. Online:https://n9.cl/a4dwm.

- Gwandu, S., Nonga, H., Mdegela, R., Katakweba, A., Suleiman, T., and Ryoba, R. (2018). Assessment of raw cow milk quality in smallholder dairy farms in pemba island zanzibar, tanzania. *Veterinary Medicine International*, 1(1):1031726. Online:https://n9.cl/35ag2q.
- Habtamu, K., Ajebu, N., , and Edessa, N. (2018). Microbiological quality and safety of milk production and marketing in hawassa district, ethiopia. *African Journal of Microbiology Research*, 12(25):587–594. Online:https://n9.cl/b8f5u.
- Hnini, R., Ouhida, L., Chigr, M., Merzouki, M., Bahi, L., El Hansali, M., Najimi, M., and Chigr, F. (2018). Evaluation of the microbiological quality of moroccan cow raw milk in dairy herds located in the beni mellal region. *World Journal of Research and Review*, 7(1):19–23. Online:https://n9.cl/h3czu.
- Juárez-Barrientos, J., Díaz-Rivera, P., Rodríguez-Miranda, J., Martínez-Sánchez, C., Hernández-Santos, B., Ramírez-Rivera, E., Torruco-Uco, J., and Herman-Lara, E. (2016). Caracterización de la leche y clasificación de calidad mediante análisis cluster en sistemas de doble propósito. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(4):525–537. Online:https://n9.cl/wivvz.
- Kra, K., Mégnanou, R., Akpa, E., Assidjo, N., and Niamké, L. (2013). Evaluation of physicochemical, nutritional and microbiological quality of raw cow's milk usually consumed in the central part of côte d'ivoire. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 13(3):7888–7904. Online:https://n9.cl/42pzv.
- Luigi, T., Rojas, L., and Valbuena, O. (2013). Evaluación de la calidad higiénico-sanitaria de leche cruda y pasteurizada expendida en el estado carabobo, venezuelaleche, bacterias salmonella spp., calidad microbiológica. *Salus*, 17(1):25–33. Online:https://n9.cl/ebs8d.
- Mahmoudi, R. and Norian, R. (2015). Physicochemical properties and frauds in the samples of raw cow milk produced in qazvin, iran. *Journal of Research and Health*, 5(3):340–346. Online:https://n9.cl/464x1.
- Martin, N., Trmčić, A., Hsieh, T., Boor, K., and Wiedmann, M. (2016). The evolving role of coliforms as indicators of unhygienic processing conditions in dairy foods. *Frontiers in microbiology*, 7:1549. Online:https://n9.cl/sdqpe.
- MIDAGRI (2004). Código de prácticas de higiene para la leche y los productos lácteos. cac/rcp 57–2004.
- MINAGRI (2005). *Aspectos Nutricionales y Tecnológicos de la Leche*. Dirección General de Promoción Agraria - MINAGRI.
- MINAGRI (2017). Decreto supremo n 007-2017-minagri. Online:https://n9.cl/qdbos.
- MINAGRI (2018). Ntp 202.084:2004, leche y productos lácteos. Online:https://n9.cl/30id6.
- Montes de Oca-Flores, E., Espinoza-Ortega, A., and Arriaga-Jordán, C. (2019). Technological and physicochemical properties of milk and physicochemical aspects of traditional oaxaca cheese. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(2):367–378. Online:https://n9.cl/ybwh4.
- Nandy, S. and Venkatesh, K. (2010). Application of methylene blue dye reduction test (mbrt) to determine growth and death rates of microorganisms. *African Journal of Microbiology Research*, 4(1):061–070. Online:https://n9.cl/iaa2s.
- Ogot, H., Ochuodho, H., and Machoka, R. (2015). Microbial analysis of raw and boiled milk sold at baraton center in nandi county, kenya. In *Proceedings of the Second Annual Baraton International Interdisciplinary Research Conference Proceedings 2015 Emerging Issues in Globalization, Baraton Interdisciplinary Research Journal*, pages 1–8.
- Ortiz-Durán, E., Pérez-Romero, R., and Orozco-Sanabria, C. (2017). Identificación de agentes micóticos en muestras de leche obtenidas de tanques de enfriamiento. *Ciencia y Agricultura*, 14(2):99–106. Online:https://n9.cl/pyb28.
- Owusu-Kwarteng, J., Akabanda, F., Agyei, D., and Jespersen, L. (2020). Microbial safety of milk production and fermented dairy products in africa. *Microorganisms*, 8(5):752. Online:https://n9.cl/ngga4.
- Picinin, L., Bordignon-Luiz, M., Cerqueira, M., Toaldo, I., Souza, F., Leite, M., Fonseca, L., and Lana, A. (2019). Effect of seasonal conditions and milk

- management practices on bulk milk quality in Minas Gerais state-brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71:1355–1363. Online: <https://n9.cl/5q7gn>.
- R Team Core (2019). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>.
- Rasheed, N., Mohammad, A., and Hafeez, H. (2018). A comparative assessment of the quality of milk-validation of standard brands versus local milk sold in market. *Global Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 5(1):1–5. Online: <https://bit.ly/3WDRppV>.
- Tamime, A. (2008). *Milk Processing and Quality Management*. Wiley Online Library.
- Thorning, T., Raben, A., Tholstrup, T., Soedamah-Muthu, S., Givens, I., and Astrup, A. (2016). Milk and dairy products: good or bad for human health? an assessment of the totality of scientific evidence. *Food y nutrition research*, 60(1):32527. Online: <https://n9.cl/zuou7>.
- Tripathy, S., Reddy, M., Vanjari, S., Jana, S., and Singh, S. (2019). A step towards miniaturized milk adulteration detection system: Smartphone-based accurate ph sensing using electrospun halochromic nanofibers. *Food Analytical Methods*, 12:612–624. Online: <https://n9.cl/9351y>.
- USDA (2019). Peru an overview of peru's dairy sector. USADA. Online: <https://n9.cl/25h0u>.
- Yadav, N., Yadav, R., and Pokharel, B. (2018). Bacteriological quality analysis of milk available in local market of Janakpur, Nepal. *J Microbiol*, 56:97–100. Online: <https://n9.cl/0u1ok>.



# MEJORA DEL VALOR NUTRITIVO DE HARINA DE FOLLAJE DE *LUPINUS MUTABILIS* SWEET MEDIANTE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO CON LAS CEPAS *ASPERGILLUS NIGER* J1 Y *TRICHODERMA VIRIDE* M5-2

## IMPROVEMENT OF THE NUTRITIONAL VALUE OF *LUPINUS MUTABILIS* SWEET FOLIAGE MEAL BY SOLID-STATE FERMENTATION WITH *ASPERGILLUS NIGER* J1 AND *TRICHODERMA VIRIDE* M5-2 STRAINS.

David Catagua<sup>\*1,2</sup> , Julio Dustet Mendosa<sup>2</sup> y Elaine Valiño Cabrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". 11901. Calle 114, s/n, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

\*Autor para correspondencia: david.catagua@espol.edu.ec, catagua@quimica.cujae.edu.cu

Manuscrito recibido el 12 de mayo de 2022. Aceptado, tras revisión el 14 de septiembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

Para incrementar el valor nutritivo de la harina de follaje de *Lupinus mutabilis* Sweet (chocho) por medio de una fermentación en estado sólido con las cepas *Aspergillus niger* J1 y *Trichoderma viride* M5-2 se efectuaron 2 experimentos a nivel de laboratorio. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial 2×8 y tres repeticiones. Como factores se seleccionaron las dos cepas de hongos lignocelulolíticos y los tiempos de fermentación (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h). Se tomaron muestras cada 24 h para los análisis enzimáticos (exo β1-4 glucanasa) y composición química (fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), celulosa y lignina). Se midió el pH y la humedad en el sustrato, así como la composición de contenido fenólico y flavonoides. Se observaron variaciones en las propiedades físico-químicas de la harina estudiada, con disminución de la FND, flavonoides y el contenido fenólico por ambas cepas, alcanzando un máximo de 12, 75 y 84% respectivamente en un tiempo máximo de 168 horas en la fermentación con *A. niger* J1 (P<0,01). En la cinética enzimática se observó interacción en todos los factores (P<0,01). Se registraron valores altos de enzimas exo β 1-4 glucanasa en *L. mutabilis* Sweet con la cepa *T. viride* M5-2 a las 96 h y sostenida esta actividad en el tiempo para *A. niger* J1 con 0,189 UPF/mL. Las cepas *T. viride* M5-2 y *A. niger* J1 mejoran el valor nutritivo de la harina de leguminosa.

**Palabras clave:** Leguminosa, Fermentación sólida, antinutrientes, monogástricos.

### Abstract

To increase the nutritive value of *Lupinus mutabilis* Sweet (chocho) foliage meal by solid-state fermentation with *Aspergillus niger* J1 and *Trichoderma viride* M5-2 strains, two laboratory experiments were carried out. A completely randomized design with 2×8 factorial arrangement and three replicates was used. The two strains of lignocellulolytic fungi and the fermentation times (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 and 168 h) were selected as factors. Samples were taken every 24 h for enzymatic analyses (exo β1-4 glucanase) and chemical composition (neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), cellulose and lignin). Substrate pH and moisture, as well as phenolic and flavonoid content composition were measured. Variations in the physicochemical properties of the flour studied were observed, with decreases in NDF, flavonoids and phenolic content by both strains, reaching a maximum of 12, 75 and 84% respectively in a maximum time of 168 hours in the fermentation with *A. niger* J1 ( $P<0.01$ ). In enzyme kinetics, interaction was observed in all factors ( $P<0.01$ ). High values of exo β 1-4 glucanase enzymes were recorded in *L. mutabilis* Sweet with strain *T. viride* M5-2 at 96 h and sustained this activity over time for *A. niger* J1 with 0.189 UPF/mL. *T. viride* M5-2 and *A. niger* J1 strains improve the nutritive value of legume meal.

**Keywords:** Legume, Solid Fermentation, antinutrients, monogastrics.

---

Forma sugerida de citar: Catagua, D., Dustet Mendosa, J. y Valiño Cabrera, E. (2025). Mejora del valor nutritivo de harina de follaje de *Lupinus mutabilis* Sweet mediante fermentación en estado sólido con las cepas *Aspergillus niger* J1 y *Trichoderma viride* M5-2. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):140-150. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.09>.

---

IDs Orcid:

David Catagua: <https://orcid.org/0000-0002-9418-7253>

Julio Dustet Mendosa: <https://orcid.org/0000-0002-2044-0383>

Elaine Valiño Cabrera: <https://orcid.org/0000-0003-4178-3286>

## 1 Introducción

*Lupinus mutabilis* Sweet (chocho) es un cultivo con pocas exigencias nutricionales y se desarrolla en suelos marginales. Sus granos tienen un elevado valor nutritivo aportando proteínas muy valiosas en la dieta humana. Además, esta leguminosa preserva la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, es rica en calcio y proteínas, y su cultivo se ha extendido por todo el Ecuador, convirtiéndose en la protagonista de proyectos de desarrollo en zonas indígenas del país (Martínez Flores et al., 2016).

Se considera que el grano de *L. mutabilis* Sweet posee un alto valor nutricional; de igual forma, las proteínas y aceites componen más de la mitad de su peso en promedio y a partir de los análisis bromatológicos posee 35,5% de proteína, 16,9% de aceites, 7,65% de fibra cruda, 4,15% de cenizas y 35,77% de carbohidratos (Carvajal-Larenas, 2019). Además posee algunas proteínas que tienen la particularidad de reducir los niveles de glucosa en sangre (Vargas-Guerrero et al., 2014; Gulisano et al., 2019).

Por ser un cultivo de ciclo corto y luego de cosechado el grano de *L. mutabilis* Sweet queda un residuo constituido por el follaje y las vainas que pueden llegar a representar el 75% del peso de la planta. Este residuo suele ser incorporado nuevamente al suelo para que por degradación natural sus nutrientes regresen al suelo; por otro lado, este desecho puede también ser utilizado como fuente de alimentación para el ganado. Este residuo generalmente posee un contenido elevado de fibra que está constituido por fibra bruta (FB), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD).

La fibra puede definirse como el conjunto de componentes de los vegetales que posee baja digestibilidad y promueve el equilibrio ruminal, debido a esto su uso ha estado principalmente dirigido hacia los rumiantes; no obstante, es posible incluirlo en dietas de ganado monogástrico (Savón et al., 2005). Sin embargo, su uso requiere una estrategia apropiada de transformación, para lograr sistemas de producción socialmente deseables y económicamente viables (Savón et al., 2005; Trujillo and Escobar, 2012; Rodríguez García, 2017) debido a la cantidad de compuestos antinutricionales (fibra, contenido fenólico, flavonoides, taninos) que se encuentran presentes en este tipo de harinas

(Molina-Poveda et al., 2013; Díaz Sánchez et al., 2017; Martínez-Pérez et al., 2018). En el caso de la FND se recomienda que su contenido no exceda del 65% y la FAD no sea mayor que 45% (Linn and Martin, 1991), sin embargo, aunque los polifenoles cuentan con efectos beneficiosos para la salud animal, un contenido elevado de estos afecta el valor nutricional del sustrato (Siddhuraju et al., 2000; Besada et al., 2019).

La fermentación en estado sólido (FES) es un método de transformación que consiste en el crecimiento de microorganismos sobre un sustrato y bajo ciertas condiciones de humedad, pH, temperatura, facilita su crecimiento, desarrollo y reproducción (Pandey, 2003). En el caso de estudio, los microorganismos utilizados aprovechan los compuestos antinutricionales (FAD, FND, Polifenoles) como fuente de alimento para su crecimiento, logrando así su reducción. El uso de las FES ha demostrado el incremento del valor nutricional de los sustratos fermentados, así como la inocuidad de estos para su uso en la alimentación animal.

Valiño et al. (2015) incrementaron el valor nutritivo de la harina de cuatro leguminosas usando fermentación sólida con *T. viride* M5-2 para su uso en especies monogástricas. Varadyova et al. (2018) publicaron una revisión en donde demostraban que el uso de sustratos que han sido enriquecidos por un proceso de fermentación sólida puede aumentar la concentración de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen. En 2019, Sugiharto y Ranjitkar demostraron que la fermentación además de ser un medio económico para incrementar el valor nutricional de los ingredientes usados en los piensos de pollos de engorde también ejerce una influencia beneficiosa sobre el ecosistema y la morfología del intestino, las funciones inmunitarias y el rendimiento de crecimiento de las aves (Valiño et al., 2015; Varadyova et al., 2018; Sugiharto and Ranjitkar, 2019).

Como objetivo de esta investigación se pretende mejorar el valor nutritivo de la harina de follaje de *L. mutabilis* Sweet mediante la fermentación sólida con las cepas *Aspergillus niger* J1 y *Trichoderma viride* M5-2.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Diseño experimental y análisis estadístico

Se usó un diseño completamente aleatorizado, con tres repeticiones y dos inóculos (*A. niger* J1 y *T. viride* M5-2), con 8 horarios de muestreo (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h). Cada biodigestor fue considerado como una unidad experimental. Para los análisis estadísticos se usó el programa STATGRAPHICS XV CENTURION.

### 2.2 Microorganismos

Se utilizaron dos cepas de hongos con características lignocelulolíticas, *Aspergillus niger* J1 aislado a partir del bagazo de caña en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, y *Trichoderma viride* M5-2 que pertenece al banco de cepas del Instituto de Ciencia Animal (Mayabeque – Cuba). Se conoce que estas cepas poseen actividad hidrolítica y secretan enzimas celulasas en sustratos con elevada cantidad de fibra. Ambas cepas fueron evaluadas por medio de una fermentación en estado sólido (Valiño et al., 2004a).

### 2.3 Sustrato para la fermentación

El sustrato vegetal consistió en plantas de *L. mutabilis* Sweet post cosecha (hojas y tallo), de la hacienda "Lupita" del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo. En el Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) se procedió a secarlo en una estufa HAFO SERIES 1 600 a temperatura de 65 °C por 48 horas y, posteriormente, se procedió a su molienda con un molino manual marca CORONA

### 2.4 Proceso de fermentación

Para la realización del presente trabajo se usaron 42 frascos de vidrio de 250 ml como biodigestores (21 para la fermentación con *A. niger* J1 y 21 para la fermentación con *T. viride* M5-2). Se agregó a cada uno 10 g del sustrato seco, posteriormente se humedeció con agua destilada hasta alcanzar una humedad inicial de 70% (25 ml) y se enriqueció con urea 2,5% (0,25 gr), fosfato de potasio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 5% (0,5 gr) y sulfato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 10%

(1 gr) (Roussos et al., 1991) y se reguló el pH inicial del sustrato en 6. El sustrato húmedo se esterilizó con vapor saturado en autoclave por 20 min a 121 °C. Para la inoculación del sustrato se prepararon dos suspensiones de esporas, la suspensión de *A. niger* J1 se inoculó en los biodigestores que contenían el sustrato a fermentarse, con una concentración de 10<sup>6</sup> esporas/g de sustrato seco (Villena and Gutiérrez-Correa, 2003) y la suspensión de *T. viride* M5-2 se inoculó en los restantes biodigestores con una concentración de 10<sup>7</sup> esporas/g de sustrato seco (Valiño et al., 2004b).

Los frascos inoculados y homogenizados se colocaron en incubación a 30 °C durante 168 h. Se tomaron muestras cada 24 h para realizar los análisis correspondientes y se determinó el crecimiento de los hongos y la colonización del sustrato por observación visual.

### 2.5 Análisis químicos y enzimáticos

Se pesaron 3 g del material fermentado a las 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h, se añadieron 30 ml de agua destilada, y se colocaron en un agitador mecánico a 140 rpm por 20 min. Posteriormente, se centrifugó la muestra a 5 000 rpm por 10 min y se filtró en papel filtro Whatman número 40 para obtener el extracto enzimático. Se midió el pH y se realizó el análisis enzimático de la actividad exo 1,4 β-D glucanasa (PFasa) utilizando la técnica de la National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-510-42628 de enero de 2008 (Adney and Baker, 2008). Esta actividad enzimática se expresó en unidades de papel filtro por mililitro (UPF/ml).

Los indicadores bromatológicos que se estudiaron fueron la conversión de materia seca (MS) calculada por gravimetría por la diferencia entre la masa seca inicial y la masa seca final (Oliva et al., 2018), Fibra Neutro Detergente (FND) y Fibra Acido Detergente (FAD), lignina (LIG) por el método AN-SI/ASTM D1106-56 y celulosa (CEL) por el método AN-SI/ASTM D1103-60 1977. También se analizó el contenido de compuestos fenólicos (mg de ac. gálico/100 g de sustrato seco) de acuerdo al método de folin ciocalteu (Vera et al., 2022) y el contenido de flavonoides por el método espectrofotométrico (mg de catequinas / 100 g de sustrato seco) (Xu et al., 2017).

### 3 Resultados y Discusión

La composición bromatológica y la granulometría del sustrato se detallan en las Tablas 1 y 2, respectivamente. La fibra, particularmente la que proviene de los forrajes constituye el componente principal de la alimentación de los rumiantes, y su uso en monogástricos se ven limitados debido a la morfología de su sistema digestivo y a pesar de eso varias investigaciones demuestran la factibilidad del uso de este tipo de sustratos en su alimentación (Savón et al., 2005; Jha et al., 2019).

Los componentes fenólicos, particularmente los taninos, tienen la particularidad de precipitar ciertas proteínas disminuyendo así su digestibilidad y reduciendo la disponibilidad de aminoácidos, comprometiendo el valor nutritivo del sustrato (Bessada et al., 2019).

**Tabla 1.** Composición de la harina de follaje de *L. mutabilis* Sweet.

Componente	%	mg/100 gr de MS*
Humedad	3,12	
Fibra Neutro	71,05	
Detergente		
Fibra Ácido	53,84	
Detergente		
Lignina	13,28	
Celulosa	40,56	
Hemicelulosa	17,21	
Flavonoides		55,53
Contenido fenólico		9,78

\* Materia Seca

**Tabla 2.** Caracterización granulométrica de la harina de follaje de *L. mutabilis* Sweet

No. de malla (U.S. STD. Sieve)	%
< 5	0,28
5 - 16	22,67
16 - 25	37,39
25 - 60	33,71
> 60	

En la Tabla 3 se observa que ambas cepas mostraron crecimiento en el sustrato elegido, pero las diferencias entre ambas se observaron a nivel de esporulación. Por un lado, la cepa *A. niger* J1 mostró un crecimiento micelial a las 24 horas, empezó la

esporulación a las 48 h y en 72 h ya había colonizado completamente la superficie del sustrato; por el otro, la cepa *T. viride* M5-2 empezó a las 72 h y no llegó a cubrir de esporas el sustrato durante todo el experimento. Un factor importante en el resultado observado del crecimiento micelial podría ser el tamaño de partícula, pues como mencionan Haldar and Purkait (2020) y Gao et al. (2020), la colonización del sustrato y la esporulación se favorecen con la superficie de contacto, es decir, mientras mayor sea esta, mejor será la colonización.

En la Figura 1 se observa la variación del pH durante las 168 h de fermentación. Para ambas cepas se observan valores de pH entre 6 y 8, esto se corresponde con el intervalo de acción de las enzimas celulolíticas en sustratos fibrosos. Se conoce que los valores óptimos de pH iniciales para la acción hidrolítica de las enzimas celulasas se encuentran entre 5 y 6, aunque estos pueden variar en función del sustrato a fermentar, la temperatura de incubación e incluso con la cepa origen de la enzima (Kaschuk et al., 2020).

En esta investigación la cepa de *T. viride* M5-2 mostró baja acción celulolítica entre los pH 6 y 8 durante la fermentación de *L. mutabilis* Sweet a 30 °C, a diferencia de lo que se obtuvo en otros trabajos con leguminosas (*Vigna unguiculata*) en donde el pH se mantuvo en valores entre 5 y 7 (Valiño et al., 2004b) (Figura 2). Se observó también que durante la fermentación con la cepa de *T. viride* M5-2 el pH se elevó hasta niveles por encima de 8 después del tercer día de fermentación. Esto podría estar relacionado con los grupos  $\alpha$  amino presentes en las proteínas del sustrato, que al disolverse en agua se ionizan y se elimina un protón del grupo funcional que pudiera elevar el pH, y también que el sustrato es rico en compuestos nitrogenados que podrían contribuir con el incremento del pH (Villacrés et al., 2020).

En la Tabla 4 se observa el proceso de fermentación de *L. mutabilis* Sweet en relación con la conversión de materia seca (MS), y también que existe interacción entre los factores estudiados. La cepa de *A. niger* J1 convierte hasta 7,68 unidades porcentuales en las 168 h de fermentación. Por otro lado, la cepa de *T. viride* M5-2 solo 1,3 unidades porcentuales en el mismo tiempo. Estos valores son un indicativo de la actividad de la fermentación, observándose

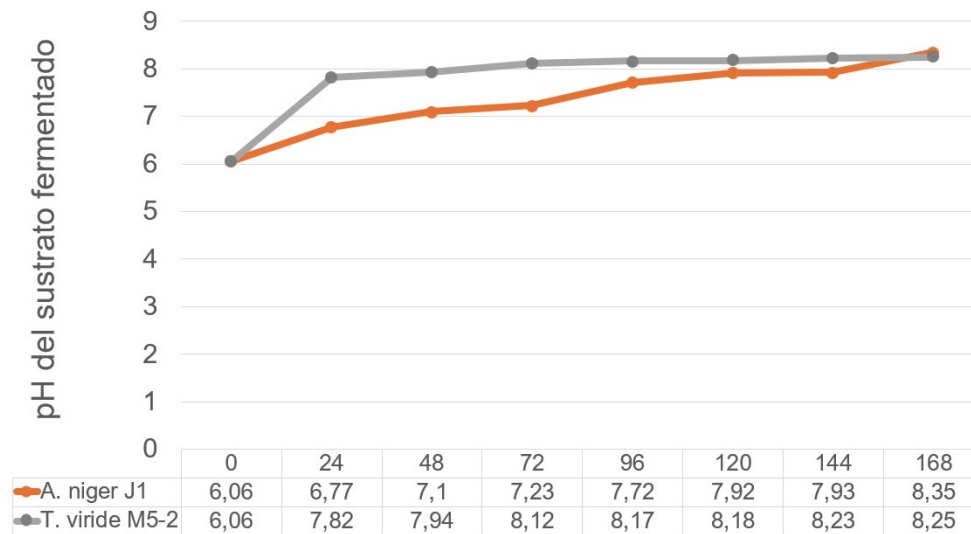
una conversión del sustrato por parte de los hongos. La diferencia de la conversión entre las cepas puede deberse al mismo metabolismo de los hongos (Lameiras et al., 2018) así como a la composición de los

carbohidratos solubles y, por consiguiente, al carácter de alimento funcional de las leguminosas (Dustet and Izquierdo, 2004).

**Tabla 3.** Crecimiento de las cepas *A. niger* J1 y *T. viride* M5-2 durante la dinámica de fermentación de *L. mutabilis* Sweet a Temperatura = 30°C, pH=6, Humedad=70%

Cepa	Crecimiento (Horas)						
	24	48	72	96	120	144	168
<i>A. niger</i> J1	X	XX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>T. viride</i> M5-2		X	XX	XX	XX	XX	XX

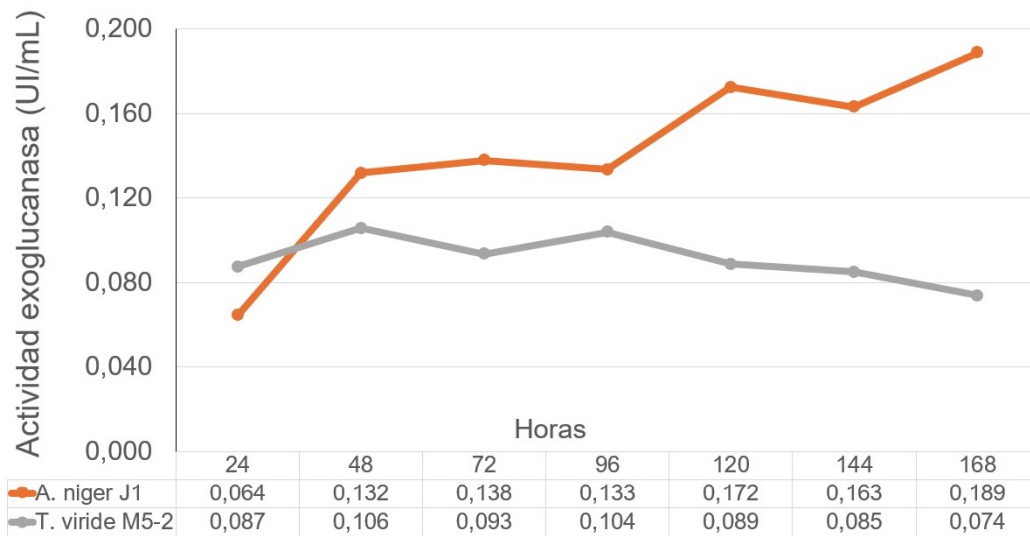
X: inicio del crecimiento micelial, XX: esporulación, XXX: esporulación completa



**Figura 1.** Variación del pH en la dinámica de fermentación del *L. mutabilis* Sweet por las cepas *A. niger* J1 y *T. viride* M5-2 EE ( $\pm$ ) 0,168 P<0,001

Las determinaciones de la actividad exo  $\beta$  1,4-glucanasa (Figura 2) mostraron que los hongos producen enzima celulasa y la actividad de estas enzimas se alcanza en su mayoría durante las primeras horas de fermentación y mantienen actividad durante las 168 h de fermentación. Esta actividad hidrolítica presenta una marcada diferencia. La cepa de *A. niger* J1 tiene mayor actividad celulólitica e incrementa durante la fermentación de *L. mutabilis* Sweet desde 0,064 UPF/mL hasta 0,189 UPF/mL al finalizar la fermentación y se corresponde con la colonización del hongo en el sustrato y su esporula-

ción. Sin embargo, en el caso de la cepa de *T. viride* M5-2 no se aprecia un aumento notable de la actividad enzimática, alcanzando los valores máximos de 0,106 UPF/mL en el segundo día de fermentación y posteriormente la actividad se redujo a valores de hasta 0,074 UPF/mL; estos valores de actividad enzimática fueron muy bajos. Este comportamiento pudiera estar relacionado con el tipo de sustrato que no favoreció la acción hidrolítica (Malgas et al., 2017), y a su vez podrían estar relacionados con el pH elevado que afecta la actividad enzimática (Villacrés et al., 2020).



**Figura 2.** Actividad enzimática exo β 1-4 glucanasa de las cepas *A. niger* J1 y *T. viride* M5-2 durante la dinámica de fermentación en estado sólido de *L. mutabilis* Sweet. EE (±) 0,038 P<0,001

**Tabla 4.** Conversión de materia seca durante el proceso de fermentación sólida de *L. mutabilis* Sweet con *A. niger* J1 y *T. viride* M5-2. Condiciones iniciales: Temperatura=30 °C, pH=6, Humedad=70 %

Indicador	Cepa	Tiempo de fermentación (horas)							EE (±)	
		0	24	48	72	96	120	144	168	Sign.
Conversión de MS (%)	<i>A. niger</i> J1	0 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	3,02 <sup>c</sup>	4,46 <sup>d</sup>	5,71 <sup>e</sup>	7,48 <sup>f</sup>	7,68 <sup>f</sup>	0,679
	<i>T. viride</i> M5-2	0 <sup>a</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,93 <sup>b</sup>	0,94 <sup>b</sup>	0,95 <sup>b</sup>	1,16 <sup>b</sup>	1,23 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	P<0,001

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> Letras distintas indican diferencias significativas P<0,05, según Duncan

En la Tabla 5 se observa el efecto del proceso fermentativo en la fracción fibrosa del sustrato. Se observa una reducción notable de los valores de FND por ambas cepas y de FAD por la cepa *A. niger* J1. Dicha reducción puede estar relacionada con los altos valores de nitrógeno asociado a este indicador (Villacrés et al., 2020) ya que las cepas estudiadas, además de usar los componentes de la pared celular, pudieron metabolizar parte del nitrógeno asociado a la fibra como nutriente, antes de comenzar a degradar la lignina (Valiño et al., 2015).

La FND o también llamada fibra insoluble es la que mejor predice el valor energético del sustrato. Los niveles muy bajos ralentizan el tránsito intestinal, reducen los rendimientos productivos e incrementan el riesgo de padecer patologías digestivas (Jiménez-Moreno et al., 2019), pero un exceso de este valor también está relacionado con la poca digestibilidad del sustrato, especialmente en especies

monogástricas que no tienen el sistema digestivo adaptado al consumo de piensos con niveles de fibra altos. Valiño et al. (2015) demostró que la cepa de *T. viride* M5-2 tenía un potencial valioso para la biotransformación de sustratos fibrosos que pudieran ser incluidos posteriormente en la alimentación animal.

Ambas cepas mostraron capacidad de degradación de la fracción fibrosa del sustrato. *A. niger* J1 redujo la FND y la FAD en 12 unidades porcentuales, mientras que *T. viride* M5-2 redujo la FND en 12 unidades porcentuales, pero la FAD solo en 6 unidades. La actividad celulolítica es mayor en *A. niger* J1 pudiendo degradar la celulosa 11 unidades porcentuales, mientras que *T. viride* M5-2 solo 4 unidades.

El uso de *L. mutabilis* Sweet como sustrato para las fermentaciones sólidas ha sido poco estudiado.

Por el contrario, se han usado otras variedades de *Lupinus* en fermentaciones con bacterias para incrementar sus valores nutricionales (Starkute et al., 2016; Bartkiene et al., 2018).

La Tabla 6 muestra el efecto que produce la fermentación sobre los metabolitos secundarios presentes y asociados a la fracción fibrosa del sustrato analizado. Del análisis del contenido fenólico y su transformación se observó que la cepa de *A. niger* J1 redujo de 9,78 mg hasta 1,83 mg por cada 100 gramos de sustrato seco, alcanzando la mayor reducción durante los tres primeros días. Esta reducción está acorde con lo publicado por Molina et al. (1990) que reduce hasta un 75% el contenido de polifenoles utilizando otra cepa de *A. niger*.

Por otro lado, *T. viride* M5-2 solo redujo el contenido fenólico de 9,78 mg hasta 4,49 mg a lo largo del proceso. La cepa *A. niger* J1 reduce los flavonoides en un 53% con relación al sustrato sin fermentar, mientras que la cepa de *T. viride* M5-2 los reduce

en un 22% durante los cuatro primeros días de la fermentación; sin embargo, a partir del quinto día estos se concentran probablemente por la reducción de la materia seca durante la fermentación.

A diferencia de otros sustratos lignocelulósicos, para la fermentación del Lupino no se requirió un pretratamiento. Esto ya se había observado en experimentos realizados a nivel de laboratorio con otro tipo de leguminosas (Pérez et al., 2016), pero no cuando se usa el bagazo de caña (De la Cruz et al., 2016).

Se observaron resultados similares en estudios fitoquímicos de los compuestos fenólicos realizados por Scull et al. (2015) en forraje de otras leguminosas con varias cepas de hongos. Sin embargo, el potencial enzimático la cepa *T. viride* M5-2 en esta leguminosa temporal tuvo mayor impacto en su transformación, con una reducción 32% de los polifenoles, 18% de los flavonoides y un 3% de fibra, sin adición de otras fuentes minerales.

**Tabla 5.** Efecto del proceso de fermentación en la fracción fibrosa del sustrato con ambas cepas. Temperatura=30 °C, pH=6, Humedad=70%

Indicadores (%)	Cepa	Tiempo de fermentación (horas)								EE (±)
		0	24	48	72	96	120	144	168	Signific.
FND	<i>A. niger</i> J1	71,05 <sup>b</sup>	61,26 <sup>a</sup>	59,25 <sup>a</sup>	61,60 <sup>a</sup>	60,73 <sup>a</sup>	60,55 <sup>a</sup>	57,62 <sup>a</sup>	59,37 <sup>a</sup>	0,773
	<i>T. viride</i> M5-2	71,05 <sup>b</sup>	61,67 <sup>a</sup>	59,87 <sup>a</sup>	61,26 <sup>a</sup>	60,14 <sup>a</sup>	60,70 <sup>a</sup>	60,64 <sup>a</sup>	58,97 <sup>a</sup>	P<0,001
FAD	<i>A. niger</i> J1	53,84 <sup>d</sup>	50,84 <sup>d</sup>	47,29 <sup>abcd</sup>	47,94 <sup>abcd</sup>	48,43 <sup>abcd</sup>	42,75 <sup>ab</sup>	43,04 <sup>abc</sup>	41,77 <sup>a</sup>	0,827
	<i>T. viride</i> M5-2	53,84 <sup>d</sup>	49,34 <sup>abcd</sup>	49,08 <sup>abcd</sup>	50,23 <sup>cd</sup>	48,60 <sup>abcd</sup>	49,19 <sup>abcd</sup>	47,87 <sup>abcd</sup>	47,89 <sup>abcd</sup>	P<0,001
Lignina	<i>A. niger</i> J1	13,28 <sup>c</sup>	10,80 <sup>abc</sup>	11,36 <sup>abc</sup>	12,62 <sup>bc</sup>	13,75 <sup>c</sup>	12,15 <sup>abc</sup>	13,01 <sup>c</sup>	12,01 <sup>abc</sup>	0,320
	<i>T. viride</i> M5-2	13,28 <sup>c</sup>	9,25 <sup>a</sup>	9,83 <sup>ab</sup>	11,16 <sup>abc</sup>	10,92 <sup>abc</sup>	11,62 <sup>abc</sup>	11,06 <sup>abc</sup>	11,06 <sup>abc</sup>	P<0,001
Celulosa	<i>A. niger</i> J1	40,56 <sup>c</sup>	40,04 <sup>c</sup>	35,93 <sup>abc</sup>	35,32 <sup>abc</sup>	34,68 <sup>abc</sup>	30,60 <sup>ab</sup>	30,03 <sup>a</sup>	29,76 <sup>a</sup>	0,939
	<i>T. viride</i> M5-2	40,56 <sup>c</sup>	40,09 <sup>c</sup>	39,25 <sup>c</sup>	39,07 <sup>c</sup>	37,68 <sup>c</sup>	37,57 <sup>c</sup>	36,81 <sup>bc</sup>	36,83 <sup>bc</sup>	P<0,001

<sup>a,b,c,d</sup> Letras distintas indican diferencias significativas P<0,05, según Duncan

**Tabla 6.** Efecto de la fermentación sobre los flavonoides y polifenoles.

Indicador (mg / 100 g MS)	Cepa	Tiempo de fermentación (horas)								EE (±)
		0	24	48	72	96	120	144	168	Signific.
Flavonoides	<i>A. niger</i> J1	55,53 <sup>de</sup>	46,82 <sup>bc</sup>	30,25 <sup>a</sup>	27,57 <sup>a</sup>	30,62 <sup>a</sup>	27,05 <sup>a</sup>	26,53 <sup>a</sup>	26,01 <sup>a</sup>	3,890
	<i>T. viride</i> M5-2	55,53 <sup>de</sup>	53,53 <sup>de</sup>	50,31 <sup>cd</sup>	44,57 <sup>b</sup>	43,28 <sup>b</sup>	56,35 <sup>e</sup>	64,23 <sup>f</sup>	72,17 <sup>g</sup>	P<0,001
Contenido fenólico	<i>A. niger</i> J1	9,78 <sup>h</sup>	5,35 <sup>d</sup>	1,96 <sup>ab</sup>	1,83 <sup>a</sup>	2,61 <sup>ab</sup>	2,16 <sup>ab</sup>	2,52 <sup>b</sup>	2,52 <sup>b</sup>	0,730
	<i>T. viride</i> M5-2	9,78 <sup>h</sup>	8,74 <sup>g</sup>	8,60 <sup>g</sup>	8,45 <sup>g</sup>	6,90 <sup>f</sup>	6,10 <sup>e</sup>	5,02 <sup>d</sup>	4,49 <sup>c</sup>	P<0,001

<sup>a,b,c,d,e,f,g,h</sup> Letras distintas indican diferencias significativas P<0,05, según Duncan

## 4 Conclusiones

Los resultados demuestran que al utilizar una fermentación en estado sólido es posible reducir factores antinutricionales de una harina de follaje de *L. mutabilis* Sweet hasta obtener valores aceptables, lo que incrementa su potencial valor nutricional. En el presente estudio se redujeron considerablemente los valores de FND, FAD, flavonoides y contenido polifenólico durante la fermentación, lo que incrementa su calidad nutritiva, mejorando sus potencialidades para el uso en especies monogástricas, y favoreciendo su posterior procesamiento.

Las cepas *T. viride* M5-2 y *A. niger* J1 permitieron desarrollar un proceso fermentativo biológicamente factible con la harina de follaje en estudio, mejorando su valor nutritivo, obteniéndose los mejores resultados con la cepa de *A. niger* J1. Se recomienda optimizar el proceso para su escalado.

## Contribución de los autores

D.J.C.M.: Conceptualización, análisis formal, tratamiento de datos, adquisición de financiación, investigación, administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, Escritura-borrador original. J.C.D.M.: Conceptualización, administración de proyecto, supervisión, escritura-revisión y edición. E.V.C.: Conceptualización, administración de proyecto, supervisión, escritura-revisión y edición.

## Referencias

Adney, B. and Baker, J. (2008). Measurement of cellulase activities: laboratory analytical procedure (lap); issue date: 08/12/1996. Technical report, National Renewable Energy Laboratory. Online: <https://n9.cl/049a15>.

Bartkiene, E., Sakiene, V., Bartkevics, V., Juodeikiene, G., Lele, V., Wiacek, C., and Braun, P. (2018). Modulation of the nutritional value of lupine wholemeal and protein isolates using submerged and solid-state fermentation with *Pediococcus pentosaceus* strains. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(8):1896–1905. Online: <https://n9.cl/1o079>.

Bessada, S., Barreira, J., and Oliveira, M. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 93:53–68. Online: <https://n9.cl/meeep>.

Carvajal-Larenas, F. (2019). Nutritional, rheological and sensory evaluation of *Lupinus mutabilis* food products-a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(5):301–311. Online: <https://n9.cl/4556o>.

De la Cruz, K., Dustet-Mendoza, J., Pérez-Caballero, L., and Anaya-Villalpanda, M. (2016). Caracterización de enzimas celulasas de nuevas cepas fúngicas obtenidas a partir de bagazo de caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(2):35–42. Online: <https://n9.cl/4lvc7>.

Díaz Sánchez, M., Martín-Cabrejas, M., Martínez Pérez, M., Savón Valdés, L., Aguilera, Y., Benítez, V., Torres Cárdenas, V., Coto Valdés, G., González Conde, A., and Sarmiento Menéndez, M. (2017). Germinados de leguminosas temporales: Una alternativa para la alimentación animal. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3):381–390. Online: <https://n9.cl/s4zip>.

Dustet, J. and Izquierdo, E. (2004). Aplicación de balances de masa y energía al proceso de fermentación en estado sólido de bagazo de caña de azúcar con *Aspergillus niger*. *Biotecnología Aplicada*, 21(2):85–91. Online: <https://n9.cl/rxp1c>.

Gao, W., Lei, Z., Tabil, L., and Zhao, R. (2020). Biological pretreatment by solid-state fermentation of oat straw to enhance physical quality of pellets. *Journal of Chemistry*, 2020(1). Online: <https://n9.cl/sed5n>.

Gulisano, A., Alves, S., Martins, J., and Trindade, L. (2019). Genetics and breeding of *Lupinus mutabilis*: An emerging protein crop. *Frontiers in Plant Science*, 10:1385. Online: <https://n9.cl/ol8z4>.

Haldar, D. and Purkait, M. (2020). Lignocellulosic conversion into value-added products: A review. *Process Biochemistry*, 89:110–133. Online: <https://n9.cl/lt7j10>.

Jha, R., Foughse, J., Tiwari, U., Li, L., and Willing, B. (2019). Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 6(48). Online: <https://n9.cl/l4fl3>.

- Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J., de Coca-Sinova, A., Lázaro, R., Cámara, L., and Mateos, G. (2019). Insoluble fiber sources in mash or pellets diets for young broilers. 2. effects on gastrointestinal tract development and nutrient digestibility. *Poultry Science*, 98(6):2531–2547. Online: <https://n9.cl/t1bt5>.
- Kaschuk, J., de Alexandria Santos, D., Frollini, E., Canduri, F., and Porto, A. (2020). Influence of pH, temperature, and sisal pulp on the production of cellulases from *Aspergillus* sp. cbmai 1198 and hydrolysis of cellulosic materials with different hemicelluloses content, crystallinity, and average molar mass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10:483–494. Online: <https://n9.cl/3mbvf>.
- Lameiras, F., Ras, C., Ten Pierick, A., Heijnen, J., and van Gulik, W. (2018). Stoichiometry and kinetics of single and mixed substrate uptake in *Aspergillus niger*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41:157–170. Online: <https://n9.cl/uk1et>.
- Linn, J. and Martin, N. (1991). Forage quality analyses and interpretation. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 7(2):509–523. Online: <https://n9.cl/tbn61>.
- Malgas, S., Thoresen, M., van Dyk, J., and Pletschke, B. (2017). Time dependence of enzyme synergism during the degradation of model and natural lignocellulosic substrates. *Enzyme and Microbial Technology*, 103:1–11. Online: <https://n9.cl/pl4kx>.
- Martínez Flores, L., Ruivenkamp, G., and Jongerden, J. (2016). Fitomejoramiento y racionalidad social: los efectos no intencionales de la liberación de una semilla de lupino (*Lupinus mutabilis* sweet) en Ecuador. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, (26):71–91. Online: <https://bit.ly/4fublCu>.
- Martínez-Pérez, M., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R., and Sandoval-Castro, C. (2018). Chemical composition and *in vitro* protein digestibility of processed *Mucuna pruriens* seeds. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(3):313–319. Online: <https://n9.cl/daxg4>.
- Molina, M., Lechuga, O., and Bressani, R. (1990). Valor nutritivo de la pulpa de café sometida a fermentación sólida usando *Aspergillus niger* en pollos y cerdos. *Agronomía Mesoamericana*, 1:79–82. Online: <https://n9.cl/imwd4j>.
- Molina-Poveda, C., Lucas, M., and Jover, M. (2013). Evaluation of the potential of andean lupin meal (*Lupinus mutabilis* sweet) as an alternative to fish meal in juvenile *Litopenaeus vannamei* diets. *Aquaculture*, 410:148–156. Online: <https://n9.cl/pe2tq>.
- Oliva, M., Valqui, L., Meléndez, J., Milla, M., Leiva, S., Collazos, R., and Maicelo, J. (2018). Influencia de especies arbóreas nativas en sistemas silvopastoriles sobre el rendimiento y valor nutricional de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*. *Scientia Agropecuaria*, 9(4):579–583. Online: <https://n9.cl/z7qw8>.
- Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13(2-3):81–84. Online: <https://n9.cl/1413a>.
- Pérez, H., Dustet, J., and Valiño, E. (2016). Incremento de la calidad nutritiva potencial de la harina de follaje de stizolobium niveum (mucuna) mediante fermentación en estado sólido con el hongo trichoderma viride m5-2. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 47:30–33. Online: <https://n9.cl/bbzls>.
- Rodríguez García, I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (hemsli.) gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development*, 29(4). Online: <https://n9.cl/k43jr0>.
- Roussos, S., Olmos, A., Raimbault, M., Saucedo-Castañeda, G., and Lonsane, B. (1991). Strategies for large scale inoculum development for solid state fermentation system: conidiospores of *Trichoderma harzianum*. *Biotechnology Techniques*, 5:415–420. Online: <https://n9.cl/yqhhe>.
- Savón, L., Gutiérrez, O., Ojeda, F., and Scull, I. (2005). Harinas de follajes tropicales: una alternativa potencial para la alimentación de especies monogástricas. *Pastos y Forrajes*, 28(1):69–79. Online: <https://n9.cl/dqjuw>.
- Scull, I., Savón, L., Valiño, E., and Ramos, Y. (2015). Composición fitoquímica de la harina de forraje de mucuna (*Stylobium aterrimum*) fermentada con el hongo *Trichoderma viride*. *Multiciencias*, 15(3):265–270. Online: <https://n9.cl/srm4x>.
- Siddhuraju, P., Becker, K., and Makkar, H. (2000). Studies on the nutritional composition and anti-nutritional factors of three different germplasm

- seed materials of an under-utilized tropical legume, *Mucuna pruriens* var. *Utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12):6048–6060. Online: <https://n9.cl/6dy5p>.
- Starkute, V., Bartkiene, E., Bartkevics, V., Rusko, J., Zadeike, D., and Juodeikiene, G. (2016). Amino acids profile and antioxidant activity of different *Lupinus angustifolius* seeds after solid state and submerged fermentations. *Journal of Food Science and Technology*, 53:4141–4148. Online: <https://n9.cl/sh9y7>.
- Sugiharto, S. and Ranjitkar, S. (2019). Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. *Animal Nutrition*, 5(1):1–10. Online: <https://n9.cl/53y71>.
- Trujillo, A. and Escobar, A. (2012). Evaluación de la sustitución de concentrado comercial por harina de forrajeras en pollos de engorde ross. *Agroecología: Ciencia y Tecnología*, 1(1):6–12. Online: <https://n9.cl/m7jeu>.
- Valiño, E., Elías, A., Torres, V., Carrasco, T., and Albelo, N. (2004a). Improvement of sugarcane bagasse composition by the strain *Trichoderma viride* m5-2 in a solid-state fermentation bioreactor. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 38(2):143–150. Online: <https://n9.cl/peo82j>.
- Valiño, E., García, R., and Albelo, N. (2004b). Efecto de la inoculación de la cepa de *Trichoderma viride* 137 mcxi en mezclas de *Vigna unguiculata* y bagazo de caña de azúcar para disminuir factores antinutricionales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(1):65–72. Online: <https://n9.cl/109v6>.
- Valiño, E., Savón, L., Elías, A., Rodríguez, M., and Albelo, N. (2015). Mejora del valor nutritivo de las leguminosas temporales *Vigna unguiculata*, *Canavalia ensiformis*, *Stizolobium niveum*, *Lablab purpureus* mediante el procesamiento de sus granos con *Trichoderma viride* m5-2. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1):81–89. Online: <https://n9.cl/125tw>.
- Varadyova, Z., Certik, M., and Jalc, D. (2018). The possible application of fungal enriched substrates in ruminant nutrition. a review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 27(1):3–10. Online: <https://n9.cl/9gn0c>.
- Vargas-Guerrero, B., García-López, P., Martínez-Ayala, A., Domínguez-Rosales, J., and Gurrola-Díaz, C. (2014). Administration of *Lupinus albus* gamma conglutin ( $\gamma$ ) to n5 stz rats augmented *Ins-1* gene expression and pancreatic insulin content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69:241–247. Online: <https://n9.cl/hhs3c3>.
- Vera, J., Dueñas, A., Rodríguez, J., and Radice, M. (2022). Phytochemical characterization of the ethanolic extract, antioxidant activity, phenolic content and toxicity of the essential oil of *Curcuma longa* l. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 39(1):1–7. Online: <https://bit.ly/3Ag5diz>.
- Villacrés, E., Quelal, M., Jácome, X., Cueva, G., and Rosell, C. (2020). Effect of debittering and solid-state fermentation processes on the nutritional content of lupine (*Lupinus mutabilis* sweet). *International Journal of Food Science and Technology*, 55(6):2589–2598. Online: <https://n9.cl/4zm84>.
- Villena, G. and Gutiérrez-Correa, M. (2003). Biopelículas de *Aspergillus niger* para la producción de celulasas: algunos aspectos estructurales y fisiológicos. *Revista Peruana de Biología*, 10(1):78–87. Online: <https://n9.cl/h1dgl>.
- Xu, C., Wang, B., Pu, Y., Tao, J., and Zhang, T. (2017). Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 15(10):721–731. Online: <https://n9.cl/qdayb>.



DISTANCIAMIENTO DE SIEMBRA EN *ZEAMAYS L.* DURANTE LA  
ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA EN LA COSTA CENTRAL DEL ECUADOR  
PLANTING DISTANCE IN *ZEAMAYS L.* DURING THE DRY AND RAINY SEASONS  
ON THE CENTRAL COAST OF ECUADOR

Camilo Alexander Mestanza Uquillas<sup>1</sup>, Pánfilo José Cedeño Cárcamo<sup>2</sup>,  
Diana Verónica Véliz Zamora<sup>1</sup>, Santiago Cristóbal Vásquez Matute<sup>3</sup> y John  
Jairo Pinargote Alava<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo-(UTEQ), Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup>Proyecto de Innovación de Asistencia Técnica y Extensión Rural (PIATER), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Loja (UNL), Loja, Ecuador.

<sup>4</sup>Egresado de la Universidad de Córdoba-(UCO), Córdoba, España.

\*Autor para correspondencia: [cmestanza@uteq.edu.ec](mailto:cmestanza@uteq.edu.ec)

Manuscrito recibido el 12 de enero de 2022. Aceptado, tras revisión el 04 de julio de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2025.

### Resumen

La investigación se desarrolló en el cantón Mocache provincia de Los Ríos, donde se establecieron tres ensayos experimentales de maíz, uno en la propiedad del Sr. Fortunato Cedeño Díaz, ubicado en el sector John F. Kennedy, y dos ubicados en el Campus "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), con el fin de evaluar el efecto de distintos distanciamientos de siembra sobre el comportamiento agronómico de un híbrido comercial (híbrido ADV-9139) y una variedad criolla (Variedad criolla S/N) de maíz durante la época seca y lluviosa para definir distancias de siembra óptimas que permitan alcanzar mejores rendimientos. Se aplicó un Diseño completamente al azar (DCA) con arreglo unifactorial, con seis tratamientos compuestos por la combinación de dos variables: variedades y distanciamientos de siembra. La primera conformada por dos genotipos: híbrido ADV-9139 y una variedad criolla S/N, y la segunda por distancias de 0,6 × 0,2 m; 0,7 × 0,2 m y 0,8 × 0,2 m. Cada uno de estos tratamientos tuvo cuatro repeticiones. Los resultados registrados demostraron una escasa influencia de las distancias sobre la altura de planta, diámetro del tallo y altura de inserción de mazorca. Respecto a los parámetros productivos como el rendimiento se logró destacar T4 (Híbrido ADV – 9139 + 0,6 X 0,2) y T5 (Híbrido ADV – 9139 + 0,7 X 0,2) en los ensayos 1 y 3, mientras que únicamente destacó T4 en el ensayo 2.

**Palabras clave:** Maíz, densidad, genotipos, respuesta agronómica, parámetros productivos.

---

**Abstract**

The research was carried out in Mocache, province of Los Ríos, where three experimental corn trials were established, one on the property of Mr. Fortunato Cedeño Diaz, located in the John F. Kennedy sector, and two located on the "La María" Campus of the Quevedo State Technical University (UTEQ), with the purpose of evaluating the effect of different planting distances of a commercial hybrid (hybrid ADV-9139) and a creole variety (Creole variety S/N) of corn during the dry and rainy seasons, in order to define optimal planting distances to achieve better yields. A completely randomized design (CRD) with a unifactorial arrangement was applied, with six treatments composed of a combination of two variables: varieties and planting distances. The first consisted of two genotypes: hybrid ADV-9139 and a creole variety S/N, and the second consisted of distances of 0.6 times 0.2 m; 0.7 × 0.2 m and 0.8 × 0.2 m. Each of these treatments had four replications. The results showed little influence of distances on plant height, stem diameter and ear insertion height. Regarding productive parameters such as yield, T4 (Hybrid ADV - 9139 + 0.6 X 0.2) and T5 (Hybrid ADV - 9139 + 0.7 X 0.2) stood out in trials 1 and 3, while only T4 stood out in trial 2.

**Keywords:** Maize, density, genotypes, agronomic response, yield parameters.

---

Forma sugerida de citar: Mestanza Uquillas, C. A., Cedeño Cárcamo, P.J., Véliz Zamora, D.V., Vásquez Matute, S.C. y Pinargote Alava, J.J. (2025). Distanciamiento de siembra en *Zea mays* L. durante la época seca y lluviosa en la costa central del Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 41(1):151-161. <https://doi.org/10.17163/lgr.n41.2025.10>.

---

IDs Orcid:

Camilo Alexander Mestanza Uquillas: <https://orcid.org/0000-0001-9299-170X>

Pánfilo José Cedeño Cárcamo: <https://orcid.org/0000-0002-9411-8645>

Diana Verónica Véliz Zamora: <https://orcid.org/0000-0003-2039-8741>

Santiago Cristóbal Vásquez Matute: <https://orcid.org/0000-0002-3713-020X>

John Jairo Pinargote Alava: <https://orcid.org/0000-0002-8065-5124>

## 1 Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más susceptibles al estrés por falta de nutrientes, sobre todo durante el período pre y post floración (denominado período crítico). El grado de afección del cultivo en este período está directamente relacionado a las prácticas agronómicas empleadas y a la disponibilidad de recursos para el crecimiento de las plantas (Videla et al., 2014).

Uno de los factores más importantes en este sentido es la densidad poblacional, pues frente a cambios en esta se pueden provocar distintas respuestas dentro de los parámetros productivos, los cuales a su vez dependen del genotipo y de la calidad ambiental (Quevedo et al., 2015). Esto se debe a la disponibilidad de recursos por planta modulada en procesos del cultivo como la captura y uso de la radiación solar y por caracteres propios del genotipo como la plasticidad reproductiva y la estabilidad de la partición de biomasa durante la etapa crítica, aunque se conoce que los híbridos modernos difieren en la densidad que maximiza su rendimiento (Ogando et al., 2017).

No obstante, en virtud de las modificaciones introducidas en los genotipos de maíz más recientes, como menor estatura de la planta y altura de inserción de la mazorca, menor esterilidad de plantas, menor duración del subperíodo florecimiento-espigamiento, plantas con hojas de ángulo más recto y elevado potencial productivo, resulta necesario reevaluar las recomendaciones de espaciamiento y densidad de siembra (Martínez et al., 2017).

De igual forma ocurre en las variedades criollas, las cuales han sido cultivadas y sometidas a selección de los agricultores durante generaciones, conservando una identidad propia y gran rusticidad, pero careciendo de un mejoramiento formal (CIMMYT, 2014) que, sumado a la ausencia de prácticas adecuadas como la implementación de distancias de siembra idóneas, han privado la explotación real del potencial presente en muchos de los materiales.

Es por lo anteriormente mencionado y por la gran importancia cultural, valor socioeconómico y dinámica que presenta este cultivo en términos municipales como Mocache, así como en la pro-

vincia de Los Ríos en general, donde se concentra el 43,81% de la producción nacional de maíz (1 479 770 t) según datos del INEC (2020), que se reconsideran estrategias que permitan incrementar la productividad para satisfacer la demanda local, indispensable al momento de solventar la cadena productiva de la zona.

Por ello, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de distintas distancias de siembra sobre el comportamiento agronómico de un híbrido comercial y una variedad criolla de maíz en las condiciones agroclimáticas del cantón Mocache durante la época seca y lluviosa, con la finalidad de definir el distanciamiento de siembra óptimo que permita alcanzar mejores rendimientos.

## 2 Material y Métodos

### 2.1 Ubicación del experimento y manejo del cultivo

El establecimiento de los ensayos 1 y 2 de maíz cultivados en la época lluviosa tuvieron lugar en el mes de diciembre del año 2020, el ensayo 1 se estableció en la propiedad del Sr. Fortunato Cedeño Diaz, en el sector John F. Kennedy del cantón Mocache, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas: 1°15'57.3" Latitud Sur y 79°29'43.8" Longitud Oeste, a una altitud de 71,4 msnm. El ensayo 2 se implantó en el Campus "La María" de la UTEQ, con coordenadas geográficas: 1°05'01" Latitud Sur y 79°30'02" Longitud Oeste, a una altitud de 66 msnm. El ensayo 3 se estableció exactamente en el mismo sitio que el ensayo 2, pero en el mes de mayo correspondiente a la época seca del año 2021. En la Tabla 1 se describen las condiciones agroclimáticas presentes en el cantón Mocache.

**Tabla 1.** Condiciones agroclimáticas del cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

Datos agroclimáticos	Valores promedios
Altitud	75 msnm
Temperatura	24,9 °C
Humedad Relativa (%)	84%
Precipitación	2216,3 mm
Topografía	Irregular

En cuanto al manejo, se establecieron tres ensayos experimentales de 1320 m<sup>2</sup> en los sitios y épocas anteriormente mencionadas, para lo cual se llevó a

cabo de forma manual labores como el desmalezado y arado de los terrenos. Además, se procedió a establecer de forma aleatoria las unidades experimentales.

Una vez preparado los terrenos, se procedió a efectuar la siembra que se ejecutó de forma manual con la ayuda de un espeque. En este punto, se emplearon los siguientes distanciamientos de siembra:  $0,6 \times 0,2$  m;  $0,7 \times 0,2$  m y  $0,8 \times 0,2$  m. En lo que respecta al control de malas hierbas, se realizó de manera convencional con la implementación de productos herbicidas pre-emergentes y post-emergentes selectivos para evitar daños colaterales. Por otro lado, la fertilización se desarrolló a base de Urea y Fosfato Di Amónico (DAP). Así mismo, el control fitosanitario se llevó a cabo de forma convencional, con la aplicación de insecticidas sistémicos y de contacto. Además, se usaron fungicidas, los cuales se mostraron esenciales tomando en cuenta que el ensayo se desarrolló durante la época lluviosa. Tomando en consideración que la siembra estuvo programada para el mes de diciembre/2020 en el caso de los ensayos 1 y 2 y que, por ende, iniciaba la época lluviosa, naturalmente el riego no fue suministrado, manteniéndose el cultivo en condiciones de secano, mientras que en el caso del ensayo 3 fue necesario suministrar riego por aspersión hasta alcanzar capacidad de campo. Por último, la cosecha se llevó a cabo de forma manual, una vez que las plantas se encontraban en madurez fisiológica.

## 2.2 Diseño Experimental

Los tres ensayos se efectuaron con un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo unifactorial, con seis tratamientos compuestos por la combinación de dos variables: variedades y distanciamientos de siembra. La primera conformada por dos genotipos: híbrido ADV-9139 y una variedad criolla S/N, y la segunda por distancias de  $0,6 \times 0,2$  m;  $0,7 \times 0,2$  m y  $0,8 \times 0,2$  m. Cada uno de estos tratamientos tuvo cuatro repeticiones. El área útil de cada ensayo fue de  $1320 \text{ m}^2$ , conformadas por 24 parcelas de  $25 \text{ m}^2$  en cada caso.

## 2.3 Mediciones y análisis estadístico

La altura de planta se registró a los 60 días después de la siembra (dds) mediante la selección aleatoria de 10 plantas por parcela (repetición), para poste-

riormente ser medidas en el espacio comprendido entre el suelo y la base de la espiga de la planta con ayuda de un flexómetro. Para determinar el número de hileras, diámetro y longitud de mazorcas, se seleccionaron 10 mazorcas al azar y se cuantificaron y registraron las medidas según cada caso. Así mismo, se procedió a determinar el peso de 100 semillas y el rendimiento, para lo cual fue necesario realizar un trillado previo de las mazorcas provenientes del área útil de cada parcela experimental y posteriormente uniformizados al 13% de humedad empleando la siguiente fórmula:

$$PU(13\%) = \frac{Pa(100 - Ha)}{100 - Hd}$$

*PU* representa el peso Uniformado al 13% de humedad, *Pa* el Peso actual, *Ha* la Humedad actual y *Hd* la Humedad deseada.

Los datos obtenidos en los tres ensayos se sometieron al análisis de varianza y las medias de los tratamientos comparadas mediante la prueba de Tukey (5%). Para ello, se empleó el software estadístico InfoStat versión 2019l.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Altura de planta (m)

En la altura de planta se mostraron dos escenarios distintos. El primero tuvo lugar en el ensayo 1 y 2, donde a través del análisis de la varianza se demostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $P < 0,05$ ) obteniendo en el ensayo 1 registros más altos T1, T3 y T2 con valores de 2,86, 2,82 y 2,81 m respectivamente; mientras que, en el ensayo 2 el tratamiento distinto fue T1 con una cifra de 2,98 m. Por otra parte, en lo que respecta al ensayo 3, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ) (Tabla 2).

### 3.2 Número de hileras por mazorca

Respecto al número de hileras por mazorca, según el ANOVA con un coeficiente de variación del 3,87%, no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos que constituyeron los ensayos 1, 2 y 3 ( $p > 0,05$ ), obteniendo promedios que oscilaron entre las 14 y 16 hileras por mazorca en cada uno de los casos (Tabla 3).

**Tabla 2.** Altura de planta a los 60 dds (m) en el ensayo 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

Ubicación de los ensayos		Altura de planta <sup>1</sup>		
		John F. Kennedy, época lluviosa del 2020 (ensayo 1) 60 dds <sup>2</sup>	Campus “La María”, época lluviosa del 2020 (ensayo 2) 60 dds <sup>2</sup>	Campus “La María”, época seca del 2021 (ensayo 3) 60 dds <sup>2</sup>
Trat <sup>3</sup>	Descripción			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	2,86 a	2,98 a	2,34 a
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	2,81 a	2,48 b	2,64 a
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	2,82 a	2,40 b	2,52 a
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	2,40 b	2,31 b	2,30 a
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	2,37 b	2,38 b	2,50 a
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	2,35 b	2,29 b	2,26 a
C.V (%)		4,23	8,25	11,86
$\bar{x}$		2,61	2,47	2,43

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey (p>0,05).

<sup>2</sup>dds: Días después de la siembra.

<sup>3</sup>Trat: Tratamiento.

### 3.3 Diámetro de la mazorca (mm)

Según el análisis de la varianza del diámetro de la mazorca del ensayo 1, se constató la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (p>0,05) (Tabla 4). Dicho escenario se replicó en el ensayo 2, donde no existieron diferencias estadísticas (p>0,05) entre tratamientos ni entre factores. Por otro lado, el ensayo 3 obtuvo diferencias estadísticas, siendo T3 el tratamiento diferente con un registro de 47,85 mm

### 3.4 Longitud de la mazorca (cm)

Según el ANOVA, en la longitud de la mazorca se constataron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en los ensayos 1, 2 y 3 (P<0,05), siendo T4, T5 y T6 los tratamientos distintos en cada uno de los casos, mientras que T1, T2 y T3, alcanzan registros más bajos (Tabla 5).

### 3.5 Peso de 100 semillas (g)

Referente al peso de 100 semillas y según el ANOVA, se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos que conformaron el ensayo 1 (P<0,05), obteniendo registros distintos T4, T5 y T6 con promedios de 43,75, 43,75 y 46,25 g res-

pectivamente, en comparación a T1, T2 y T3 que alcanzaron cifras más bajas con 36,00, 37,25 y 36,50 g respectivamente. De forma opuesta ocurrió en los ensayos 2 y 3, donde no se evidenciaron diferencias estadísticas entre tratamientos (p>0,05) (Tabla 6).

### 3.6 Rendimiento del grano (kg/ha)

En la variable rendimiento del grano y según el análisis de la varianza, se pudieron observar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos que conformaron los ensayos evaluados (P<0,05), donde tanto T4 como T5 destacaron en los ensayos 1 y 3; mientras que en el ensayo 2 destacó únicamente T4 (Tabla 7).

### 3.7 Discusión

Los datos de altura registrados en el híbrido ADV-9139 en los tres ensayos evaluados son similares a los reportados por Moreira (2019) con el mismo híbrido establecido en el cantón Mocache durante la época lluviosa del 2019, con un valor de 2,01 a los 52 días. No obstante, en el presente estudio se pudo observar que la Variedad criolla S/N en cada uno de los distanciamientos empleados obtuvo registros más altos que el híbrido debido a sus rasgos silvestres.

**Tabla 3.** Número de hileras por mazorca en los ensayos 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

		Número de hileras por mazorca <sup>1</sup>		
Ubicación de los ensayos		John F. Kennedy, invierno del 2020 (ensayo 1)	Campus “La María”, invierno del 2020 (ensayo 2)	Campus “La María”, verano del 2021 (ensayo 3)
Tratamiento	Descripción			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	15,25 a	14,50 a	14,40 a
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	15,55 a	15,50 a	14,75 a
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	15,60 a	15,00 a	15,35 a
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	15,25 a	15,50 a	14,47 a
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	15,30 a	14,00 a	14,27 a
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	14,95 a	15,00 a	14,47 a
C.V (%)		3,87	6,52	4,00
$\bar{x}$		15,32	14,92	14,62

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey (p>0,05).

**Tabla 4.** Diámetro de la mazorca (mm) en los ensayos 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

		Diámetro de la mazorca (mm) <sup>1</sup>		
Ubicación de los ensayos		John F. Kennedy, época lluviosa del 2020 (ensayo 1)	Campus “La María”, época lluviosa del 2020 (ensayo 2)	Campus “La María”, época seca del 2021 (ensayo 3)
Tratamiento	Descripción			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	48,75 a	44,50 a	43,43 cd
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	49,44 a	46,13 a	45,00 bc
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	49,49 a	46,20 a	47,85 a
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	48,27 a	45,40 a	43,43 cd
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	48,63 a	44,18 a	42,57 d
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	49,57 a	45,03 a	46,17 ab
C.V (%)		1,81	2,02	2,07
$\bar{x}$		49,11	45,24	45,00

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey (p>0,05).

Este comportamiento se observó en variedades criollas o mestizas evaluadas por autores como Quiroz et al. (2017), Molina and Isasi (2018) y Cabrera et al. (2019), quienes determinaron que plantas mestizas (criollo × mejorado) presentan altitudes mayores que los híbridos, aspecto que es corroborado por autores como Rodríguez et al. (2016). Respecto al distanciamiento de siembra, Quiroz et al. (2017) registraron un escenario similar, el cual a pesar del incremento de las densidades poblacionales no originó variabilidad fenotípica significativa en la altura de planta por genotipos.

Por lo tanto, la información sugiere que existieron diferencias marcadas entre genotipos para características de crecimiento como la altura, atribuido a un desarrollo distinto y a un patrimonio genético que se expresó de manera diferencial; aun cuando se proporcionó un ambiente similar (Sánchez et al., 2011), no siendo así entre distanciamientos, donde lo usual es que a menor distanciamiento entre surcos, las plantas captan una mayor proporción de radiación total, debido a un incremento en el índice de área foliar y en la eficiencia en la intercepción de luz por unidad de superficie, lo que permite un mayor desarrollo de la altura (Soltero

et al., 2010), situación que ha sido documentada en diversos trabajos como los de Campos (2022), Gómez et al. (2021) y Satorre (2021).

**Tabla 5.** Longitud de la mazorca (cm) en los ensayos 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

		<b>Longitud de la mazorca (cm)<sup>1</sup></b>		
Ubicación de los ensayos		<b>John F. Kennedy, invierno del 2020 (ensayo 1)</b>	<b>Campus “La María”, invierno del 2020 (ensayo 2)</b>	<b>Campus “La María”, verano del 2021 (ensayo 3)</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	17,28 b	16,00 b	13,50 c
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	17,16 b	15,93 b	14,50 bc
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	17,63 b	15,96 b	15,00 b
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	20,51 a	18,08 a	17,44 a
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	20,25 a	19,01 a	17,42 a
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	20,25 a	19,01 a	18,79 a
<b>C.V (%)</b>		3,84	3,90	3,87
<b><math>\bar{x}</math></b>		18,85	17,33	16,11

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey (p>0,05).

A pesar de ello, es importante aclarar que las plantas con menor altura generalmente derivan del proceso de mejoramiento genético que atraviesan estos materiales; así lo aseguran autores como Bastidas et al. (2015) y Gordón and Camargo (2021) quienes indican que dicha característica se podría tomar como una ventaja durante la cosecha, además de disminuir el acame tanto de raíz como de tallo.

Por otra parte, Velez (2019) defiende la influencia del distanciamiento de siembra, puesto que en su estudio se analizó la influencia de tres distanciamientos (0,80 × 0,25m), (0,80 × 0,30m) y (0,80 × 0,35m) en el cultivo de maíz en los híbridos Somma, ATL 400 y PIONNER, evidenciando mejores resultados en los parámetros productivos a un distanciamiento de 0,80 m × 0,25m. lo cual concuerda con lo dicho por Millan citado por Pérez (2015).

**Tabla 6.** Peso de 100 semillas (g) en los ensayos 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

		<b>Peso de 100 semillas (g)<sup>1</sup></b>		
Ubicación de los ensayos		<b>John F. Kennedy, invierno del 2020 (ensayo 1)</b>	<b>Campus “La María”, invierno del 2020 (ensayo 2)</b>	<b>Campus “La María”, verano del 2021 (ensayo 3)</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	36,00 b	30,00 a	39,15 a
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	37,25 b	30,00 a	38,85 a
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	36,50 b	30,00 a	39,28 a
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	43,75 a	37,50 a	39,27 a
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	43,75 a	37,50 a	38,97 a
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	46,25 a	37,50 a	42,77 a
<b>C.V (%)</b>		7,39	10,48	5,17
<b><math>\bar{x}</math></b>		40,58	34,50	39,83

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey (p>0,05).

Respecto al diámetro de la mazorca, se registraron datos similares a los alcanzados en el ensayo 1 y 2 en la investigación de Quimi (2015) ejecutada en cantones cercanos como Quevedo y Balzar, donde se evaluaron híbridos experimentales y comerciales, destacando el primer grupo con diámetros de 48,9 mm en relación a los 46,7 mm obtenidos por el resto de materiales. Respecto a la variable distanciamiento, Zamudio et al. (2015) citados por Sánchez (2017) evidenciaron mayores diámetros de mazorca en sistemas doble hileras en un híbrido comercial (AS- 722), lo cual lo atribuyen a la menor población por hectárea, y se asemeja a lo registrado en el ensayo 3, donde el distanciamiento  $0,8 \times 0,2m$  destacó sobre las demás densidades.

Aquello guarda concordancia con los resultados de Oyervides et al. (1990) citados por Cervantes et al. (2014), quienes determinaron efectos negativos en los componentes de rendimiento como el diámetro de la mazorca, al incrementar la densidad de población; patrón que se repite a lo observado en la investigación de Otahola and Rodríguez (2001).

En similitud a los resultados alcanzados en la variable longitud de la mazorca en los tres ensayos, se encuentra la investigación desarrollada por

Martínez et al. (2017) quienes no encontraron una influencia significativa entre la variable distanciamiento y el largo de las mazorcas, pese a visualizarse una reducción gradual de las mismas conforme al aumento la población de plantas de maíz por hectárea, escenario que se replicó en este estudio y al igual que en lo reportado en el estudio de Silva et al. (2009) las diferencias encontradas se debieron a diferencias genotípicas entre las líneas evaluadas, ya que se ha evidenciado la alta heredabilidad que presentan estos caracteres en múltiples investigaciones como las de Alonso et al. (2022) y Bueno and Tolentino (2022).

Según autores como Hidalgo et al. (2020), Sandal (2014), Quevedo et al. (2015) y Cifuentes (2014), el rendimiento de grano está asociado positiva y significativamente por el número de granos y el peso de los mismos, los cuales son altamente influenciados por el incremento del número de plantas y por la disminución del distanciamiento de siembra. Lo cual sugiere que a menor distanciamiento de siembra entre surcos mayor será el peso de 100 semillas. Sin embargo, en relación con los resultados alcanzados aquella situación no se evidenció en ninguno de los ensayos evaluados en esta investigación.

**Tabla 7.** Rendimiento del grano (kg/ha) en los ensayos 1, 2 y 3. Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador.

		Rendimiento del grano (Kg/ha) <sup>1</sup>		
Ubicación de los ensayos		John F. Kennedy, invierno del 2020 (ensayo 1)	Campus “La María”, invierno del 2020 (ensayo 2)	Campus “La María”, verano del 2021 (ensayo 3)
Trat <sup>2</sup>	Descripción			
T1	Variedad criolla S/N + 0,6 X 0,2	7699,11 c	10300,00 bcd	6770,97 b
T2	Variedad criolla S/N + 0,7 X 0,2	8139,39 c	9731,75 cd	6893,00 b
T3	Variedad criolla S/N + 0,8 X 0,2	7384,27 c	8632,50 d	7562,50 b
T4	Híbrido ADV - 9139 + 0,6 X 0,2	12707,42 a	13724,00 a	11278,01 a
T5	Híbrido ADV - 9139 + 0,7 X 0,2	12002,87 a	12036,50 ab	10437,63 a
T6	Híbrido ADV - 9139 + 0,8 X 0,2	10599,01 b	10864,50 bc	8452,66 b
C.V (%)		4,33	7,53	8,76
$\bar{x}$		9755,345	10881,54	8565,80

<sup>1</sup>letras iguales no son significativas según el test de Tukey ( $p>0,05$ ).

<sup>2</sup>Trat: Tratamiento.

Por otra parte, Shapiro y Wortmann (2006) citados por Soltero et al. (2010), encontraron que la reducción del espaciado entre surcos de 0,76 a

0,51 m resultó en 4% de incremento de rendimiento de grano en maíz. Dicha tendencia se replicó en el ensayo 1 de la presente investigación, donde si

se contrasta el distanciamiento usado en el híbrido ADV-9139, específicamente en T6 (0,8 × 0,2) en comparación al distanciamiento usado en T4 (0,6 × 0,2), lo cual corresponde a una reducción del espacio entre surcos de 0,20 m. Se encontró un aumento del 17% en el rendimiento por hectárea, pero no en la variedad criolla S/N, en donde no se mantuvo la tendencia ni en el ensayo 1 ni en el ensayo 3.

Sin embargo, aquello no significa que menores distanciamientos en el establecimiento de genotipos criollos resultaría en rendimientos mayores, así lo afirman León et al. (2018) quienes aseguran que un aumento irracional de la densidad poblacional supondría un decaimiento en el rendimiento a causa del aborto de granos y aumento de individuos estériles; por otra parte, las densidades bajas disminuyen la compensación vegetativa y reproductiva.

## 4 Conclusiones

En relación con el comportamiento agronómico de los materiales estudiados en los tres ensayos, los distanciamientos de siembra se mostraron escasamente influyentes, puesto que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la altura de la planta (m), diámetro del tallo (cm) y altura de inserción de la mazorca.

Los componentes de rendimiento como longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de 100 semillas incidieron en el aumento del rendimiento por unidad de superficie, no obstante, aquello no se debió a las medidas alcanzadas, sino por una menor distancia de siembra empleada, lo cual permitió alcanzar una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, produciendo un mayor número de mazorcas y por ende una mayor cantidad de granos. La distancia de siembra incidió únicamente en los rendimientos alcanzados por el híbrido ADV-9139, el cual incrementó su rendimiento en una distancia entre surcos de 0,60 m, en comparación a distanciamientos de 0,70 y 0,80 m.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por las facilidades prestadas para el desarrollo de la investigación, a los Ings: Jonathan

Cedeño y William Sarabia por la ayuda en la toma de datos.

Las actividades realizadas en esta investigación forman parte del Proyecto FOCICYT 7ma convocatoria denominado Tecnología aeroespacial aplicada en respuestas espectrales del cultivo del trópico húmedo como un elemento técnico para el mejoramiento vegetal. Fase I: cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

## Contribución de los autores

C.A.M.U.: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal. P.J.C.C.: Investigación, metodología, redacción -borrador original. D.V.V.Z.: Administración de proyectos, recursos y supervisión. S.C.V.M: Software, Validación. J.J.P.A.: Visualización, Redacción -revisión y edición.

## Referencias

- Alonso, H., Tadeo, M., Espinosa, A., Zamudio, B., Zaragoza, J., and López, C. (2022). Water and agronomic evaluation of maize hybrids in response to different environments and nitrogen doses. *Agrociencia*, 56(i1.2698):1–12. Online: <https://n9.cl/2zjyt>.
- Bastidas, Y., Chassaigne, A., Alezones, J., and Hernández, A. (2015). Comportamiento agronómico y fitopatológico de variedades de maíz (*zea mays* l.) en los estados yaracuy y guárico, venezuela. *Bioagro*, 27(1):17–26. Online: <https://n9.cl/int42>.
- Bueno, E. and Tolentino, L. (2022). Adaptabilidad de cinco híbridos de maíz amarillo duro (*zea mays* l.) bajo condiciones edafoclimáticas de los anitos-valle de barranca. Master's thesis, Universidad Nacional de Barranca.
- Cabrera, J., Carballo, A., Mejía, J., and Vaquera, H. (2019). Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza zapalote chico. *Revista fitotecnía mexicana*, 42(3):269–279. Online: <https://n9.cl/0qdm3>.
- Campos, L. (2022). Efecto del distanciamiento entre surcos y plantas sobre el rendimiento de grano de la línea de alta endogamia de "maíz amarillo duro" *zea mays* l.(poaceae) cml 297. Master's thesis, Universidad Privada Antenor Orrego.

- Cervantes, F., Gasca, M. and Andrio, E., Mendoza, M. and Guevara, L., Vázquez, F., and Rodríguez, S. (2014). Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 2(1):9–16. Online:https://n9.cl/p0wavd.
- Cifuentes, E. (2014). Características agronómicas y rendimiento de once híbridos de maíz, retalhuleu, retalhuleu. Master's thesis, Universidad Rafael Landívar.
- CIMMYT (2014). El maíz criollo vuelve a casa 50 años después. CIMMYT. Online:https://n9.cl/h4vq4.
- Gómez, L., Arteaga, M., and Acosta, E. (2021). Evaluación de tres distancias de siembra y quitomax en el cultivo del maíz (original). *Investigación*, 6(1):314–326. Online:https://n9.cl/ns6dh.
- Gordón, R. and Camargo, I. (2021). Herramientas estadísticas para la evaluación y selección de híbridos de maíz a través de múltiples ambientes y años. *Ciencia Agropecuaria*, (32):12–37. Online:https://n9.cl/x4b3g.
- Hidalgo, M., González, V., Mendoza, L., Cruz, N., and Ramírez, I. (2020). Desempeño de arquetipos de maíz (zea mays l.) en dos densidades de población. *Agrociencia*, 54(4):491–504. Online:https://n9.cl/vy9hnl.
- INEC (2020). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (espac) 2019. Technical report, INEC. Online:https://n9.cl/x8fg.
- León, R., Torres, A., Ardisana, E., Fosado, O., Véliz, F., and Pin, W. (2018). Comportamiento productivo del maíz híbrido agri-104 en diferentes sistemas, densidades de siembra y riego localizado. 9(2):124–130. Online:https://n9.cl/7eagh.
- Martínez, R., Kölln, O., and de Castro, G. (2017). Evaluación de la densidad de plantas, componentes fenológicos de producción y rendimiento de granos en diferentes materiales genéticos de maíz. *Idesia (Arica)*, 35(3):23–30. Online:https://n9.cl/oaq3e3.
- Molina, J. and Isasi, C. (2018). Abonamiento orgánico y microorganismos eficientes en la absorción de fósforo por maíz morado (zea mays l.)-ayacucho. *Investigación*, 26(1):11–16. Online:https://n9.cl/eiaqb.
- Moreira, B. (2019). Evaluación agronómica de híbridos de maíz (zea mays l.), en la época lluviosa en el cantón mocache, provincia de los ríos. Master's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Ogando, F., Raspa, F., Pita, M., Alvarez, C., and Vega, C. (2017). Influencia de la interacción entre la densidad poblacional y la disponibilidad de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz sembrado en verano. In *III Workshop Internacional de Ecofisiología de cultivos*.
- Otahola, V. and Rodríguez, Z. (2001). Comportamiento agronómico de maíz (zea mays l.) tipo dulce bajo diferentes densidades de siembra en condiciones de sabana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 1(1):18–24. Online:https://n9.cl/szt23.
- Oyervides, A., Ortiz, J., González, V., and Carballo, A. (1990). El número de mazorcas por planta y la formación de arquetipos de maíz. *Agrociencia Serie Fitotecnia*, 1(4):103–118. Online:https://bit.ly/4jMqUbL.
- Pérez, P. (2015). Comportamiento agronómico de nuevos materiales de maíz (zea mays l) comparados con testigos comerciales, sembrados durante la época lluviosa del 2014 en fumisa. Master's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Quevedo, Y., Barragán, E., and Beltrán, J. (2015). Efecto de altas densidades de siembra sobre el híbrido de maíz (zea mays l.) impacto. *Revista Scientia Agroalimentaria*, 2:18–24. Online:https://n9.cl/83bhk.
- Quimi, D. (2015). Interacción genotipo-ambiente de híbridos triples experimentales de maíz (zea mays l.), en dos zonas del litoral ecuatoriano. Master's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Quiroz, J., Pérez, D., González, A., Rubí, M., Gutiérrez, F., Franco, J., and Ramírez, J. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7):1521–1535. Online:https://n9.cl/vev3z.
- Rodríguez, L., Guevara, F., Ovando, J., Marto, J., and Ortiz, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (zea mays l.) en comunidades de la región frailesca de chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3):137–145. Online:https://n9.cl/le4fyl.

- Sánchez, J. (2017). Comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de maíz (zea mays l.), con sistema de siembra a doble hilera en la zona de vinges-ecuador. Master's thesis, Universidad de Guayaquil.
- Sánchez, M., Aguilar, C., Valenzuela, N., Sánchez, C., Jiménez, M., and Villanueva, C. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía mesoamericana*, 22(2):281–295. Online:https://n9.cl/le4fyl.
- Sandal, M. (2014). Comportamiento agronómico de tres híbridos de maíz (zea mays l.) en el cantón pueblo viejo provincia de los ríos. Master's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Satorre, E. (2021). Variabilidad de la distancia entre plantas dentro de la hilera de siembra y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de maíz (zea mays l.) en argentina, brasil y estados unidos. *Agronomía y Ambiente*, 41(1):49–57. Online:https://n9.cl/r4wbnj.
- Silva, W., Alfaro, Y., and Jiménez, R. (2009). Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4):743–755. Online:https://n9.cl/3sydsm.
- Soltero, L., Garay, C., and Ruiz, J. (2010). Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(2):149–158. Online:https://n9.cl/qyzykq.
- Velez, M. (2019). Efecto de tres distancias de siembra en tres híbridos de maíz (zea mays l.). Master's thesis, Universidad de Guayaquil.
- Videla, H., Canale, A., and Muñoz, S. (2014). Evaluación de diferentes densidades de plantas de maíz en siembras tempranas en ambientes contrastantes del territorio sudeste de córdoba. In *13 Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas*.

## 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/>>y 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 anonimizado”.

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 anonimizado.

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 Moebio [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 practices, 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”): información:

- 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

- 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

Corredores de Conectividad. Una Estrategia para la Conservación de los Territorios



“Guardián de los Andes: El oso andino en el Corredor de Conectividad Llanganates Sangay”

Majestuoso y esquivo, el oso andino (*Tremarctos ornatus*) transita el delicado equilibrio entre la naturaleza y los paisajes transformados por el ser humano en el Corredor de Conectividad Llanganates Sangay. Como el único oso de Sudamérica, desempeña un papel clave en la conectividad ecológica, la dispersión de semillas y la conservación de la biodiversidad en los bosques de montaña y páramos. Esta imagen captura un instante de observación silenciosa, un símbolo de resiliencia y coexistencia en un entorno en constante cambio.

Autor: ©Barrera/WWF-Ecuador (2025)

**Foto Portada:** Corredor de Conectividad Llanganates Sangay: Donde el bosque se encuentra con el páramo.

**Descripción:** En la transición entre el bosque montano y el páramo, en la parte alta del Corredor de Conectividad Llanganates Sangay, la vegetación se adapta a condiciones extremas de humedad y altitud. Árboles cubiertos de musgo y epífitas forman un ecosistema clave para la regulación hídrica, la conectividad ecológica y un refugio de biodiversidad.

Autor: ©Molestina/WWF-Ecuador (2025)

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