

## 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. 21 años de edición y 285 artículos científicos publicados; editada por Abya-Yala con más de 47 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, 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: Ithenticate, Turnitin, Grammarly, Plagium, Copionic, WriteCheck PaperRater, Plagiarisma.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.



38  
Vol. 2

# LA GRANJA 38

REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Vol. (2)

## NÚMERO ESPECIAL CIENCIA DE ALIMENTOS

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

Contenido de clorofila en hojas de papa de altura para estimar su calidad

Análisis químico de aceites esenciales amazónicos en comunidad Shuar ecuatoriana

Comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño

Bacterias endofíticas aisladas de *Senecio glaucus* L. en Egipto

Revisión: parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia

La Granja Revista de Ciencias de la Vida • Volumen 38 • Número 2 • septiembre 2023 - febrero 2024. 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)

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

#### Editores invitados del número especial de Ciencia de Alimentos

##### (Guest editors of the special issue of Food Science)

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

#### Editores de sección (Section Editors)

##### Ciencias de la Tierra (Earth sciences)

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

##### Ciencias agropecuarias y veterinarias (Agricultural and veterinary sciences)

PhD. 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)

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

##### Ciencias Ambientales (Environmental Sciences)

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

##### Desarrollo Sostenible (Sustainable development)

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

##### Coeditor Internacional en inglés (International coeditor in English)

PhD. Lorenzo Guerrini, Università di Firenze, Italia

##### Coeditor Internacional en portugués (International Coeditor in Portuguese)

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

### Consejo de Publicaciones (Publication Board)

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

### Consejo Técnico (Technical Board)

Lcda. María José Cabrera (Técnica Marcalyc)  
Lcdo. Christian Arpi (Coordinador Community Managers)  
Fís. Luis Gualco (Maquetador)  
Ing. Mariana Luna (Asistente editorial)  
PhD. 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

# LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Volumen 38, Número 2, septiembre 2023 – febrero 2024

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. 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  
Proff. León Escobar Moreira, SYNAPTRONIC, EE.UU.  
Dr. Geovanni 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: CIENCIA DE ALIMENTOS	
<b>Comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño (<i>Vaccinium floribundum Kunth</i>)</b> .....	9
Tatiana Mora, Martha Suárez, Carlos Brito y Dennys Almachi.	
<b>Análisis de la inhibición de microorganismos proteolíticos en filetes de tilapia roja (<i>Oreochromis spp</i>) conservados con propóleo (<i>Apis mellifera Linnaeus</i>)</b> .....	17
Luis Intriago, Viviana Talledo, Rudyard Arteaga, Anderson Pazmiño y Gerardo Cuenca-Nevárez.	
<b>Análisis químico de aceites esenciales amazónicos de una Comunidad Shuar Ecuatoriana</b> ..	33
Mayra Montalván, Omar Malagón, Nixon Cumbicus, Fani Tanitana y Gianluca Gilardoni.	
<b>Contenido de clorofila en hojas de papas de altura para estimar la calidad de los tubérculos</b>	46
Sebastián Yáñez-Segovia, Leticia Silvestre e Ignacio Chamorro- Warnken.	
CIENCIAS DE LA TIERRA	
<b>Evaluación de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador</b> .....	59
Oscar Portilla, César Leiva, Marco Luna e Izar González.	
BIOTECNOLOGÍA	
<b>Primer Informe de Bacterias Endofíticas Aisladas de <i>Senecio glaucus</i> L., Egipto</b> .....	82
Mohammed Sabry Sultan, Ashraf Elsayed y Yasser Ahmed El-Amier.	
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	
<b>Cálculo de la carga fluvial de plaguicidas en el río Pisque (Ecuador) entre junio de 2018 y mayo de 2019</b> .....	96
Renato Sánchez Proaño, Carlos Cerón Pánchig y Karla Landeta Jibaja.	
<b>Efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad en un sector del cantón Paquisha, Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador</b> .....	106
Ernesto Delgado Fernández, Maribel León Peralta, Carlos Cantos Guamán y Martha Guzmán Juárez.	
CIENCIAS VETERINARIAS	
<b>Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia <i>Oreochromis niloticus</i>: revisión</b>	124
Leonardo Reyes-Trigueros, María del Carmen Monroy-Dosta, Erika Torres-Ochoa, Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez y Luis Daniel Espinosa-Chaurand.	
<b>Prevalencia y factores de riesgo asociados a brucelosis bovina en ganaderías lecheras de la provincia del Azuay-Ecuador</b> .....	138
Omar Santiago Andrade Guzmán, Andrea Elizabeth Vintimilla Rojas, Mateo Damián López Espinoza, Guillermo Emilio Guevara Riera y Sergio Emiro Rivera Pirela.	
<b>Normas para autores</b> .....	152

Estimadas y estimados lectores:

En el volumen 38 de La Granja, nos complace presentar nuestro Número Especial en Ciencia de los Alimentos. La alimentación es la base de la vida y la salud del ser humano, y hoy por hoy enfrenta desafíos y amenazas que van desde la búsqueda de alimentos más saludables y variados, así como la escasez de materias primas de calidad debido a la agricultura intensiva, la degradación de las tierras y al cambio climático. Así, es evidente la importancia de una disciplina como la ciencia de los alimentos, que es un campo multidisciplinar del conocimiento que estudia los alimentos, desde la materia prima hasta el producto final, abarcando la química, bioquímica, nutrición, microbiología e ingeniería para la producción, transformación, conservación y consumo de estos, así como el aprovechamiento y valorización de sus subproductos y desechos. Los siguientes trabajos publicados en el presente número de la revista tienen relación con esta temática.

En primer lugar, presentamos el trabajo de Sebastián Yáñez-Segovia, Leticia Silvestre, Ignacio Chamorro-Warnken, investigadores de la Universidad de Talca-Chile, la Universidad Central del Ecuador, la Universidad Austral de Chile y la Universidad de Reading-UK, quienes exponen un método rápido para determinar el contenido de clorofila foliar como una herramienta efectiva para estimar la calidad del tubérculo de papa. A continuación, en el artículo de Luis Intriago, Viviana Talledo, Rudyard Arteaga, Anderson Pazmiño y Gerardo Cuenca-Nevárez, de la Universidad Técnica de Manabí, se analiza el uso de propóleo en la conservación de filetes de tilapia roja, para proponerlo como un conservante orgánico prometedor para la industria alimentaria.

En la misma temática, presentamos el trabajo de Mayra Montalván, Omar Malagón, Nixon Cumbicus, Fani Tanitana y Gianluca Gilardoni de la Universidad Técnica Particular de Loja, en donde se

determina la composición química de los aceites esenciales de cuatro especies amazónicas del centro shuar Antuash en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago- Ecuador. Finalmente, el artículo de Tatiana Mora, Martha Suárez, Carlos Brito y Dennys Almachi, de la Universidad Central del Ecuador, presenta el comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*), cuyo efecto permite visualizar potenciales aplicaciones.

Desde el punto de vista productivo y veterinario se analizan los parámetros reproductivos de la Tilapia. Los investigadores Leonardo Reyes-Trigueros, María del Carmen Monroy-Dosta, Erika Torres-Ochoa, Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez y Luis Daniel Espinosa-Chaurand de las Universidades Autónoma de Baja California Sur, la Autónoma Metropolitana y la de Xochimilco, conjuntamente con el CONACYT de México exponen los principales factores para una reproducción eficiente de esta nueva especie que rápidamente se ha convertido en un alimento bastante aceptado.

Asimismo, abordando las temáticas de carne y leche, desde las ciencias veterinarias, se analizan los factores de riesgo de burcelosis en la industria ganadera. Omar Santiago Andrade Guzmán, Andrea Elizabeth Vintimilla Rojas, Mateo Damián López Espinoza, Guillermo Emilio Guevara Riera y Sergio Emiro Rivera Pirela, en una colaboración entre la Universidad de Cuenca en Ecuador y la Universidad de Zulia en Venezuela, realizan un estudio exhaustivo de los principales factores.

Desde Egipto, el equipo de Mohammed Sabry Sultan, Ashraf Elsayed y Yasser Ahmed El-Amier, del departamento de Botánica de la Universidad de Mansoura University aisló por primera vez bacterias endófitas de las células internas de raíces, tallos, hojas y tejido capitular de *Senecio glaucus*.

A continuación, desde las ciencias ambientales, Renato Sánchez, Carlos Cerón y Karla Landeta de la Universidad Politécnica Salesiana UPS del Ecuador evalúan la carga fluvial de plaguicidas en el río Pisque, un sector altamente productivo en el sector florícola de la Comunidad de Cayambe. Asimismo, desde la UPS, analizando los efectos de la actividad minera sobre zonas biodiversas del país, Ernesto Delgado, Maribel León, Carlos Cantos Guamán y Martha Guzmán Juárez, nos presentan esta valiosa investigación en momentos cruciales para el país en donde pronto, en el mes de agosto del 2023, el país

sufragará en consulta popular sobre la permanencia en ciertas zonas de esta controvertida actividad.

Finalmente, Oscar Portilla, César Leiva, Marco Luna e Izar González en un trabajo conjunto entre la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y las empresas Geoint y ETSI, realizan una evaluación exhaustiva de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador. De esta manera, esperamos que la siguiente selección de artículos científicos sea de utilidad y sirva en más investigación con relevancia social en la región y en el planeta.

Cordialmente,

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

PhD. Sheila Serrano Vincenti  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
EDITORA EN JEFE

PhD. Rómulo Salazar  
Escuela Superior Politécnica  
del Litoral  
EDITOR INVITADO



## COMPORTAMIENTO SOLVATOCRÓMICO DEL COLORANTE NATURAL DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

### SOLVATOCHROMIC BEHAVIOR OF THE NATURAL COLORANT OF BLUEBERRY (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Tatiana Mora\*<sup>id</sup>, Martha Suárez<sup>id</sup>, Carlos Brito<sup>id</sup> y Dennys Almachi<sup>id</sup>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador. Código Postal 170521, Quito, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [tsmora@uce.edu.ec](mailto:tsmora@uce.edu.ec)

Manuscrito recibido el 23 de octubre de 2022. Aceptado, tras revisión, el 06 de junio de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

#### Resumen

El efecto solvatocrómico es la modificación del espectro de absorción de un soluto al variar el solvente. El presente trabajo evaluó las características solvatocrómicas de Malvidina-3-glucósido clorhidrato. El método para obtener longitudes de onda máxima fue por barridos espectrales. En estándar primario CAS N° 7228-78.6, la variación fue determinada en mezclas binarias de etanol-agua: 40,55 y 70%v/v. El efecto solvatocrómico al modificar el pH del solvente (agua) fue evaluado en colorante natural y estabilizado. Los resultados indican que los enlaces hidrógeno intermoleculares entre Malvidina-3-glucósido y las mezclas binarias de etanol-agua son responsables de los cambios solvatocrómicos:  $565,2586 \pm 3.2784\text{nm}$ ,  $472,5498 \pm 2.5128\text{nm}$  y  $457,3589 \pm 6.2586\text{nm}$ , producidos por las combinaciones analizadas. Al estabilizar antocianinas en una matriz quelante los cambios solvatocrómicos producidos al variar el pH del solvente agua, son no significativos en comparación con el colorante natural sin estabilizar.

**Palabras clave:** Malvidina-3-glucósido, metabolitos secundarios, colorante, productos naturales, solvatocromismo, antocianinas, pectina.

#### Abstract

The solvatochromic effect is the modification of the absorption spectrum of a solute by varying the solvent. This research evaluated the solvatochromic characteristics of Malvidin-3-glucoside hydrochloride. The method to obtain maximum wavelengths was by spectral scanning. In primary standard CAS No. 7228-78.6, the variation was determined in binary mixtures of ethanol-water: 40,55, and 70%v/v. The solvatochromic effect when modifying the pH of the solvent (water) was evaluated in natural dye and stabilized. The results suggest that the intermolecular hydrogen connections between Malvidin-3-glucoside and the ethanol-water binary mixtures are responsible for the solvatochromic

---

changes:  $565.2586 \pm 3.2784\text{nm}$ ,  $472.5498 \pm 2.5128\text{nm}$  and  $457.3589 \pm 6.2586\text{nm}$ , produced by the analyzed combinations. When anthocyanins are stabilized in a chelating matrix, the solvatochromic changes produced by varying the pH of the water solvent are not significant compared to the unstabilized natural dye.

**Keywords:** malvidin-3-glucoside, secondary metabolites, dye, natural products, solvatochromism, anthocyanins, pectin.

---

Forma sugerida de citar: Mora, T., Suárez, M., Brito, C. y Almachi, D. (2023). Comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):9-16. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.01>.

---

IDs Orcid:

Tatiana Mora: <https://orcid.org/0000-0002-7442-6317>

Martha Suárez: <https://orcid.org/0000-0002-1573-7430>

Carlos Brito: <https://orcid.org/0000-0002-7371-5141>

Dennys Almachi: <https://orcid.org/0000-0002-6316-0314>

## 1 Introducción

*Vaccinium floribundum* Kunth es un fruto nativo de los eriales ecuatorianos (Torres y Pulgar, 2017). Durante la maduración esta baya soporta cambios de color (Xu y col., 2010): inicialmente verde cuando el fruto es inmaduro, rosado al alcanzar la madurez fisiológica y finalmente negro cuando llega a la madurez total (Arteaga, Andrade y Moreno, 2014). Cianidina, malvidina y delphinidina son antocianinas presentes en este tipo de frutos (Jin y col., 2020). Narváez y Suárez (2016), reportaron que por cada gramo de extracto seco de este fruto obtuvieron 3,92 mg de cianidina-3-o-glucosido (Rahman y col., 2021).

Las antocianinas de origen vegetal son colorantes naturales, (Yépez y Suaáñez, 2019) con propiedades protectoras para las plantas frente a: luz UV,

oxidantes y radicales libres (Enaru y col., 2021). Su utilidad en la industria cosmética, alimenticia y farmacéutica se ha incrementado por sus propiedades bioactivas (Buchweitz y col., 2013) dentro de las cuales se encuentran: efectos antidiabéticos, antitumorales, antiinflamatorios y anticancerígenos (Garzón, 2008). Además, son los ejecutores de la gama de colores que comprende del rojo al azul de varios frutos (Nguyen y col., 2018). Una de las razones de estas amplias tonalidades es la estructura del anillo B presente en la estructura de Malvidina 3-O-Glucósido (Sánchez, 2013)). Este anillo presenta variaciones en sus radicales (Tabla 1), en las cuales se pueden diferenciar mayor metoxilación con desplazamientos hacia coloraciones azules, por otro lado, menor número de metoxilaciones con tonalidades rojas (Rahman y col., 2021).

**Tabla 1.** Antocianinas presentes en la naturaleza. Modificado por Rahman y col. (2021).

Antocianidinas	Radical		$\lambda_{\text{máx}} [nm]$	Color
	R1	R2	Espectro visible	
Pelargonina	H	H	494	Naranja
Cianidina	OH	H	506	Naranja-rojo
Delfinidida	OH	OH	508	Azul-rojo
Peonidina	OCH <sub>3</sub>	H	506	Naranja-rojo
Peninidina	OCH <sub>3</sub>	OH	508	Azul-rojo
Malvidina	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	510	Azul-rojo

Para incrementar su solubilidad las antocianinas presentan reemplazos glicosídicos en los radicales 3 y/o 5 (Putra y col., 2023). Por ejemplo, en la naturaleza malvidina está presente en forma de Malvidina 3-glucosido (Ayala y col., 2018). Ver Figura 1.

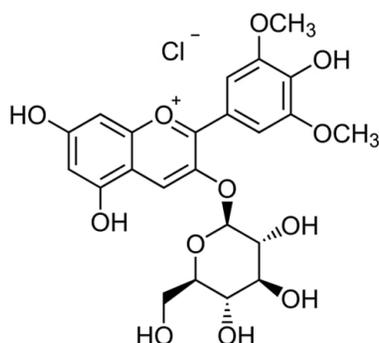
Las acilaciones aromáticas pueden sustituir grupos glucosídicos, produciendo tonalidades púrpuras (Kader y col., 1998). Además, los pigmentos coloreados se encuentran en cuatro formas químicas diferentes que dependen del pH del medio (Castañeda-Ovando y col., 2009). Así, a  $pH = 1 - 3$  se forma el catión flavilio, que es soluble en agua y además es responsable de los colores rojo y púrpura (Vasco y col., 2009). Cuando el pH aumenta entre 8 y 10, la especie azul quinoidal es abundante (Belmonte y col., 2016) mientras que a pH entre 12 y 14 aparece la pseudobase de carbinol y una chal-

cona, compuestos que son incoloros. Sin embargo, los cuatro compuestos son solubles en solventes polares y pueden coexistir en un amplio rango de pH (Enaru y col., 2021).

El solvatocromismo se usa comúnmente en muchos campos para estudiar la polaridad global y local en macrosistemas (Reichardt, 1994). Su estudio comprende fenómenos que involucran fuerzas intermoleculares y dinámicas acopladas al solvente (Marini y col., 2010).

Las antocianinas bajo condiciones experimentales presentan propiedades solvatocrómicas por el contacto con solventes que podrían producir hidroxilaciones, metoxilaciones, cambios en el pH o sustituciones aromáticas (Iosub, Meghea y Geana, 2014). Basándose en datos espectrales, Iosub, Meg-

hea y Geana (2014) establecieron correlaciones entre las propiedades solvatocrómicas con los parámetros de polaridad del solvente. El estudio determinó que los extractos de antocianinas resultan útiles en el estudio del efecto solvatocrómico en solventes de diferente polaridad.



**Figura 1.** Estructura química de la Malvidina 3-O-Glucósido. Modificado por Pubchem (2022).

La importancia del estudio del comportamiento solvatocrómico, específicamente en colorantes naturales, con estructura similar a las antocianinas radica en la obtención del método de cuantificación (Klymchenko, 2017). Haciendo énfasis en los datos espectrales, “la ley de Beer explica los aspectos cuantitativos de las mediciones de absorción por la dependencia lineal de la concentración del soluto” (Linying y col., 2022, p. 1386). Las ecuaciones de Lorentz-Lorenz y Clausius-Mosotti son conocidas por la determinación de momentos dipolares, y el propósito “es predecir un fuerte acoplamiento entre los osciladores de soluto y solvente” (Mayerhöfer y Popp, 2020, p. 2). Al involucrar fuerzas intermoleculares con el solvente, es necesario establecer rangos de variación, específicamente con relación a la polaridad (Lee y col., 2013).

Según el Codex Alimentarius, (2021), durante el proceso de fabricación es indispensable que el colorante natural no se vea afectado por variaciones en la longitud de onda al estar en contacto con los ingredientes de la formulación (Loving, Sainlos e Imperiali, 2010). El efecto solvatocrómico de antocianinas en un producto farmacéutico, cosmético o alimenticio se ve reflejado como una degradación (Cai y col., 2020).

Con los antecedentes presentados, el estudio realizado evaluó el comportamiento solvatocrómi-

co de estándar primario de Malvidina -3- glucósido clorhidrato CAS N° 7228-78.6, producido por el acoplamiento soluto-solvente, al variar la fracción molar del solvente. Este análisis determinó la longitud de onda máxima para cada fracción molar de solvente. El comportamiento solvatocrómico también fue evaluado por la diversificación de la longitud de onda máxima de Malvidina -3- glucósido en colorante natural y estabilizado, al modificar el pH del solvente (agua) a 4 y 6, con HCl y NaOH respectivamente. El análisis evaluó si los comportamientos solvatocrómicos en estos pigmentos son estadísticamente significativos, al variar el pH del solvente.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Estudio solvatocrómico: estándar primario

El comportamiento solvatocrómico fue evaluado en estándar primario de Malvidina -3- glucósido clorhidrato CAS N° 7228-78.6, con variación en la proporción del solvente (etanol-agua: 40,55, y 70 % v/v. Durante la determinación experimental de los barridos espectrales con estándar primario el pH se mantuvo en el valor de 2, con la adición de una solución de HCl 1M para preservar la estructura del ion flavilio, lo que concuerda con la bibliografía (Iosub, Meghea y Geana, 2014).

El cambio de longitud de onda máxima de Malvidina 3-O-Glucósido, fue analizado por duplicado durante tres días en un espectrofotómetro VARIAN 50Bio. La variación de los datos fue analizada por desviación estándar a cada concentración de solvente.

### 2.2 Estudio solvatocrómico: colorante natural

#### 2.2.1 Extracción

El método de extracción fue una modificación de la investigación (Almachi, 2018). La obtención de colorante natural de *Vaccinium floribundum* Kunth inició con el desengrasado del fruto de mortiño previamente seco y molido, mediante Soxhlet con n-hexano durante 8 horas, seguido de maceración en capuchones de papel filtro con etanol al 96% durante 24 horas. Se percolaron individualmente cada capuchón a una velocidad de 20 gotas por minuto

hasta que fuese negativa la prueba de compuestos fenólicos con cloruro férrico 5%. Cada extracto etanólico fue concentrado en el equipo RapidVap: Calor de evaporación 205 Kcal/Kg, Velocidad 45% y Vacío 175 Mbar. Los extractos secos se almacenaron dentro de un desecador protegidos de la luz.

### 2.2.2 Estabilización

El colorante natural proveniente de extracto seco de *Vaccinium floribundum* Kunth fue estabilizado en una matriz de pectina comercial (Ceampectin RS 4710), por el método de absorción con las siguientes condiciones: concentración de etanol 60% v/v, concentración de extracto 5% p/v y tiempo de contacto 25 horas.

### 2.2.3 Solvatocromismo

El comportamiento solvatocrómico fue evaluado por la variación de la longitud de onda máxima de Malvidina -3- glucósido en colorante natural y estabilizado, al modificar el pH del solvente (agua) a 4 y 6, con HCl y NaOH, respectivamente. El estudio se basó en un análisis de covarianza múltiple ANCOVA de dos factores, cada uno con 2 niveles sobre 1 variable respuesta, es decir,  $K=2$  y  $n=1$ . Para esto se desarrollaron 4 corridas experimentales, con una réplica completa del diseño para determinar la reproducibilidad del modelo, dando un total de 8 corridas experimentales.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Evaluación del comportamiento solvatocrómico de Malvidina -3- glucósido clorhidrato

En la Tabla 2 se observan los máximos de absorción de Malvidina con su respectiva desviación estándar, evidenciando un efecto solvatocrómico a diferentes concentraciones de solvente.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos por solvatocromismo de Malvidina.

Concentración de etanol	40 %	55 %	70 %
Longitud de onda [nm]	565,2586 ± 3,2784	472,5498 ± 2,5128	457,3589 ± 6,2586

El efecto del solvente producido por estos sistemas ternarios (agua: etanol: antocianina) está determinado por los parámetros de polaridad de la proporción etanol: agua. El solvatocromismo fue evaluado por la capacidad del solvente para producir cambios dipolares en la molécula de malvidina causados por el cambio de la fracción molar del solvente. Mayerhöfer y Popp (2020) describen que los cambios polares producidos por el solvente presentan modificaciones espectrales de las bandas de absorción. Las variaciones polares producidas por el solvente se evidencian con las alteraciones de la longitud de onda máxima de la Tabla 2. Por lo tanto, al desarrollar un método de cuantificación con moléculas que presenten una estructura similar a Malvidina-3-glucósido clorhidrato, es recomendable mantener la fracción molar del solvente, para de esta manera evitar comportamientos solvatocrómicos del analito.

### 3.2 Evaluación del comportamiento solvatocrómico del colorante natural de *Vaccinium floribundum* Kunth

#### 3.2.1 Extracción

El proceso de estandarización de extracto seco de mortiño partió de una muestra seca y molida del fruto con las siguientes especificaciones: tamaño de partícula 595 $\mu$ m, humedad 3,05 $\pm$ 0,05% y contenido de grasa total de 2,5 $\pm$ 0,2%. El método de extracción de colorante natural y su estabilización en pectina descritos en materiales y métodos, permitió obtener un rendimiento como extracto seco del 53,1 $\pm$ 4,4% y de colorante estabilizado del 91,8 $\pm$ 4,6%.

**Tabla 3.** ANCOVA de dos factores.

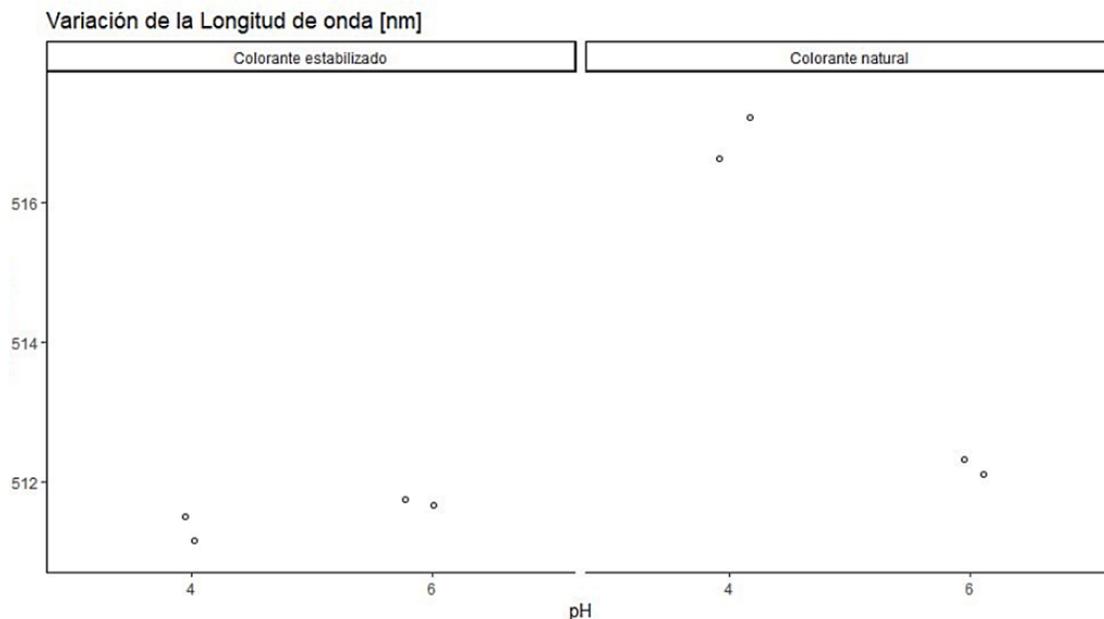
pH ( $X_2$ )	Tipo colorante( $X_1$ )	
	Longitud de Onda [nm] Colorante estabilizado	Longitud de Onda [nm] Colorante natural
4	511,5092 $\pm$ 1,4934	517,0453 $\pm$ 4,3861
6	511,9522 $\pm$ 1,2678	512,5500 $\pm$ 1,3859

La Tabla 3 presenta longitudes de onda máximas de malvidina en: colorante natural y estabilizado en pectina cuando existe una variación de pH en agua. El análisis ANCOVA determinó que el pH del colorante natural es significativo (Valor-p < 0,05), con un intervalo de confianza del 95%. El pigmento al

estar expuesto a una variación de pH de 4 y 6 presenta cambios en la longitud de onda máxima. Estos desplazamientos son producidos por Malvidina -3- glucósido presente en el extracto seco.

En un ambiente entre 2 y 4 deja la forma de antocianina para estar presente como la especie quinoidal, mientras que a pH 6 se encuentra como chalcona (Enaru y col., 2021). Al comparar las longitu-

des de onda máxima del colorante natural con estabilizado, el análisis ANCOVA de dos factores determinó que existe diferencia significativa (Valor- $p < 0,05$ ) con un intervalo de confianza del 95%, lo cual se puede observar en la Figura 2. La unión de Malvidina -3- glucósido con pectina por puentes de hidrógeno con el oxígeno del grupo metoxilo de la antocianina presenta un cambio reflejado en las longitudes de onda máxima (Koh, Xu y Wicker, 2020).



**Figura 2.** Variación de longitud de Onda Máxima en colorante natural y colorante estabilizado.

Los colorantes naturales al ser utilizados para fines farmacéuticos, cosméticos o en alimentos deben ser estables frente a cambios de pH durante los procesos de fabricación. El estudio determinó que no existe diferencia significativa (Valor- $p > 0,05$ ), al variar el pH del solvente cuando el colorante natural se encuentra estabilizado. La matriz estabilizante pectina impide que Malvidina -3- glucósido interaccione con los iones  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$  del solvente, impidiendo desplazamientos solvatocrómicos.

Los análisis se realizaron a pH específicos de 4 y 6. Sin embargo, un estudio en alimentos determinó que los alimentos industrializados tienen valores de pH ligeramente más ácidos que los alimentos naturales. Este hecho probablemente está relaciona-

do con los métodos de conservación utilizados y la adición de vitaminas. Los cereales registraron valores de pH que oscilaron entre 7.95 y 5.4 (Casaubon y col., 2018, p. 91). Por lo tanto, es necesario determinar cambios solvatocrómicos en un mayor rango de pH.

## 4 Conclusiones

La presente investigación evaluó el cambio de polaridad de malvidina -3- glucósido clorhidrato al usar etanol como solvente en tres proporciones distintas. El estudio determinó que existen desplazamientos solvatocrómicos evidenciados por la variación de las longitudes de onda máximas. Los resultados

indican que los enlaces de hidrógeno intermoleculares entre el soluto y el solvente son responsables de los cambios solvatocrómicos en las mezclas binarias analizadas. El estudio en estándar primario no se basó en determinar significancia en los cambios solvatocrómicos. El análisis fue la evaluación de la reproducibilidad de cada longitud de onda en diferentes días.

El extracto seco al estar expuesto a una variación de pH de 4 y 6, presenta cambios en la longitud de onda máxima. Estos desplazamientos son producidos por Malvidina -3- glucósido presente en el pigmento. El análisis ANCOVA determinó que la variación de pH en el colorante natural produce variaciones significativas ( $Valor - p < 0,05$ ), con un intervalo de confianza del 95%.

La estabilización del pigmento en una matriz natural determinó que no existe diferencia significativa ( $Valor - p > 0,05$ ), al variar el pH del solvente. Los desplazamientos solvatocromicos que se producen por la presencia de iones hidrogeno e hidroxilo a pH 4 y 6 fueron eliminados por la unión polisacárido-polifenol.

## Agradecimientos

Los más sinceros agradecimientos al Quim. Carlos Brito por su gran aporte en la estadística de esta investigación, a la Doctora Martha Suárez Heredia, simplemente porque sin su aporte no sería posible esta investigación, a la *Agencia Española de Cooperación para el desarrollo* (AECID). Finalmente, al Ministerio del Ambiente.

## Referencias

Almachi D. Suarez, M. (2018). «Estudio de la influencia de colorantes naturales sobre el color y las propiedades reológicas de una formulación alimenticia». Tesis de maestría. Universidad Central del Ecuador.

Arteaga, M., M. Andrade y C. Moreno (2014). «Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofila en diferentes grados de madurez de mortiño (*Vaccinium floribundum*)». En: *Enfoque UTE* 5.2, 14-28. Online: <https://n9.cl/4tu14>.

Ayala, K. y col. (2018). «Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador». En: *Revista Biorrefinería* 1.1, 40-48. Online: <https://n9.cl/kpepv>.

Belmonte, J. y col. (2016). «Colorantes artificiales en alimentos». En: *Revista Naturaleza Y Tecnología Universidad de Guanajuato* 10.8, 24-38. Online: <https://n9.cl/8z4rr>.

Buchweitz, M. y col. (2013). «Impact of pectin type on the storage stability of black currant (*Ribes nigrum* L.) anthocyanins in pectic model solutions». En: *Food chemistry* 139.1-4, 1168-1178. Online: <https://n9.cl/z7256>.

Cai, L. y col. (2020). «A solvatochromic AIE tetrahydro [5] helicene derivative as fluorescent probes for water in organic solvents and highly sensitive sensors for glyceryl monostearate». En: *Talanta* 206, 0039-9140. Online: <https://n9.cl/z7256>.

Casaubon, P. y col. (2018). «pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico?». En: *Revista Mexicana de Pediatría* 85.3, 89-94. Online: <https://n9.cl/nkyvf>.

Castañeda-Ovando A. Pacheco-Hernández, M. y col. (2009). «Chemical studies of anthocyanins: A review». En: *Food chemistry* 113.4, 859-871. Online: <https://n9.cl/8nvxi>.

Enaru, B. y col. (2021). «Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation». En: *Antioxidants* 10.12, 1967. Online: <https://n9.cl/wtuvw>.

Garzón, G. (2008). «Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds: A review». En: *Acta Biológica Colombiana* 13.3, 27-36. Online: <https://n9.cl/e31th>.

Iosub, S., A. Meghea e I. Geana (2014). «Solvatochromic parameters of some anthocyanin derivatives concentrated from selective natural extracts». En: *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science* 76.1, 25-34. Online: <https://n9.cl/q9lcm>.

Jin, W. y col. (2020). «Study on the coupling progress of thermo-induced anthocyanins degradation and polysaccharides gelation». En: *Food Hydrocolloids* 105, 105822. Online: <https://n9.cl/t4p9w>.

Kader, F. y col. (1998). «Degradation of cyanidin 3-glucoside by blueberry polyphenol oxidase: kinetic studies and mechanisms». En: *Journal of agricultural and food chemistry* 46.8, 3060-3065.

- Online:<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1371074>.
- Klymchenko, A. (2017). «Solvatochromic and fluorogenic dyes as environment-sensitive probes: design and biological applications». En: *Accounts of chemical research* 50.2, 366-375. Online:<https://n9.cl/dqp7t>.
- Koh, J., Z. Xu y L. Wicker (2020). «Binding kinetics of blueberry pectin-anthocyanins and stabilization by non-covalent interactions». En: *Food Hydrocolloids* 99, 105354. Online:<https://n9.cl/gybb5>.
- Lee, J. y col. (2013). «A protective layer approach to solvatochromic sensors». En: *Nature Communications* 4.1, 2461. Online:<https://n9.cl/oa2lc>.
- Linying, L. y col. (2022). «Study on the origin of linear deviation with the Beer-Lambert law in absorption spectroscopy by measuring sulfur dioxide». En: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 275, 121192. Online:<https://n9.cl/2qg80>.
- Loving, G., M. Sainlos y B. Imperiali (2010). «Monitoring protein interactions and dynamics with solvatochromic fluorophores». En: *Trends in biotechnology* 28.2, 73-83. Online:<https://n9.cl/rii2t>.
- Marini, A. y col. (2010). «What is solvatochromism?» En: *The Journal of Physical Chemistry B* 114.51, 17128-17135. Online:<https://n9.cl/lvkye>.
- Mayerhöfer, T. y J. Popp (2020). «Beyond Beer's Law: Revisiting the Lorentz-Lorenz Equation». En: *ChemPhysChem* 21.12, 1218-1223. Online:<https://n9.cl/h4cw5>.
- Narváez, G y M Suárez (2016). «Estabilización de las antocianinas presentes en el fruto de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) mediante el método de copigmentación intermolecular para la obtención de pigmentos antocianicos con potencial aplicación en la industria farmacéutica y cosmé». Tesis de mtría. Universidad Central del Ecuador.
- Nguyen, T. y col. (2018). «Encapsulation of Hibiscus sabdariffa L. anthocyanins as natural colours in yeast». En: *Food research international* 107, 275-280. Online:<https://n9.cl/g8yca>.
- Pubchem (2022). *Malvidin 3-Glucoside*.
- Putra, N. y col. (2023). «Optimization and solubilization of interest compounds from roselle in subcritical ethanol extraction (SEE)». En: *Alexandria Engineering Journal* 65, 59-74. Online:<https://n9.cl/g1igc>.
- Rahman, S. y col. (2021). «Health benefits of cyanidin-3-glucoside as a potent modulator of Nrf2-mediated oxidative stress». En: *Inflammopharmacology* 29, 907-923. Online:<https://n9.cl/6bhp6>.
- Reichardt, C. (1994). «Solvatochromic dyes as solvent polarity indicators». En: *Chemical reviews* 94.8, 2319-2358. Online:<https://n9.cl/vcpl6>.
- Sánchez, J. (2013). «La química del color en los alimentos». En: *Química Viva* 12.3, 234-246. Online:<https://n9.cl/jbcd2>.
- Torres, F. y N. Pulgar (2017). «Evaluación de la estabilidad del pigmento natural obtenido a partir de mortiño (*Vaccinium myrtillus* L) como colorante para la industria de alimentos». En: *SATHIRI* 12.1, 171-186. Online:<https://n9.cl/9fim7>.
- Vasco, C. y col. (2009). «Chemical composition and phenolic compound profile of mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth)». En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57.18, 8274-8281. Online:<https://n9.cl/es/s/nrbxl>.
- Xu, M. y col. (2010). «Cyanidin-3-glucoside inhibits ethanol-induced invasion of breast cancer cells overexpressing ErbB2». En: *Molecular cancer* 9.1, 1-14. Online:<https://n9.cl/byd7l>.
- Yépez, M. y Suaáez (2019). «Adición de antocianinas extraídas del fruto de *Vaccinium floribundum* Kunth y antocianinas estabilizadas en nanopartículas de zeína en yogur natural, como alternativa a los colorantes de síntesis». Tesis de mtría. Universidad Centra del Ecuador.



# ANÁLISIS DE LA INHIBICIÓN DE MICROORGANISMOS PROTEOLÍTICOS EN FILETES DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis spp*) CONSERVADOS CON PROPÓLEO (*Apis mellifera Linnaeus*)

ANALYSIS OF THE INHIBITION OF PROTEOLYTIC MICROORGANISMS IN RED  
TILAPIA (*Oreochromis spp*) FILLETS PRESERVED WITH PROPOLIS (*Apis mellifera*  
*Linnaeus*)

Luis Intriago<sup>id</sup>, Viviana Talledo<sup>id</sup>, Rudyard Arteaga<sup>id</sup>, Anderson Pazmiño\*<sup>id</sup> y  
Gerardo Cuenca-Nevárez<sup>id</sup>

Departamento de Procesos Agroindustriales, Facultad de Ciencias Zootécnicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, 130104, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [anderson.pazmino@utm.edu.ec](mailto:anderson.pazmino@utm.edu.ec)

Manuscrito recibido el 30 de enero de 2023. Aceptado, tras revisión, el 3 de julio de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

## Resumen

La industria alimentaria se centra en reemplazar los conservantes químicos con alternativas orgánicas para la conservación y seguridad de los alimentos. El presente estudio, busca analizar el uso de propóleo en la conservación de filetes de tilapia roja. Se aplicó propóleo en dos concentraciones (15% y 30%) y dos tiempos de impregnación (1,5 y 3 horas) a filetes de tilapia roja almacenados a 4-5 °C durante 30 días. Se evaluaron varios parámetros, incluidos el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la concentración básica de nitrógeno volátil (N-BVT), a intervalos de 10 días. Además, se realizó un análisis microbiológico de microorganismos mesófilos y *E. coli* presentes. A partir del día 20 se observaron diferencias significativas en el color del filete según las coordenadas cromáticas L\*, a\* y b\*. El análisis sensorial mostró que las propiedades sensoriales se mantuvieron cuando los valores de aceptación fueron superiores a 6,5. El tratamiento más efectivo fue el propóleo en concentración del 15% con un tiempo de impregnación de 1,5 horas y conservado durante 20 días. Este enfoque mostró que el propóleo extiende efectivamente la vida útil de los filetes al prevenir el daño proteolítico. Además, inhibe la proliferación de microorganismos al mantener la carga de mesófilos y *E. coli*, así como los parámetros fisicoquímicos (pH, CRA y N-BVT) según la norma NTE-INEN 183-2013. En conclusión, el propóleo es un conservante orgánico prometedor para la industria alimentaria.

**Palabras clave:** Bacteria, filete, inhibición, normativa, proteolítica.

---

**Abstract**

The food industry is focused on replacing chemical preservatives with organic alternatives for food preservation and safety. The present study seeks to analyze the use of propolis in the conservation of red tilapia fillets. Propolis was applied in two concentrations (15% and 30%) and two impregnation times (1.5 and 3 hours) to red tilapia fillets stored at 4-5°C for 30 days. Several parameters, including pH, water-holding capacity (WRC), and basic volatile nitrogen concentration (N-BVT), were evaluated at 10-day intervals. In addition, a microbiological analysis of mesophilic microorganisms and *E. coli* present was carried out. From day 20, significant differences were observed in the color of the fillet according to the chromatic coordinates  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ . The sensory analysis showed that the sensory properties were maintained when the acceptance values were higher than 6.5. The most effective treatment was propolis in a concentration of 15% with a soaking time of 1.5 hours and preserved for 20 days. This approach showed that propolis effectively extends the shelf life of fillets by preventing proteolytic damage. In addition, it inhibits the proliferation of microorganisms by maintaining the load of mesophiles and *E. coli*, as well as the physicochemical parameters (pH, CRA and N-BVT) according to the NTE-INEN 183-2013 standard. In conclusion, propolis is a promising organic preservative for the food industry.

**Keywords:** Bacteria, fillet, inhibition, normative, proteolytic.

---

Forma sugerida de citar: Intriago, L., Talledo, V., Arteaga, R., Pazmiño, A. y Cuenca-Nevárez, G. (2023). Análisis de la inhibición de microorganismos proteolíticos en filetes de tilapia roja (*Oreochromis spp*) conservados con propóleo (*Apis mellifera Linnaeus*). La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 38(2):17-32. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.02>.

---

IDs Orcid:

Luis Intriago: <http://orcid.org/0000-0002-8454-9767>

Viviana Talledo: <http://orcid.org/0000-0002-5735-9490>

Rudyard Arteaga: <http://orcid.org/0000-0001-5499-7334>

Anderson Pazmiño: <http://orcid.org/0000-0001-5333-3819>

Gerardo Cuenca-Nevárez: <http://orcid.org/0000-0002-1128-3013>

## 1 Introducción

En el ámbito industrial y comercial que involucra a la actividad piscícola, la vida útil del pescado es muy importante, y para ello la utilización de agentes biopreservantes para peces enteros o en filete empacados al vacío resulta una alternativa para disminuir el uso de preservantes de origen químico que afectan a la salud del consumidor, y evitar la proliferación de microorganismos que causen su deterioro, manteniendo los atributos de calidad y de inocuidad establecidos por los organismos de control (Ahmad y col., 2017; Rodríguez-Pérez y col., 2020).

Dentro de esta actividad, la tilapia se destaca por ser un pez muy apetecido por su gran sabor, textura, color y por su gran versatilidad a la hora de realizar diversas preparaciones; así, el cultivo de tilapia se ha extendido potencialmente en los últimos años, y esta nueva oportunidad de negocios ha hecho que surjan ideas novedosas que contribuyan a mejoras de las exportaciones y los diferentes métodos de consumo y comercialización del producto (Jácome y col., 2019).

De la misma manera, hay un incremento en el interés por parte de los consumidores, industriales e investigadores por recurrir a las fuentes naturales de aditivos alimentarios que puedan ser utilizados como mecanismos barrera que ayuden a la conservación de los alimentos sin atentar contra la salud humana (Vargas-Sánchez, Urrutia y Escalante, 2013). De esta forma, se ha introducido un producto natural como el propóleo de forma exitosa en la industria alimentaria, para aprovechar sus propiedades (Rodríguez-Pérez y col., 2020; Farag y col., 2021).

El propóleo es una sustancia resinosa producida por abejas cuyas características varían en dependencia de la estación climática, zona geográfica, tipo de abejas y vegetación existente. Contiene entre 50 a 60% de resinas y bálsamos, 30 a 40% de cera, 5 a 10% de polen, y 8 a 10% de aceites esenciales; está compuesto de alrededor de 180 sustancias, principalmente flavonoides y ácidos fenólicos o ésteres en un 50% (Rodríguez-Pérez y col., 2020; Sarikahya y col., 2021; Farag y col., 2021; Salleh y col., 2021). El propóleo es usado por las abejas para mantener las condiciones óptimas de la colmena y su miel,

evitando el crecimiento de microorganismos que la alteren, de tal forma que sus propiedades pueden ser exploradas como aditivo alimentario natural. Teniendo en cuenta la relación de su contenido en flavonoides y su efecto biológico, el propóleo es un producto bioactivo que destaca por su actividad antimicrobiana y antioxidante, sabor fuerte y olor aromático propio, capaz de establecer múltiples combinaciones sinérgicas con otros componentes (Viloria y col., 2012; Rodríguez-Pérez y col., 2020; Peixoto y col., 2021; Salleh y col., 2021).

El propóleo posee características útiles para la industria de los alimentos como son su actividad antioxidante, antimicrobiana, antifúngica y anti-parasitaria (antiprotozoáricas) (Peixoto y col., 2021; Vicá y col., 2021; Afata y col., 2022), razón por la cual puede ser empleado en productos cárnicos (res, pollo, cerdo, pescado o mariscos), aceites vegetales, lácteos sin pasteurizar, frutas y zumos de frutas. La actividad antibacteriana del propóleo ha sido estudiada en diferentes microorganismos, entre éstos bacterias Gram positivas y Gram negativas. Entre las bacterias Gram positivas evaluadas constan *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus sp.*, *Micrococcus sp.*, *Bacillus sp.* *Listeria monocytogenes*. Entre las bacterias Gram negativas evaluadas constan *Salmonella typhi*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, *Shigella spp.* Para el propóleo, las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) para estos microorganismos varían en función de su forma de aplicación y de la composición química que a la vez depende del área geográfica de origen.

De acuerdo con la información recopilada por Przybyłek y Karpiński (2019), la CMI del extracto etanólico de propóleo para bacterias Gram positivas (*S. aureus* como representante) está en el rango de 8-1500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , mientras que la CMI para bacteria Gram negativas (*E. coli* como representante) está entre 116-5000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . De esta forma, se ha establecido una mayor eficacia sobre bacterias Gram positivas y en menor grado sobre bacterias Gram negativas, gracias a la acción de los compuestos bioactivos presentes en el propóleo y que inciden de forma directa sobre la pared celular de estas bacterias haciéndolas susceptibles a su rompimiento y posterior lisis celular (Nedji y Loucif-Ayad, 2014; Santos y col., 2017; Zhang y col., 2017; Torres y col.,

2018; Afata y col., 2022).

El presente estudio tiene como objetivo investigar el efecto del propóleo (*Apis mellifera Linnaeus*) en la inhibición de microorganismos proteolíticos en filetes de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) empacadas al vacío, mediante la medición de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como también sus atributos sensoriales durante el periodo de almacenamiento. Este estudio surge en respuesta a la necesidad de abordar el desafío que enfrenta la industria pesquera de conservar las propiedades de los productos empacados, sin aumentar el uso de preservantes químicos sintéticos.

## 2 Materiales y Métodos

La presente investigación se llevó a cabo en los laboratorios de análisis de alimentos de la Facultad de Ciencias Zootécnicas de la Universidad Técnica de Manabí, la cual se encuentra situada en el kilómetro 2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> del sitio Ánima vía Chone- Boyacá, del cantón Chone, provincia de Manabí, zona con un potencial de evapotranspiración de 107,04 mm, temperatura media anual de 25,2 °C y precipitación media anual de 54,63 mm (Cabrera-Estupiñán, Pérez Leira y Moreira Santos, 2017).

El propóleo empleado en el estudio fue obtenido de una granja avícola artesanal ubicada en la ciudad de Flavio Alfaro, provincia de Manabí. Las tilapias rojas (*Oreochromis sp.*) fueron adquiridas en el mercado local de la ciudad de Chone, tomando ejemplares de 525 g de peso promedio; luego las tilapias fueron evisceradas y cortadas en filetes de un peso promedio de 370 g. Cada filete mantuvo su respectiva piel con la finalidad de mantener la estabilidad del músculo. En cada filete se realizaron cortes paralelos separados 5 mm entre sí con la finalidad de que el propóleo ingrese por estos cortes y los filetes queden impregnados.

Para evaluar la acción conservante del propóleo en filetes de tilapia roja selladas al vacío se estableció un diseño experimental aplicando un modelo factorial cúbico atenuado con los factores: A) tiempo de almacenamiento (10, 20 y 30 días), B) concentración de propóleo en relación al peso del filete (0, 15 y 30%), y C) tiempo de impregnación (1,5 y 3 h). Cada filete del diseño experimental fue empaca-

do en bolsas de poliéster transparente (PET) calibre 2/60, sello U, Zipack, marca Aviditi®, con certificación ISO 9001:2008 (Manuli Fitasa, Brasil) usando una atmósfera al vacío generada por una cámara con bomba generadora de vacío de alta capacidad (20 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), modelo VM400TE/B de 440 x 420 x 75 mm y barra de sellado doble de 400 x 100 mm, de marca FinTeck S.A. Posteriormente, los filetes empacados fueron almacenados a temperaturas de refrigeración a 4,5 ± 0,5 °C por 30 días. Los análisis fueron realizados por triplicado tanto a nivel fisicoquímico y sensorial.

### 2.1 Parámetros fisicoquímicos

#### 2.1.1 Análisis de pH

Para la determinación de este parámetro se utilizó un potenciómetro Orion A:211 (Thermo Scientific™, Estados Unidos) el cual está provisto de un electrodo de 6mm que se inserta directamente dentro de los filetes de tilapia.

#### 2.1.2 Porcentaje de la capacidad de retención de agua

Una muestra de 2 g de filete crudo se colocó en papel filtro circular, luego de esto se dispuso entre dos placas de vidrio con un peso de 5 Kg, durante cinco minutos. La capacidad de retención de agua (CRA) fue determinada a través de la diferencia de pesos tanto inicial como final (Rebouças y col., 2020).

$$CRA = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $P_i$  es el peso inicial del filete, y  $P_f$  es el peso final del filete.

#### 2.1.3 Estabilidad a la degradación proteolítica

La cantidad de bases volátiles totales de nitrógeno (N-BVT) se evaluó usando el método de Valencia-Junca y col. (2019) con modificaciones. Una muestra de 10 g de filete de tilapia fue molida con 50 mL de agua destilada dentro de un procesador de alimentos Oster®; la mezcla formada fue colocada en un Erlenmeyer de 500 mL con 200 mL de agua destilada. A continuación, se procedió a destilar incorporando 2 g de MgO y para inhibir la formación de espumas se adicionó una gota de silicona. El producto destilado fue introducido en un matraz de 250 mL junto a una solución de ácido bórico al 3%, y 0,04

mL de rojo de metilo y azul de metileno como indicador de la presencia de amonio. La titulación del destilado se realizó con HCl 0,1N hasta obtener un viraje de color verde a rosado. Para calcular N-BVT en mg  $100\text{g}^{-1}$  de filete de pescado se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%mg\ N - BVT = \frac{(V \cdot C \cdot 14 \cdot 100)}{10} \quad (2)$$

Donde,

V = Volumen de ácido hidroclicórico añadido;

C = Concentración normal del ácido clorhídrico;

14 = Peso atómico del N;

10 = Peso de la muestra.

#### 2.1.4 Determinación del color instrumental

La determinación del color se realizó utilizando un colorímetro (Kónica, Minolta Chroma Meter CR400, Japón), con iluminante D65 y observador de 2° (equipo calibrado con una placa estándar con valores de referencia  $Y = 89,5$   $x = 0,3176$  y  $z = 0,3340$ ). Las mediciones, se expresaron en términos de luminosidad  $L^*$  y de los parámetros de cromaticidad  $a^*$  y  $b^*$ .

## 2.2 Parámetros microbiológicos

Para los análisis microbiológicos se preparó la solución patrón, para lo cual se pesó 10 g de filete de tilapia y se homogenizaron con 90 mL de agua de peptona, para proceder con las diluciones seriadas respectivas de cada uno de los grupos bacterianos a cuantificar

### 2.2.1 Recuento de microorganismos aerobios mesófilos

Para el recuento de microorganismos aerobios mesófilos se realizó el sembrío en estrías usando Agar Plate Count (APC), luego se llevó a incubación a 35 °C durante 48 horas. Después de cumplido el período de incubación se procedió a contar las Unidades Formadoras de Colonias ( $\log\text{ UFC g}^{-1}$ ).

### 2.2.2 Recuento de *Escherichia coli*

Este análisis se llevó a cabo mediante la metodología del Número Más Probable (NMP  $\text{g}^{-1}$ ), para lo cual se tomaron tubos de ensayo en cuyo interior contenían de forma invertida campanas de Durham, posteriormente se incubaron a 35 °C por 48

horas. Los tubos de ensayo que presentaron turbidez y presencia de gas fueron tomados como presuntamente positivos. Luego, utilizando el reactivo de Kovacs se confirmó la presencia de coliformes. Los tubos positivos fueron inoculados en caldo Lactosa Bilis Verde Brillante y se incubaron a 35 °C por 48 horas. Además, los tubos de ensayo que presentaron turbidez y producción de gas que fueron catalogados como positivos fueron sembrados en Agar Eosina Azul de Metileno (EMB) e incubados por 24 horas para confirmar la presencia de *Escherichia coli*.

## 2.3 Análisis sensorial

El panel sensorial estuvo compuesto de veinte jueces semientrenados, quienes evaluaron los atributos organolépticos como color, aroma, sabor y textura, para lo cual se empleó una escala hedónica valorada de 9 puntos (Jonaidi-Jafari y col., 2018); donde la calificación de 1 es “me disgusta extremadamente” y 9 “me gusta extremadamente”. El valor de 4 fue considerado como referente mínimo de aceptabilidad. Para la evaluación sensorial, los filetes se cortaron en pequeños trozos de tamaño moderado, los mismos que fueron cubiertos de apanadura y luego fueron freídos. Las porciones de filete fueron colocadas en recipientes rotulados con el código de los tratamientos analizados. Se suministró un vaso con agua a temperatura ambiente a cada juez para poder hacer las degustaciones entre los diversos tratamientos.

## 2.4 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se empleó el software estadístico InfoStat versión 2020. Un ANOVA multifactorial fue realizado para analizar las variables fisicoquímicas y microbiológicas, con el fin de evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento, la concentración del propóleo, el tiempo de impregnación y sus interacciones.

Para el análisis sensorial se realizó un ANOVA simple, con la finalidad de evaluar la existencia de diferencias significativas en cada uno de los atributos evaluados. El análisis post hoc de Tukey ( $p < 0,05$ ) se aplicó para comprobar las diferencias existentes entre los tratamientos.

### 3 Resultados y Discusión

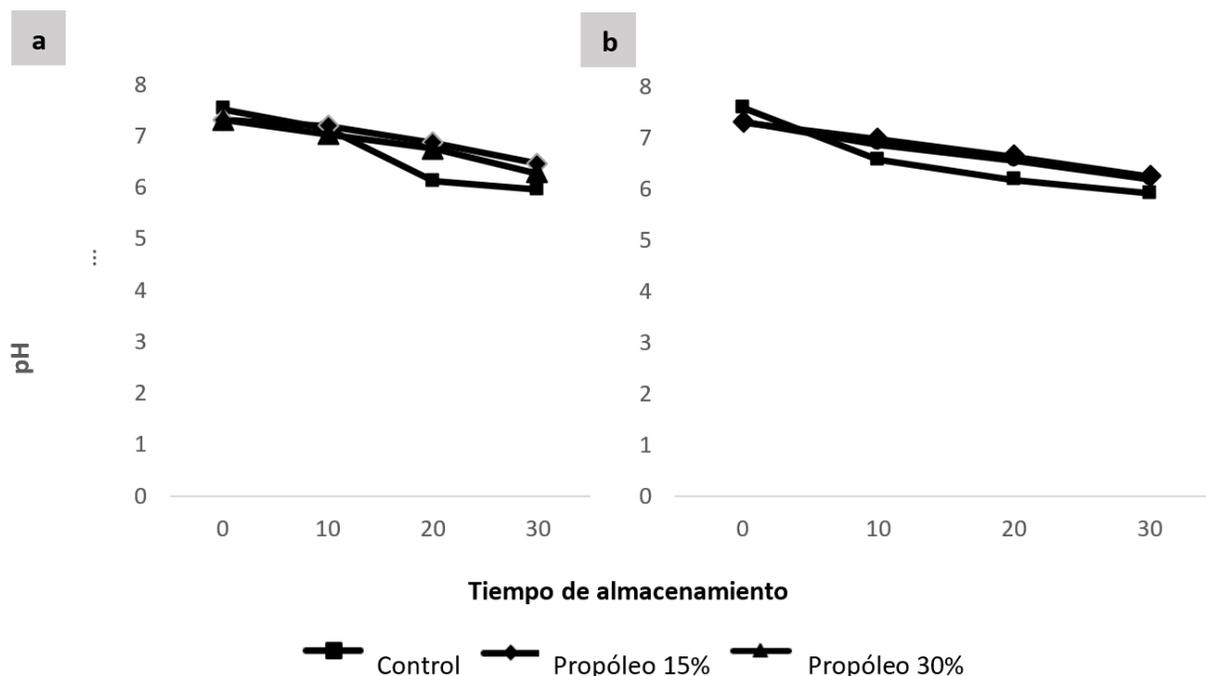
#### 3.1 Parámetros fisicoquímicos de los filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)

##### 3.1.1 Análisis del pH

Los valores de pH en los filetes de tilapia roja impregnados con propóleo determinan que este parámetro fluctuó entre 6,12 a 7,53; con una media de 6,85 (Figura 1). El pH tendió a disminuir a medida que avanzaban los días de almacenamiento, existiendo un comportamiento similar considerando ambos tiempos de impregnación de propóleo del diseño. Hasta el final del periodo de almacenamiento, el tratamiento control obtuvo como valores de pH 5,91 y 5,96 por los dos tiempos de impregnación; el pH para los tratamientos con propóleo al 15% con tiempo de impregnación de 1,5 horas fue 6,46 y 3 horas 6,27; en cambio, los tratamientos con propóleo al 30% y tiempos de impregnación de 1,5 horas y 3 horas tuvieron pH de 6,24 y 6,18, respectivamente.

El análisis de varianza determinó diferencia significativa en el valor de pH en el factor A (tiempo de almacenamiento) y factor B (concentración de propóleo), incluso en las interacciones AC (tiempo de almacenamiento - tiempo de impregnación) y BC (concentración de propóleo - tiempo de impregnación) (Tabla 1). Los valores de pH aquí reportados se relacionan con los determinados por Montoya-Camacho y col. (2021) en estudios realizados con tilapia negra al evaluar los cambios bioquímicos que sufre el músculo de este pez al ser almacenado en un rango de temperatura entre 0 y 5 °C.

Los valores de pH registrados están dentro de los rangos establecidos por la normativa técnica ecuatoriana NTE-INEN 183-2013 (INEN, 2014), la cual establece que el pH que debe presentar una especie acuática al momento de su comercialización es de 6,5 en la parte interna del músculo y de 6,8 en la parte externa del organismo.



**Figura 1.** Comportamiento del pH en filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) impregnados con propóleos, a) Impregnación de propóleo a 1,5 horas; b) Impregnación de propóleo a 3 horas.

**Tabla 1.** Análisis de varianza de los tratamientos considerados en el presente estudio para el pH.

Fuente	SC	gl	CM	valor -p-
A-Tiempo almacenamiento	6,05	1	6,05	<0,0001
B-Concentración propóleo	0,4413	1	0,4413	<0,0001
C-Tiempo impregnación	0,0702	1	0,0702	0,0558
AB	0,0137	1	0,0137	0,3928
AC	0,2491	1	0,2491	0,0005
BC	0,4052	1	0,4052	<0,0001
ABC	0,0026	1	0,0026	0,7085
Residual	1,05	57	0,0184	
Cor Total	11,39	71		

La Ecuación 3 determina la regresión múltiple del parámetro pH que permite hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor, identificando y comparando los coeficientes de los mismos.

$$pH = 6,52 + (-1,49 \cdot A) + (-0,1535 \cdot B) + (-0,0667 \cdot C) + (-0,0226 \cdot AB) + (-0,0789 \cdot AC) + (-0,0919 \cdot BC) + (-0,0099 \cdot ABC) \quad (3)$$

Esto se evidencia en los tratamientos realizados con propóleo al 15% y 30% para el tiempo de impregnación de 1,5 horas los valores de pH varían entre 6,81 y 6,91; mientras que para los tiempos de impregnación de 3 horas los valores fueron de 6,68 y 6,70 respectivamente; por lo que se puede apreciar que el conservar filetes de tilapia con propóleo es una alternativa orgánica y factible.

### 3.1.2 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Los resultados de CRA de los filetes conservados con propóleo varían desde 46,43% hasta 86,99% (Figura 2). Los resultados indican un descenso en la CRA a medida que avanzaba el tiempo de almacenamiento. El tratamiento control obtuvo valores de CRA de 51,85% a 1,5 h de impregnación y 46,45% en 3 h de impregnación.

Los tratamientos con propóleo al 15% con tiempos de impregnación de 1,5 y 3 horas tuvo valores de CRA de 62,92% y 58,19%, respectivamente; mientras que los tratamientos con propóleo al 30% y tiempos de impregnación de 1,5 horas y 3 horas tuvieron valores de CRA de 60,92% y 55,95%, respectivamente.

El análisis estadístico de varianza para la CRA (Tabla 2) determina que los efectos principales del modelo fueron A (tiempo de almacenamiento), B (concentración de propóleo), y las interacciones AB (tiempo de almacenamiento - concentración de propóleo) y AC (tiempo de almacenamiento - tiempo de impregnación) con valores p de <0,0001 en todos los casos detallados, existiendo diferencias significativas en los valores de CRA.

De acuerdo con Campus y col. (2010), el CRA es un parámetro que mide la habilidad del músculo para retener el agua libre por capilaridad y fuerzas de tensión que ha sido sometida la muestra, en este caso los filetes de tilapia roja; de esta forma, los rangos de CRA entre 70-80% son considerados valores óptimos para estimar la frescura de un pescado.

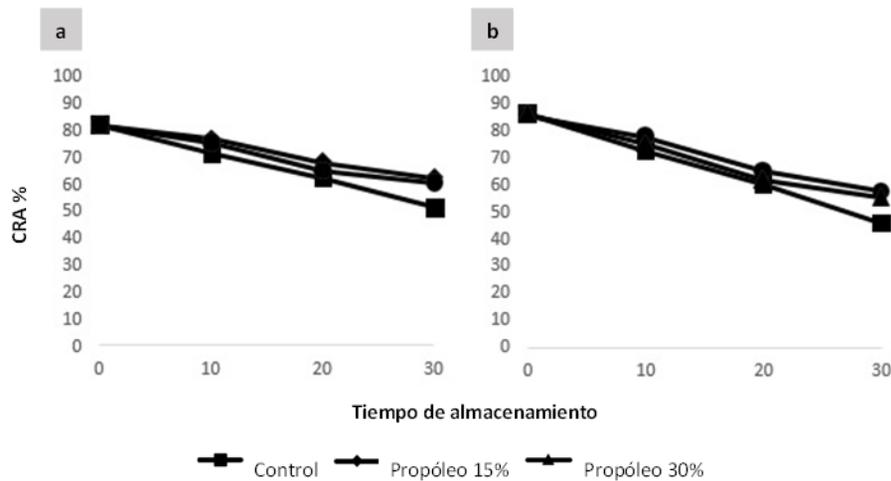
Para este estudio, los filetes de tilapia roja con un tiempo de impregnación de 1,5 horas y hasta los 10 días de tiempo de almacenamiento y con las 3 concentraciones de propóleo mostraron valores de CRA 71,88; 77,34 y 75,96% mientras que, para el tiempo de impregnación de 3 horas, hasta el día 10 de almacenamiento y las 3 concentraciones de propóleo los valores de CRA fueron 73,12; 78,37 y 75,84%. Después del día 10 para ambas concentraciones, los valores de CRA se redujeron a valores entre 53,53 y 58,56% para los tiempos de impregnación 3 y 1,5 horas, respectivamente.

$$CRA = 72,15 + (-15,02 \cdot A) + 1,32 \cdot B + (-0,3919 \cdot C) + 1,93 \cdot AB + (-2,33 \cdot AC) + (-0,1328 \cdot BC) + (-0,0237 \cdot ABC) \quad (4)$$

La ecuación 4 determina la regresión múltiple del parámetro CRA. Dicha ecuación en términos de

factores reales se puede usar para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor, identificando de esta manera el impacto rela-

tivo de los factores comparando los coeficientes de estos.



**Figura 2.** Valores de CRA en filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) conservados con propóleos, a) Impregnación de propóleo a 1,5 horas; b) Impregnación de propóleo a 3 horas.

**Tabla 2.** Análisis de varianza de los tratamientos considerados en el estudio para la CRA.

Fuente	SC	gl	CM	valor -p-
A-Tiempo almacenamiento	600,75	1	600,75	<0,0001
B-Concentración propóleo	31,13	1	31,13	<0,0001
C-Tiempo impregnación	2,41	1	2,41	0,0488
AB	99,34	1	99,34	<0,0001
AC	215,75	1	215,75	<0,0001
BC	0,8262	1	0,8262	0,2433
ABC	0,0149	1	0,0149	0,8747
Residual	33,28	56	594	
Cor Total	9171,03	70		

Esto se evidencia en los tratamientos realizados con propóleo al 15% y 30% para el tiempo de impregnación de 1,5 horas y 3 hora, donde los valores de CRA son favorables hasta el día de almacenamiento ya que después de estos días los filetes pierden jugosidad, afectando en forma desfavorable en el parámetro sensorial sabor. Conforme a los criterios de Melody y col. (2004), a medida que avanza el rigor se reduce el espacio para que el agua se retenga en las miofibrillas, y el líquido puede ser forzado hacia los espacios extramiofibrilares donde se pierde más fácilmente en forma de goteo como consecuencia de la contracción lateral de las miofibri-

llas que ocurre durante el rigor, lo que puede transmitirse a toda la célula si las proteínas que unen las miofibrillas entre sí y las miofibrillas a la membrana celular no se degradan.

### 3.1.3 Análisis de las bases volátiles totales de nitrógeno (N-BVT)

De acuerdo con Cicero y col. (2014), el pescado es un alimento con alto índice proteico y de ahí que nutricionalmente es un producto altamente aconsejable de aprovechar sobre todo en dietas balanceadas y saludables, pero después de su captura estos organismos sufren alteraciones internas, donde la

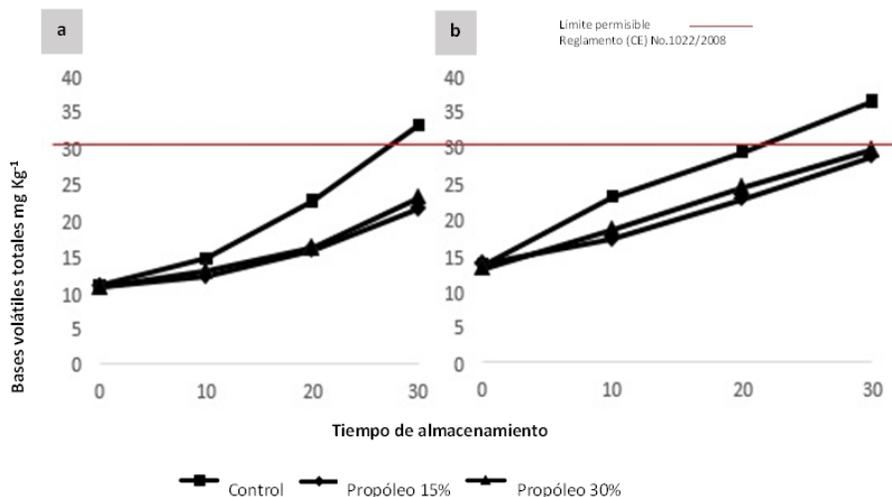
degradación de los compuestos nitrogenados ocurre principalmente por el accionar de bacterias, las cuales forman principalmente trimetilamina (TMA) y amonio, incrementando el pH al final de la fase rigor mortis. La medición de la cantidad de N-BVT en una muestra de filete de pescado sirve para determinar el estado del proceso de deterioro, siendo este un indicador de su estado de frescura (Howgate, 2010).

En cuanto a los valores de N-BVT para filetes de tilapia roja, se observaron diferencias significativas entre tratamientos a partir del día 20 de almacenamiento (Figura 3). El comportamiento del N-BVT en filetes de tilapia roja conservadas al vacío determinó un valor de 22,58 mg N-BVT 100g<sup>-1</sup> para el tratamiento control, mientras que para los tratamientos con propóleo mostraron un comportamiento descendente en este parámetro conforme al tiempo de impregnación y concentración de propóleo; de esta forma, el tratamiento al 15% resultó en 19,69 mg N-BVT 100g<sup>-1</sup> (1,5 hora de impregnación) y 14,68mg N-BVT 100g<sup>-1</sup> (3 horas de impregnación).

A partir del día 20, los tratamientos control tuvieron incrementos en el valor del N-BVT, llegando

a sobrepasar el valor límite permisible de 30 mg N-BVT 100g<sup>-1</sup> para considerar al filete de pescado fresco y aceptable para su consumo, establecido por la normativa expedida por la (Comunidad Europea, 2008) y explícita también en la norma ecuatoriana NTE-INEN 183-2013. Los tratamientos con 15% y 30% de propóleo no llegaron a sobrepasar el valor normal establecido, presentando valores entre 10,77 y 36,22 mg 100g<sup>-1</sup>. Los valores registrados dentro del límite permisible determinados a lo largo del tiempo de almacenamiento de los filetes de tilapia roja podrían estar influenciados por la actividad antibacteriana que presenta el propóleo, que evita así la degradación proteolítica en el filete, tal como lo señala Basiri y col. (2015) en un estudio de conservación de mariscos.

El análisis estadístico de la varianza para el efecto (Tabla 3) determinó que las fuentes de variación que demostraron significancia fueron A (tiempo de almacenamiento), B (concentración de propóleo), C (tiempo de impregnación), las interacciones AB, AC y ABC, existiendo diferencias significativas en los valores del N-BVT.



**Figura 3.** Valores de N-BVT en filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) conservados con propóleos y con su normativa permisible. a) Impregnación de propóleo a 1,5 horas; b) Impregnación de propóleo a 3 horas.

**Tabla 3.** Análisis de varianza de los tratamientos considerados en el estudio para N-BVT.

Fuente	SC	gl	CM	valor -p-
A-Tiempo almacenamiento	102,08	1	102,08	<0,0001
B-Concentración propóleo	87,71	1	87,71	<0,0001
C-Tiempo impregnación	201,50	1	201,50	<0,0001
AB	105,11	1	105,11	<0,0001
AC	20,02	1	20,02	<0,0001
BC	0,3588	1	0,3588	0,2934
ABC	8,11	1	8,11	<0,0001
Residual	18,18	57	0,3190	
Cor Total	3847,46	71		

La ecuación 5 determina la regresión múltiple del parámetro N-BVT y puede ser usada para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor, identificando de esta manera el impacto relativo de los factores comparando los coeficientes de estos.

$$N - BVT = 17,09 + 6,12 \cdot A + (-2,16 \cdot B) + 3,57 \cdot C + (-1,99 \cdot AB) + 0,7075 \cdot AC + 0,0865 \cdot BC + 0,5514 \cdot ABC \quad (5)$$

### 3.1.4 Determinación del color instrumental

En cuanto a los valores de las coordenadas cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para filetes de tilapia roja, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos a partir del día 20 de almacenamiento. La coordenada cromática  $L^*$  (luminosidad) disminuye a medida que aumentan los días de almacenamiento, en todo caso el tiempo de impregnación de 1,5 horas redujo dichos valores en contraste con el tiempo de impregnación de 3 horas. Este comportamiento es similar al reportado por Magalhães y col. (2019), quienes determinaron la calidad de unos snacks a partir de filetes de tilapia roja separados mecánicamente. Así mismo, Zapata y Pava (2018) determinaron que los filetes de tilapia roja usados en la elaboración de salchichas a medida que pasa el tiempo de almacenamiento van reduciendo su luminosidad.

El análisis de varianza para los parámetros cromáticos en este estudio (Tabla 4), muestra que para  $L$  los términos significativos de modelo son A, AB, BC y ABC. Para el parámetro  $a^*$  (rojo), los términos

significativos del modelo son A, B, AB y AC. Los valores de  $a^*$  fueron aumentando de forma sostenida a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento y la concentración del propóleo que se dispuso en los filetes. En el parámetro  $b^*$  (amarillo), los términos significativos fueron A, B, C, AB, AC y BC.

Los parámetros  $a$  y  $b$  (rojo y amarillo) aumentan significativamente de forma progresiva durante los 30 días de almacenamiento refrigerado y de forma independientemente de los factores analizados en la presente investigación.

$$L^* = 19,56 + (-1,84 \cdot A) + 0,0213 \cdot B + (-0,0120 \cdot C) + 0,9873 \cdot AB + (-0,1229 \cdot AC) + (-0,1829 \cdot BC) + (-0,2893 \cdot ABC) \quad (6)$$

$$a^* = 7,42 + 1,70 \cdot A + (-1,45 \cdot B) + (-0,0802 \cdot C) + (-1,21 \cdot AB) + (-0,1909 \cdot AC) + (-0,0756 \cdot BC) + 0,0001 \cdot ABC \quad (7)$$

$$b^* = (-0,5200) + 2,12 \cdot A + (-0,2152 \cdot B) + (-0,6360 \cdot C) + (-0,3244 \cdot AB) + (-0,1975 \cdot AC) + (-0,0594 \cdot BC) + 0,0334 \cdot ABC \quad (8)$$

Las ecuaciones 6, 7 y 8 se exponen en función de factores codificados y las mismas pueden ser usadas para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor, y permiten identificar el impacto relativo de los factores comparando los coeficientes de los factores.

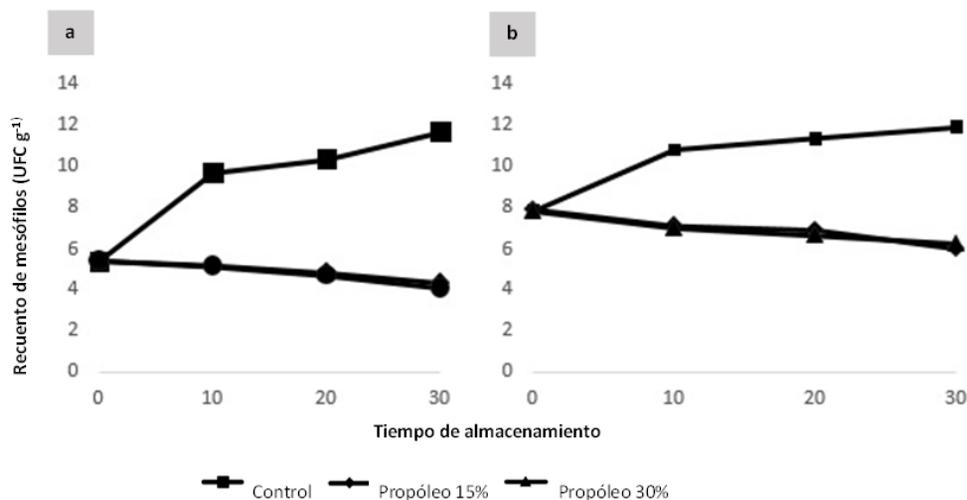
**Tabla 4.** Análisis de los valores p de los tratamientos considerados en el estudio para la escala de color CieLab.

Fuente	p-valor		
	L*	a*	b*
A-Tiempo almacenamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001
B-Concentración propóleo	0,8830	<0,0001	<0,0001
C-Tiempo impregnación	0,9389	0,2731	<0,0001
AB	<0,0001	<0,0001	<0,0001
AC	0,2164	<0,0001	<0,0001
BC	0,0462	0,0739	0,0020
ABC	0,0196	0,9982	0,1798
<b>Residual</b>	6,20	4,72	0,9182
<b>Cor Total</b>	852,82	379,10	117,25

### 3.2 Análisis microbiológico

La Figura 4 muestra los resultados del crecimiento microbiano para bacterias mesófilas en filetes de tilapia roja para cada factor durante los días de almacenamiento. El conteo de mesófilos en los filetes sin propóleo demostró crecimiento continuo durante el almacenamiento, mientras que en los tratamientos con propóleo al 15 y 30% la carga microbiana de mesófilos tendió a reducir. Los tratamientos control presentaron un incremento hasta el día 30 de bacterias mesófilas de 11,74 y 11,92 log UFC g<sup>-1</sup> para los tiempos de impregnación de 1,5 y 3 horas, respectivamente.

El recuento de mesófilos al final de los días de almacenamiento para la concentración de 15 y 30% de propóleo a las 3 horas de impregnación tuvo valores de 6,03 y 6,27 log UFC g<sup>-1</sup>. Los filetes de tilapia impregnados con propóleo por un tiempo de 1,5 h de impregnación obtuvieron valores de 4,39 y 4,13 log UFC g<sup>-1</sup> para las concentraciones de propóleo al 15 y 30%, respectivamente. Los resultados a 1,5 h de impregnación se encuentran dentro de los rangos determinados por la NTE-INEN 183-2013 y la Comisión Internacional sobre Especificaciones Microbiológicas de los Alimentos (ICMSF) (Roberts y col., 2005).



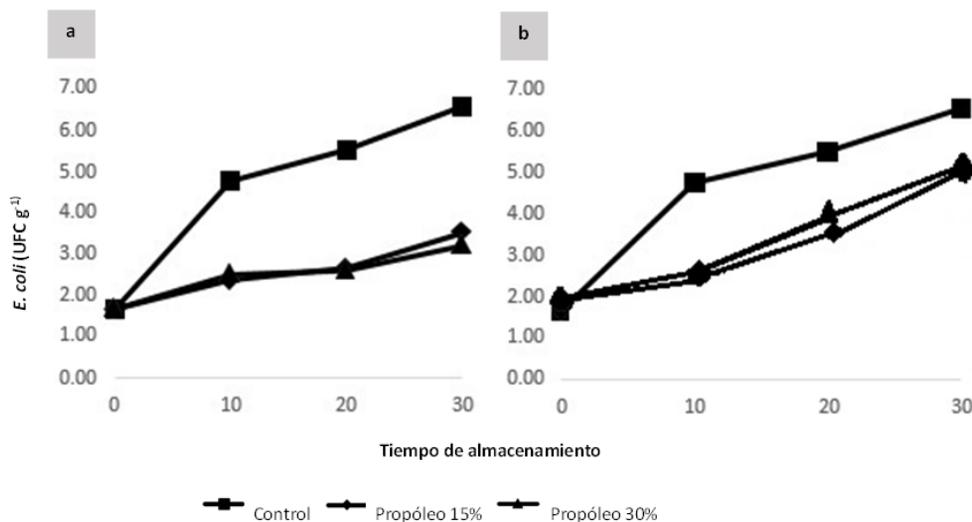
**Figura 4.** Concentración de mesófilos en filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) conservados con propóleos y con su normativa permisible. a) Impregnación de propóleo a 1,5 horas; b) Impregnación de propóleo a 3 horas.

El efecto de inhibición de microorganismos mesófilos de las concentraciones de propóleo al 15 y 30% en un tiempo de impregnación de 1,5 h durante los 30 días de almacenamiento fue superior a otras investigaciones que emplean propóleo como agente conservante; de esta forma el recuento de mesófilos en estas condiciones fueron menores a los reportados por Suarez, Jiménez y Díaz (2014) y Duman y Özpölat (2015) quienes obtuvieron un conteo de mesófilos superiores a  $5,4 \log \text{ UFC g}^{-1}$  durante 20 días de almacenamiento, empleando soluciones de propóleo sobre filetes de pescado en concentración de  $1,2 \text{ mg mL}^{-1}$  y 0,5%, respectivamente, en condiciones de conservación similares con las del presente estudio.

Los resultados determinaron un desarrollo de *E. coli* a los 10 días de tiempo de almacenamiento de los filetes de tilapia roja, tanto en los tiempos de impregnación de propóleo de 1,5 y 3 horas y con todas las concentraciones de propóleos evaluadas; sin embargo, algunos valores obtenidos en este es-

tudio se encuentran por debajo del límite más alto permitido por la norma NTE INEN 183:2013, que establece un máximo de  $2,69 \log \text{ UFC g}^{-1}$  de concentración de *E. coli*.

Los valores obtenidos durante los 30 días de almacenamiento para el tiempo de impregnación de 1,5 h están comprendidos entre 1,73 y  $6,61 \log \text{ UFC g}^{-1}$ , para el 0% de concentración de propóleo (control); 1,71 a  $3,57 \log \text{ UFC g}^{-1}$  con el 15% de concentración de propóleo; y de 1,74 a  $3,27 \log \text{ UFC g}^{-1}$  para 30% de concentración de propóleo; de la misma forma, durante los 30 días de almacenamiento para el tiempo de impregnación de 3 horas los valores fueron 2,13 a  $6,87 \log \text{ UFC g}^{-1}$  para 0% de concentración de propóleo y de 2,08 a 5,11 y 2,14 a  $5,15 \log \text{ UFC g}^{-1}$  para los 15 y 30% de concentración de propóleo (Figura 5). Estos valores son inferiores a los detallados por Talledo-Solórzano, Chavarría y Cuenca (2020) quienes obtuvieron presencia de estas bacterias entre 3,32 y  $5,17 \log \text{ UFC g}^{-1}$  en filetes de tilapia tratados con bacterias ácido-lácticas.



**Figura 5.** Recuento de *E. coli* en filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) conservados con propóleos y con su normativa permisible. a) Impregnación de propóleo a 1,5 horas; b) Impregnación de propóleo a 3 horas.

Los resultados del análisis microbiológico indican que para este parámetro las concentraciones de propóleo al 15 y 30% con un tiempo de impregnación de 1,5 h son adecuadas para mantener el recuento de mesófilo dentro de los límites permitidos en las diferentes normativas de calidad vigente du-

rante el almacenamiento de 30 días, y también estas condiciones son adecuadas para mantener los niveles de *E. coli* en niveles aceptables de calidad hasta por 20 días en las condiciones de almacenamiento evaluado. En cambio, ambas concentraciones de propóleo con 3 h de impregnación no permiten

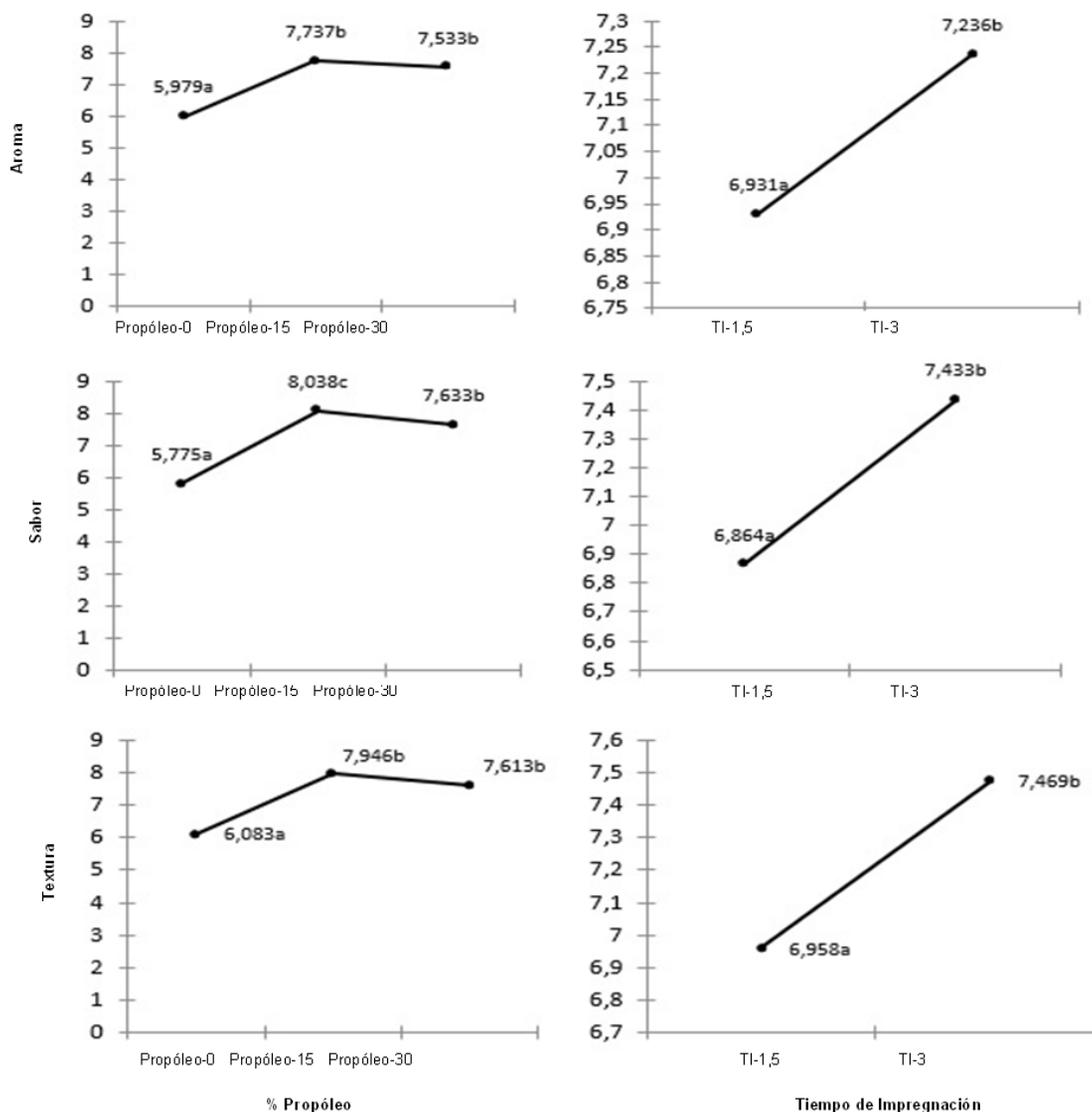
mantener la concentración de mesófilos permitidos durante los días de almacenamiento, y mantienen la concentración de *E. coli* en niveles aceptables de calidad hasta 10 días de almacenamiento. Por esta razón, el tiempo de impregnación de 3 h es inadecuado para tratar de evitar el deterioro proteolítico de los filetes por la proliferación de microorganismos evidenciada.

De esta forma, el tratamiento más adecuado para mantener la calidad microbiológica dentro los lí-

mites permitidos por la norma NTE-INEN 183-2013 es 15% de propóleo con un tiempo de impregnación de 1,5 h, para un tiempo de almacenamiento de 20 días a temperatura de 4-5 °C envasado al vacío.

### 3.3 Análisis sensorial

La Figura 6 muestra los resultados del análisis sensorial de los filetes de tilapia roja impregnadas con propóleo y conservadas a temperatura de 4-5 °C.



**Figura 6.** Análisis de los parámetros organolépticos de los filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) impregnados con dos dosis de propóleos (15 y 30%), y dos tiempos de impregnación (1,5 y 3 h) a 10 días de almacenamiento; para los atributos sensoriales aroma, sabor y textura

Los datos expuestos muestran los resultados del análisis sensorial aplicado a los filetes de tilapia con diez días de almacenamiento, que es el tiempo en el cual todos los tratamientos cumplen con los valores de calidad fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la normativa de calidad vigente.

Los tratamientos del presente estudio con ambas concentraciones de propóleo (15 y 30%), dos tiempos de impregnación (1,5 y 3 h) y con un tiempo de conservación de 10 días obtuvieron en los atributos de aroma, sabor y textura un nivel de aceptabilidad superior a 6,5.

Respecto a la concentración de propóleo, este análisis determinó que en los atributos de aroma, sabor y textura tienen mayor aceptación los filetes de tilapia con 15% de propóleo con niveles de aceptación entre 7,7 y 8. En relación al tiempo de impregnación, el panel sensorial prefirió los tratamientos con tiempo de impregnación del propóleo a 3 horas, con valores de aceptación entre 7,2 y 7,4. Considerando el aspecto tiempo de almacenamiento de diez días, los tratamientos tuvieron valores de aceptación entre 6,5 y 6,7 y además no hubo diferencia con respecto al tratamiento control, demostrando la conservación de las características organolépticas dentro de este tiempo de conservación a temperaturas de 4-5 °C.

En general, la aceptación fue mayor al 80% para todas las características sensoriales destacadas en el presente estudio. Así mismo, estudios realizados por Talledo-Solórzano, Chavarría y Cuenca (2020) demostraron una gran aceptación por parte del panel sensorial para filetes de tilapia roja conservados con bacterias ácido-lácticas donde el valor promedio de aceptación por atributo fue superior a 4.

## 4 Conclusiones

Al evaluar el efecto del uso de propóleo en concentraciones de 15 y 30% como agente conservante en la preservación de filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) empacadas al vacío y almacenadas a temperatura de 4-5 °C, es posible afirmar que el propóleo es capaz de mantener las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de dichos filetes. Bajo estas condiciones, el tratamiento de 15% de propóleo con un tiempo de impregnación de 1,5 h para un tiempo de

almacenamiento de 20 días mantiene niveles aceptables de calidad dentro los límites permitidos por la norma NTE-INEN 183-2013 y Reglamento de la Comunidad Europea (CE) N° 1022/2008.

Así mismo, cabe destacar que el propóleo es útil como conservante en la preservación de filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), ya que interviene directamente en la inhibición del deterioro proteolítico de las fibras del pez, manteniendo niveles bajos de concentración de microorganismos mesófilos, *E. coli* y de los parámetros fisicoquímicos inmersos en el proceso de deterioro y analizados en el presente estudio (pH, N-BVT, CRA y color). Por último, el análisis sensorial de los filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) demostró que el uso de propóleo como conservante permite mantener la calidad organoléptica durante el tiempo de almacenamiento.

## Agradecimientos

Los autores de esta investigación agradecen a la Facultad de Ciencias Zootécnicas de la Universidad Técnica de Manabí por apoyarnos con recursos técnicos y profesionales, para que esta investigación pueda realizarse.

## Referencias

- Afata, T. y col. (2022). «Phytochemical investigation, physicochemical characterization, and antimicrobial activities of ethiopian propolis». En: *Arabian Journal of Chemistry* 15.7, 103931. Online: <https://n9.cl/lx0ma>.
- Ahmad, I. y col. (2017). «Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition». En: *Aquaculture international* 25, 1215-1226. Online: <https://n9.cl/geusw>.
- Basiri, S. y col. (2015). «The effect of pomegranate peel extract (PPE) on the polyphenol oxidase (PPO) and quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during refrigerated storage». En: *LWT-Food Science and Technology* 60.2, 1025-1033. Online: <https://n9.cl/w48fgs>.
- Cabrera-Estupiñán, R. Pérez Leira y J. Moreira Santos (2017). «Régimen de precipitaciones y evaporación para riego en el multipropósito Chone, Ecuador». En: *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721 2.2, 6-15. Online: <https://n9.cl/lcka2>.

- Campus, M. y col. (2010). «Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilt-head Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment». En: *Journal of Food Engineering* 96.2, 192-198. Online: <https://n9.cl/ploa8i>.
- Cicero, L. y col. (2014). «Estudo das metodologias de destilação na quantificação do Nitrogênio das Bases Voláteis Totais em pescada, tilápia e camarão». En: *Brazilian Journal of Food Technology* 17, 192-197. Online: <https://n9.cl/k9mke1>.
- Comunidad Europea (2008). «Reglamento (CE) N 1022/2008». Diario Oficial de la Unión Europea. Online: <https://tinyurl.com/2b9nrsgo>.
- Duman, M. y E. Özpolat (2015). «Effects of water extract of propolis on fresh shibuta (*Barbus grypus*) filets during chilled storage». En: *Food Chemistry* 189, 80-85. Online: <https://n9.cl/0cy3h>.
- Farang, M. y col. (2021). «Propolis: Properties and composition, health benefits and applications in fish nutrition». En: *Fish & Shellfish Immunology* 115, 179-188. Online: <https://n9.cl/gfx74>.
- Howgate, P. (2010). «A critical review of total volatile bases and trimethylamine as indices of freshness of fish. Part 2. Formation of the bases, and application in quality assurance.» En: *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry* 9.1, 58-88. Online: <https://n9.cl/tv7is>.
- INEN (2014). «NTE INEN 183 Pescado fresco, refrigerado y congelado Requisitos». Online: <https://tinyurl.com/265zhffu>.
- Jácome, J. y col. (2019). «Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana». En: *Revista peruana de biología* 26.4, 543-550. Online: <https://n9.cl/dknts>.
- Jonaidi-Jafari, N. y col. (2018). «The effect of chitosan coating incorporated with ethanolic extract of propolis on the quality of refrigerated chicken fillet». En: *Journal of Food Processing and Preservation* 42.1, e13336. Online: <https://n9.cl/jt2gq>.
- Magalhães, A. y col. (2019). «Evaluation of the technological quality of snacks extruded from broken grains of rice and mechanically separated tilapia meat flour». En: *Boletim do Instituto de Pesca* 45.2, 1-9. Online: <https://n9.cl/jyl7x>.
- Melody, J. y col. (2004). «Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles». En: *Journal of animal science* 82.4, 1195-1205. Online: <https://n9.cl/p3k87>.
- Montoya-Camacho, N. y col. (2021). «Evaluation of biochemical, chemical, physical and microbiological quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle during storage at 0 and 5° C». En: *Biotecnia* 23.2, 127-133. Online: <https://n9.cl/v7uyd>.
- Nedji, N. y W. Loucif-Ayad (2014). «Antimicrobial activity of Algerian propolis in foodborne pathogens and its quantitative chemical composition». En: *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 4.6, 433-437. Online: <https://n9.cl/x6o2o>.
- Peixoto, M. y col. (2021). «Antioxidant and antimicrobial activity of blends of propolis samples collected in different years». En: *Lwt* 145, 111311. Online: <https://n9.cl/g93nd>.
- Przybyłek, I. y T. Karpiński (2019). «Antibacterial properties of propolis». En: *Molecules* 24.11, 2047. Online: <https://n9.cl/y2ps7>.
- Rebouças, L. y col. (2020). «Diferentes processos de salga na qualidade de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*)». En: *Research, Society and Development* 9.10, e1029108251. Online: <https://n9.cl/ipoyi>.
- Roberts, T. y col. (2005). «Micro-organisms in foods 6: microbial ecology of food commodities». En: Springer. Cap. Fish and fish products, 174-249.
- Rodríguez-Pérez, B. y col. (2020). «Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos». En: *Acta universitaria* 30, e2435. Online: <https://n9.cl/b02542>.
- Salleh, S. y col. (2021). «Analysis of bioactive compounds and chemical composition of Malaysian stingless bee propolis water extracts». En: *Saudi journal of biological sciences* 28.12, 6705-6710. Online: <https://n9.cl/b9vwh>.
- Santos, T. y col. (2017). «Melipona mondury produces a geopropolis with antioxidant, antibacterial and anti-proliferative activities». En: *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89, 2247-2259. Online: <https://n9.cl/yuesa>.
- Sarıkahya, N. y col. (2021). «Chemical composition and biological activities of propolis samples from different geographical regions of Turkey». En: *Phytochemistry Letters* 44, 129-136. Online: <https://n9.cl/bg919>.
- Suarez, H., Á. Jiménez y C. Díaz (2014). «Determination of microbiological and sensory parameters of fish filets with propolis preserved under refrigeration». En: *Revista MVZ Córdoba* 19.3, 4214-4225. Online: <https://n9.cl/ev171>.
- Talledo-Solórzano, V., S. Chavarría L. and Zambrano y G. Cuenca (2020). «Efecto del uso de bacterias ácido lácticas en la inhibición del deterioro microbiológico de filetes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)». En: *Journal of Science and Research* 5. CININGEC, 363-383. Online: <https://n9.cl/90w8c>.
- Torres, A. y col. (2018). «Chemical characterization, antioxidant and antimicrobial activity of propolis obtained from *Melipona quadrifasciata quadrifasciata* and *Tetragonisca angustula* stingless bees». En: *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 51.6, Online: <https://n9.cl/8m4v9>.
- Valencia-Junca, M. y col. (2019). «Chitosan beads incorporated with essential oil of *Thymus capitatus*: Stability studies on red Tilapia filets». En: *Biomolecules* 9.9, 458. Online: <https://n9.cl/wme2i>.

- Vargas-Sánchez, R., G. Urrutia y A. Escalante (2013). «El propóleo: conservador potencial para la industria alimentaria». En: *Interciencia* 38.10, 705-711. Online: <https://n9.cl/1yp4e>.
- Vică, M. y col. (2021). «The antimicrobial activity of honey and propolis extracts from the central region of Romania». En: *Food Bioscience* 41, 101014. Online: <https://n9.cl/1y0in>.
- Viloria, J. y col. (2012). «Caracterización fisicoquímica del propóleo de la región del bajo cauca antioqueño (Antioquia, Colombia)». En: *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 10.1, 77-86. Online: <https://n9.cl/lgnqd>.
- Zapata, J. y G. De la Pava (2018). «Physicochemical analysis of frankfurter type sausages made with red tilapia fillet waste (*Oreochromis* sp) and quinoa flour (*Chenopodium quinoa* W.)» En: *Brazilian Journal of Food Technology* 21, e2016103. Online: <https://n9.cl/3bht9>.
- Zhang, C. y col. (2017). «Identification of free radical scavengers from Brazilian green propolis using off-line HPLC-DPPH assay and LC-MS». En: *Journal of food science* 82.7, 1602-1607. Online: <https://n9.cl/lb1t6>.



# ANÁLISIS QUÍMICO DE ACEITES ESENCIALES AMAZÓNICOS DE UNA COMUNIDAD SHUAR ECUATORIANA

## CHEMICAL ANALYSIS OF AMAZONIAN ESSENTIAL OILS OF AN ECUADORIAN SHUAR COMMUNITY

Mayra Montalván<sup>1</sup>, Omar Malagón<sup>1</sup>, Nixon Cumbicus<sup>1</sup>, Fani Tanitana<sup>2</sup>  
y Gianluca Gilardoni\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), calle M, Champagnat s/n 1101608, Loja, Ecuador. .

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), calle M, Champagnat s/n 1101608, Loja, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [ggilardoni@utpl.edu.ec](mailto:ggilardoni@utpl.edu.ec)

Manuscrito recibido el 30 de enero de 2023. Aceptado, tras revisión, el 05 de agosto de 2023. Publicado el 01 de septiembre de 2023.

### Resumen

La presente investigación se realizó con el propósito de determinar la composición química de los aceites esenciales de cuatro especies amazónicas del centro shuar Antuash en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago; las cuales pertenecen a las principales familias aromáticas del Ecuador. Los aceites esenciales de *Critoniopsis pycnantha* (Benth.) H. Rob., *Myrcia aliena* McVaugh, *Piper macrotrichum* C. DC. y *Siparuna schimpffii* Diels, fueron obtenidos de las hojas secas mediante destilación analítica por arrastre de vapor, determinándose un rendimiento por peso con respecto a las hojas secas de 0,24 %, 0,80 %, 0,44 % y 0,32 %, respectivamente. Estos fueron analizados cualitativamente mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) y cuantitativamente mediante cromatografía de gases acoplada a detector de ionización de llama (GC-FID), con columna apolar DB-5ms. Se realizó la identificación de los compuestos en base a los espectros de masas y los índices de retención de Van Den Dool Kratz, y se cuantificó calculando los factores de respuesta relativos con base a las entalpías de combustión. Así se determinó riqueza en monoterpenos para el aceite de *M. aliena* y *P. macrotrichum* y riqueza en sesquiterpenos para el aceite de *C. pycnantha* y *S. schimpffii*. Los compuestos mayoritarios en el aceite esencial de *C. pycnantha* fueron  $\gamma$ -muuroleno, biclogermacreno, (E)-cariofileno  $\alpha$ -ylangeno y  $\alpha$ -humuleno; para *M. aliena*  $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno; para *P. macrotrichum*  $\delta$ -3-careno, eugenol y acetato de chavibetol; y, para *S. schimpffii* espatulenol, 2-undecanona, biclogermacreno y (E)-Isocroweacina.

**Palabras clave:** *Critoniopsis pycnantha*, *Piper macrotrichum*, *Myrcia aliena*, *Siparuna schimpffii*.

---

**Abstract**

This research was carried out with the aim of determining the chemical composition of the essential oils of four Amazonian species from the Antuash community, Morona canton, province of Morona Santiago. These species belong to the main aromatic families of Ecuador. The essential oils (EO) of *Critoniopsis pycnantha* (Benth.) H. Rob., *Myrcia aliena* McVaugh, *Piper macrotrichum* C. DC. and *Siparuna schimpffii* Diels were obtained from the dry leaves by analytical steam distillation; a percentage yield of 0.24%, 0.80%, 0.44%, and 0.32% was achieved respectively. EO were qualitatively analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS) and quantitatively analyzed by gas chromatography coupled to flame ionization detector (GC-FID) with a DB-5ms apolar column. The compounds were identified based on mass spectra and the Van Den Dool and Kratz retention indices. They were quantified by calculating the relative response factors based on the combustion enthalpies. *M. aliena* and *P. macrotrichum* resulted rich in monoterpenes, and *C. pycnantha* and *S. schimpffii* in sesquiterpenes. The major compounds for the essential oils of *C. pycnantha* were  $\gamma$ -muurolene, bicyclogermacrene, (E)-caryophyllene  $\alpha$ -ylangene and  $\alpha$ -humulene; *M. aliena*:  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene; *P. macrotrichum*  $\delta$ -3-carene, eugenol and chavibetol acetate; and *S. schimpffii*: spathulenol, 2-undecanone, bicyclogermacrene and (E)-Isocroweacin.

**Keywords:** *Critoniopsis pycnantha*, *Piper macrotrichum*, *Myrcia aliena*, *Siparuna schimpffii*.

---

Forma sugerida de citar: Montalván, M., Malagón, O., Cumbicus, N., Tanitana, F. y Gilardoni, G. (2023). Análisis químico de aceites esenciales amazónicos de una Comunidad Shuar Ecuatoriana. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 38(2):33-45. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.03>.

---

IDs Orcid:

Mayra Montalván: <http://orcid.org/0000-0002-1770-7737>

Omar Malagón: <http://orcid.org/0000-0001-7946-7858>

Nixon Cumbicus: <http://orcid.org/0000-0002-4880-6607>

Fani Tanitana: <http://orcid.org/0000-0003-3389-0241>

Gianluca Gilardoni: <http://orcid.org/0000-0003-0915-9416>

## 1 Introducción

En Ecuador existen alrededor de 295 familias de plantas con utilidad medicinal de las cuales 60 a 80 familias son productoras de aceites esenciales, como *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Lauraceae*, *Myrtaceae*, *Rosaceae*, *Rutaceae*, *Apiaceae* y *Pinaceae* (Aguirre-Mendoza, Aguirre-Mendoza y Muñoz, 2017). El estudio de la fracción aromática de las especies vegetales es uno de los enfoques de mayor investigación en relación con la gran diversidad de especies vegetales distribuidas en las cuatro regiones del país. Los aceites esenciales son mezclas complejas de metabolitos secundarios principalmente monoterpenos, diterpenos y sesquiterpenos producidos por diferentes partes de las plantas. Son ampliamente utilizados en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica por presentar propiedades antisépticas, antibacterianas, antivirales y antifúngicas (Camus y Trujillo, 2011; Ochoa-Pumaylle y col., 2012; León-Méndez, Osorio-Fortich y Martínez-Useche, 2015; Noriega-Rivera, 2009). Por esta razón el objetivo de la presente investigación fue realizar la identificación química cualitativa y cuantitativa de las fracciones volátiles de cuatro especies amazónicas *Critoniopsis pycnantha*, *Myrcia aliena*, *Piper macrotrichum* y *Siparuna schimpffii* provenientes del centro shuar Antuash, provincia de Morona Santiago, de las cuales existe escasa información. El análisis químico se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y a detector de ionización de llama.

*Critoniopsis pycnantha* es un arbusto o árbol nativo que crece a una altura entre 1500 a 3000 m.s.n.m. (Missouri Botanical Garden, 2022) y presenta utilidad apícola (Torre y col., 2008). *Myrcia aliena* es un árbol nativo de la región andina y amazónica que crece a una altura entre 500 a 2500 m.s.n.m. (Missouri Botanical Garden, 2022), conocida localmente como "awapit", su tallo es maderable y su fruto sirve de alimento a los animales (Torre y col., 2008). *Piper macrotrichum* es un subarbusto o arbusto nativo encontrado en las provincias de Morona Santiago, Napo, Pastaza a una altura entre 0 a 1000 m.s.n.m. (Missouri Botanical Garden, 2022). *Siparuna schimpffii* es un arbusto o árbol nativo que se encuentra a una altura entre 0 a 1500 m.s.n.m. en las provincias de Tungurahua, Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Missouri Botanical Garden, 2022), conocido como "chiri wayusa, mal ai-

re panka, ardillón". Esta especie tiene algunos usos medicinales, empleándose sus hojas en infusión para combatir el cansancio y la corteza para aliviar el dolor general del cuerpo producido por la fiebre. También se usa para limpiar el "mal aire" y su tallo se utiliza como poste para la construcción (Torre y col., 2008). Además, las especies del género *Siparuna* son utilizadas en la medicina tradicional para el alivio del dolor, inflamación, fiebre e infecciones (Ferreira-Silva, Oliveira y Oliveira, 2021).

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Datos generales

El análisis de los aceites esenciales se realizó en un cromatógrafo de gases Thermo Scientific (Wal-than, MA, USA) Trace 1300 acoplado a un espectrómetro de masas simple cuadrupolo ISQ 7000 (GC-MS siglas en inglés) y a un detector de ionización de llama tradicional (GC-FID siglas en inglés). Se usó una columna apolar DB-5MS con fase estacionaria 5%-fenil-metilpolisiloxano, de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25  $\mu\text{m}$  de espesor.

Los solventes y estándares usados fueron de grado analítico con una pureza mayor a 99% y adquiridos en Sigma Aldrich (San Luis, Misuri E.E.U.U). En el caso del caproato de isopropilo fue sintetizado en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja con una pureza de 98,8%, determinada mediante GC-FID.

### 2.2 Recolección de especies

Las cuatro especies amazónicas *Critoniopsis pycnantha*, *Myrcia aliena*, *Piper macrotrichum* y *Siparuna schimpffii* fueron recolectadas en el centro shuar Antuash-Morona Santiago, con las siguientes coordenadas 02°39'41.74" S 77°42'44.95" O, 02°39'44.74" S 77°42'55.81" O, 02°39'49.87" S 77°43'21.25" O y 02°39'44.52" S 77°43'28.86" O, respectivamente. Las cuatro especies se encontraron en estado de floración y se recolectaron en período de lluvias. El estudio se realizó de acuerdo con el permiso de investigación MAAE-ARSFC-2021-1233, bajo el consentimiento libre, previo e informado, de acceso al conocimiento tradicional, asociado a la biodiversidad (Recursos biológicos y genéticos), y sus alcances, firmado de manera libre y voluntaria entre la UTPL, ProAmazonía y la comunidad de Antuash

con el amparo legal del Protocolo de Nagoya y la ley ecuatoriana. Este se suscribió en el Centro Shuar Antuash el 22 de abril de 2022. Las especies fueron ingresadas en el herbario de la Universidad Técnica Particular de Loja (HUTPL), con los siguientes códigos de Voucher 14684 (*C. pycnantha*), 14685 (*M. aliena*), 14691 (*P. macrotrichum*) y 14692 (*S. schimpffii*).

## 2.3 Obtención y rendimiento de los aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) de las especies antes mencionadas fueron obtenidos de las hojas secas mediante destilación analítica por arrastre de vapor, proceso que tuvo una duración de tres horas. Las hojas fueron secadas a una temperatura de 35°C durante 48 horas. El aceite esencial se recolectó sobre dos mililitros de ciclohexano, el cual a su vez contenía nonano como estándar interno y que se colocó previo a comenzar la destilación. Luego se recuperó y almacenó en viales ámbar en refrigeración a -4°C. Los rendimientos fueron calculados con la cantidad en volumen de AE destilado en solución de ciclohexano y nonano con respecto al peso de las hojas secas de *Critoniopsis pycnantha* (61,8 g), *Myrcia aliena* (81,5 g), *Piper macrotrichum* (40,6 g) y *Siparuna schimpffii* (95,5 g).

## 2.4 Preparación de muestras de aceite esencial

Los cuatro aceites esenciales obtenidos se diluyeron para su inyección en el cromatógrafo de gases. Para las especies *M. aliena* y *C. pycnantha* se realizó una dilución 1 en 1000 con ciclohexano y para *P. macrotrichum* y *S. schimpffii* una dilución 1 en 500 con ciclohexano.

## 2.5 Análisis cualitativo

### 2.5.1 Método cromatográfico

El método empleado para las inyecciones de los AE en el GC-MS consistió en temperatura del inyector: 200°C; modo de inyección: split, con relación de split 10, volumen de inyección: 2  $\mu$ L para *C. pycnantha*, *P. macrotrichum* y *S. schimpffii* y 1  $\mu$ L para *M. aliena*; columna DB-5ms con un flujo de He de 1 mL/min; programa térmico: temperatura del horno 50°C durante 10 minutos, con una rampa de temperatura de 3°C/min hasta 250°C durante 5 minutos.

Tiempo total de corrida: 81,66 minutos. Se usó una temperatura de la línea de transferencia del espectrómetro de masas de 200°C y de la fuente de iones de 230°C, un rango de masas de 40-400 m/z y dos minutos de espera para el encendido del detector.

### 2.5.2 Identificación de los compuestos

Con las muestras de aceite esencial y con el mismo método cromatográfico descrito para espectrometría de masas, se inyectó una mezcla de hidrocarburos de la serie C9 a C22 para obtener las ecuaciones que nos permitieron a su vez determinar los índices de Van Den Dool y Kratz de cada compuesto (Van Den Dool y Dec Kratz, 1963). La identificación se realizó en base al espectro de masas y una diferencia no mayor a veinte unidades entre los índices calculados y los índices de retención descritos en Adams (2017).

## 2.6 Análisis cuantitativo

### 2.6.1 Método cromatográfico

Las inyecciones en GC-FID se realizaron con las siguientes condiciones: temperatura del inyector de 230°C, modo de inyección split, con radio de split 10 para *P. macrotrichum* y 40 para *C. pycnantha*, *S. schimpffii* y *M. aliena*, siendo el volumen de inyección 1  $\mu$ L; columna DB-5ms con flujo de 1 mL/min; programa térmico: temperatura del horno 50°C durante 10 minutos y rampa de temperatura de 2°C/min hasta 170°C y 10°C/min hasta 230°C durante 10 minutos. El tiempo total de corrida fue de 83 minutos. La temperatura del detector fue de 230°C.

### 2.6.2 Cuantificación

La cuantificación de los compuestos se realizó con el detector FID, conforme al método propuesto por Tissot y col. (2012). Para ello se calculó el factor de respuesta relativo (FRR) de cada compuesto respecto al caproato de isopropilo que se empleó como estándar de cuantificación. Los FRR se basaron en las entalpías de combustión y se determinaron con la fórmula descrita por Tissot y col. (2012). Se usó el nonano como estándar interno y el caproato de isopropilo como estándar de calibración. Se realizó la inyección de cuatro repeticiones por muestra de AE y de seis estándares con las mismas condiciones

cromatográficas. Estos estándares se prepararon pesando cantidades constantes de nonano (7,13 mg) y cantidades crecientes de caproato de isopropilo (0,6; 1,4; 4,2; 8,3; 16,4 y 33,6 mg) aforando con ciclohexano. La curva presentó un  $R^2$  de 0,9998 y la ecuación obtenida nos permitió obtener los miligramos de cada compuesto. Se consideró un límite de detección de 0,1%, calculando los porcentajes de cada componente en relación a la masa total de AE. Se calculó la media y desviación estándar para cada compuesto.

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 *Critoniopsis pycnantha*

En el aceite esencial de *C. pycnantha* se identificaron 63 compuestos, siendo los compuestos mayoritarios  $\gamma$ -muuroлено en un 34,45%, biciclogermacreno en un 12,04%, (E)-cariofileno en un 11,05%,  $\alpha$ -ylangeno en 5,37% y  $\alpha$ -humuleno en 4,68%. Estos compuestos se muestran en el cromatograma de la Figura 1 y se detallan en la Tabla 1.

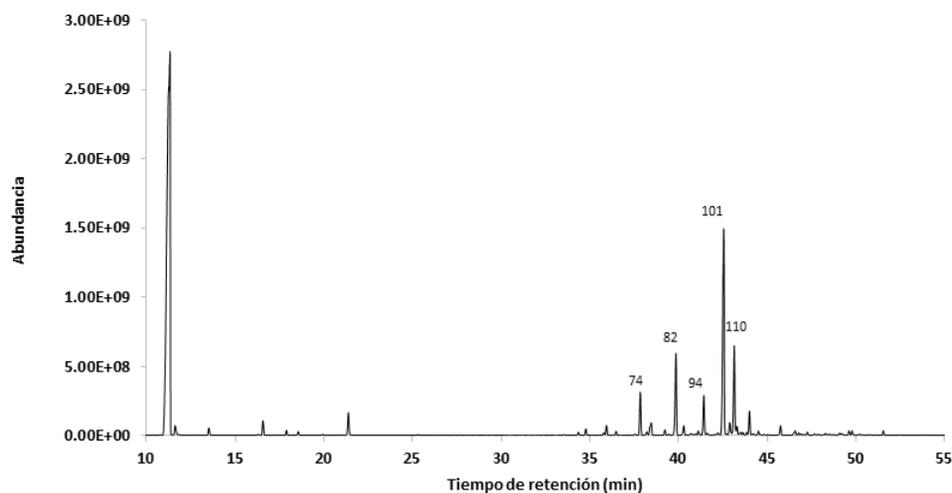


Figura 1. Cromatograma de aceite esencial de *C. pycnantha* en columna DB-5ms.

#### 3.2 *Piper macrotrichum*

En el aceite esencial de *P. macrotrichum* se determinaron 66 compuestos correspondientes al 98,71%. Se encontró como compuestos mayoritarios al  $\delta$ -3-careno (58,21%), eugenol (9,75%) y acetato de chavibetol (7,81%), evidenciándose mayor cantidad de hidrocarburos monoterpenos en un 73,92% del total. Los compuestos identificados se describen en la Tabla 1 y se pueden observar en el cromatograma de la Figura 2.

#### 3.3 *Myrcia aliena*

En el aceite esencial de *M. aliena* se identificó un total de 43 compuestos, lo cual representa el 98,92%,

siendo los compuestos mayoritarios dos monoterpenos  $\alpha$ -pineno (72,19%) y  $\beta$ -pineno (15,82%). Los compuestos se pueden visualizar en el cromatograma de la Figura 3 y se detallan en la Tabla 1.

#### 3.4 *Siparuna Schimpffii*

En el aceite esencial de *S. schimpffii* se encontraron 125 compuestos, los cuales representan el 93,65% del total. Se identificaron como compuestos mayoritarios espatulenol (12,10%), 2-undecanona (10,87%), (E)-isocroweacina (6,41%) y biciclogermacreno (5,84%), los cuales se pueden visualizar en el cromatograma de la Figura 4 y se describen en la Tabla 1.

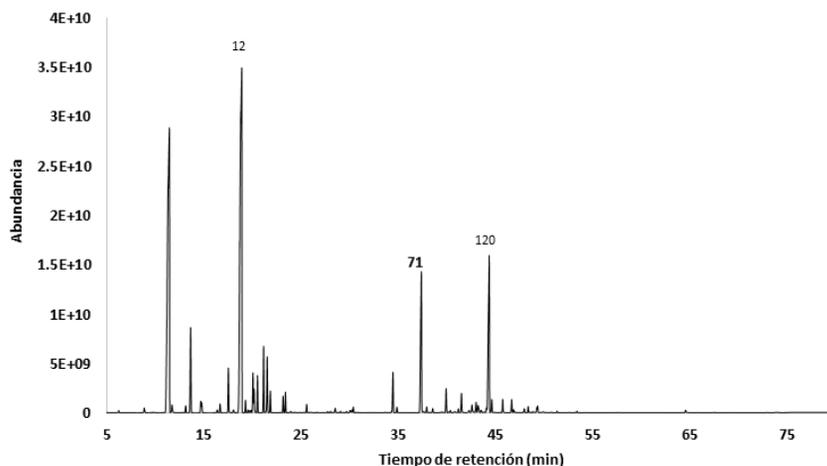


Figura 2. Cromatograma de aceite esencial de *P. macrotrichum* en columna DB-5ms.

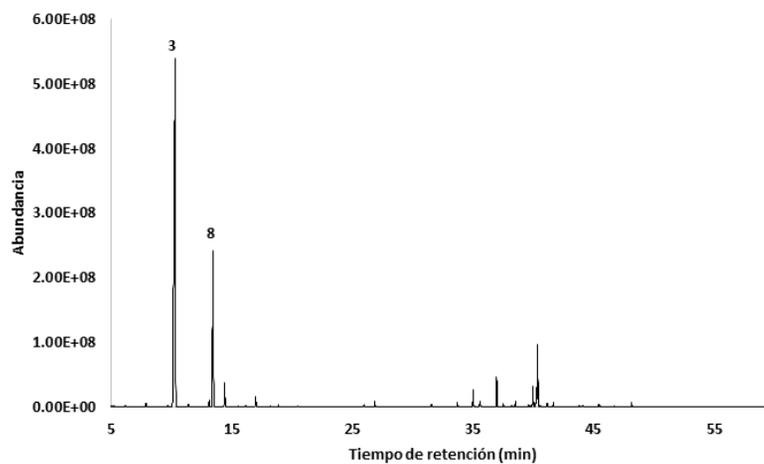


Figura 3. Cromatograma de aceite esencial de *M. aliena* en columna DB-5ms.

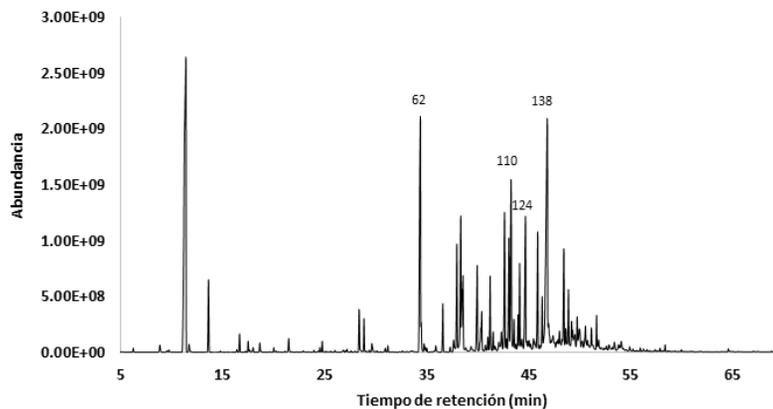


Figura 4. Cromatograma de aceite esencial de *S. schimpffii* en columna DB-5ms.

**Tabla 1.** Composición química del aceite esencial de *Critoniopsis pycnantha*, *Myrcia aliena*, *Piper macrotrichum* y *Siparuna schimpffii* en columna DB- 5ms.

**IRC:** Índice de retención calculado. **IRL:** Índice de retención de literatura. **ND:** No determinado. **PM:** Peso molecular.  $\sigma$ : Desviación estándar.

N°	Compuestos	IRC	IRL	<i>C.pycnantha</i>		<i>M.aliene</i>		<i>P. macrotrichum</i>		<i>S.schimpffii</i>	
				%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$
1	(2E,4E)- hexadienol	905	912	TRAZA	0,03	-	-	TRAZA	-	TRAZA	-
2	$\alpha$ -tujeno	928	924	-	-	TRAZA	-	0,25	0,01	2,00	0,11
3	$\alpha$ -pineno	933	932	1,08	0,03	72,19	0,21	3,21	0,1	-	-
4	$\alpha$ -fencheno	948	945	-	-	-	-	0,44	0,02	TRAZA	-
5	Canfeno	950	946	-	-	0,13	0,01	0,39	0,01	-	-
6	benzaldehído	972	952	-	-	-	-	-	-	0,06	0,01
7	Sabineno	973	969	0,14	0,01	0,48	0,02	0,10	0,01	-	-
8	$\beta$ -pineno	977	974	2,15	0,03	15,82	0,07	0,34	0,01	0,51	0,03
9	mirreno	990	988	-	-	1,60	0,03	1,60	0,05	0,32	0,01
10	2-pentil furano	990	984	-	-	-	-	-	-	0,10	0,01
11	$\delta$ -2-careno	1009	1001	-	-	TRAZA	-	-	-	-	-
12	$\delta$ -3-careno	1009	1008	0,04	0,02	TRAZA	-	58,21	1,72	0,22	0,01
13	$\alpha$ -terpineno	1017	1014	-	-	-	-	0,34	0,02	-	-
14	$\rho$ -cimeno	1023	1020	0,04	0,02	-	-	0,07	0,01	-	-
15	ND (PM 136)	1024	1025	-	-	-	-	0,14	0,01	-	-
16	o-cimeno	1027	1022	-	-	0,05	0,01	TRAZA	-	TRAZA	-
17	Limoneno	1029	1024	0,52	0,02	TRAZA	-	1,40	0,04	0,11	0,01
18	$\beta$ -felandreno	1031	1025	0,47	0,02	0,75	0,01	0,59	0,06	TRAZA	-
19	1,8-cineol	1033	1026	-	-	-	-	TRAZA	-	TRAZA	-
20	(Z)- $\beta$ -ocimeno	1037	1032	0,12	0,03	-	-	1,15	0,04	TRAZA	-
21	cis-arbusculona	1045	1046	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
22	(E)- $\beta$ -ocimeno	1048	1044	TRAZA	-	TRAZA	-	2,74	0,27	0,05	-
23	ND (PM 120)	1052	1055	4,36	0,21	-	-	-	-	0,12	-
24	ND (PM 152)	1053	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,06
25	ND (PM 150)	1054	-	-	-	-	-	1,11	0,03	-	-
26	$\gamma$ -terpineno	1057	1054	-	-	0,10	0,01	0,68	0,02	-	-
27	o- tolualdehído	1057	1062	-	-	0,26	0,08	-	-	-	-
28	(2E)-octen-1-al	1066	1049	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
29	trans-óxido de linalol (furanoide)	1073	1084	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
30	Isoterpinoleno	1082	1085	-	-	-	-	0,53	0,01	-	-
31	Terpinoleno	1086	1086	-	-	0,07	0,01	0,65	0,02	TRAZA	-
32	ND (PM 154)	1094	-	-	-	-	-	0,06	0,01	-	-
33	2-nonanona	1095	1087	-	-	-	-	TRAZA	-	TRAZA	-
34	$\alpha$ -óxido de pineno	1098	1099	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
35	n-nonanal	1110	1100	-	-	-	-	TRAZA	-	0,02	0,01
36	ND (PM 152)	1122	-	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
37	1-terpineol	1125	-	-	-	-	-	0,27	0,01	-	-
38	neo- <i>allo</i> -ocimeno	1131	1140	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
39	$\alpha$ -canfolenal	1133	1122	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
40	trans-pinocarveol	1147	1135	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
41	Nopinona	1149	1135	-	-	-	-	-	-	0,05	0,01
42	trans-verbenol	1153	1140	-	-	-	-	-	-	0,12	0,01
43	Canfor	1155	1141	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
44	cis-pinocarveol	1166	1166	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
45	1-dodeceno	1168	1187	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
46	Pinocarvona	1171	1160	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
47	$\alpha$ -felandren-8-ol	1172	1172	-	-	-	-	0,05	0,01	-	-
48	n-nonanol	1178	1165	-	-	-	-	-	-	0,95	0,28
49	Borneol	1179	-	-	-	TRAZA	-	-	-	-	-
50	ácido octanoico	1184	1167	-	-	-	-	-	-	0,95	0,04
51	4-terpineol	1186	1174	-	-	0,17	0,01	-	-	-	-
52	$\rho$ -cimen-8-ol	1197	1197	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
53	$\alpha$ -terpineol	1203	1186	-	-	0,33	0,01	-	-	0,22	0,09
54	ND (PM152)	1203	-	-	-	-	-	0,06	0,01	-	-
55	Safranal	1209	1197	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
56	ND (PM 204)	1211	-	-	-	-	-	0,08	0,01	-	-

Continúa en la siguiente página

Tabla 1 – Continuación de la página anterior

Nº	Compuestos	IRC	IRL	<i>C.pycnantha</i>		<i>M.aliens</i>		<i>P.macrotichum</i>		<i>S.schimpffii</i>	
				%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$
57	n-decanal	1212	1201	-	-	-	-	TRAZA	-	TRAZA	-
58	acetato de octanol	1215	1211	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
59	Verbenona	1219	1204	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
60	$\beta$ -ciclocitral	1223	1217	-	-	-	-	0,28	0,02	0,13	0,01
61	ND (PM 164)	1234	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,01
62	2-undecanona	1298	1293	1,01	0,03	0,06	0,02	-	-	10,87	0,4
63	Safrol	1299	1285	-	-	-	-	TRAZA	-	0,17	0,17
64	(Z)-cinamato de metilo	1301	1299	-	-	-	-	1,61	0,06	-	-
65	1-trideceno	1307	1290	-	-	-	-	-	-	0,13	0,01
66	(3E)-tiglato de hexenilo	1310	1315	-	-	-	-	0,22	0,01	0,13	0,02
67	n-acetato de nonilo	1313	1311	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
68	neo iso-acetato de isopulegol	1328	1312	0,37	0,05	-	-	-	-	-	-
69	$\delta$ -elemeno	1332	1335	0,37	0,05	-	-	-	-	TRAZA	-
70	$\alpha$ -cubebeno	1346	1348	0,49	0,04	0,16	0,01	-	-	0,97	0,03
71	Eugenol	1363	1356	-	-	-	-	9,75	0,36	0,11	0,02
72	Ciclosativeno	1368	1369	0,14	0,02	TRAZA	-	-	-	-	-
73	Isoleno	1371	1374	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
74	$\alpha$ -ylangeno	1373	1373	5,37	0,09	0,58	0,01	-	-	TRAZA	-
75	$\alpha$ -copaeno	1377	1374	-	-	-	-	0,19	0,01	3,54	0,31
76	$\beta$ -borboneno	1383	1387	0,34	0,03	-	-	-	-	2,87	0,08
77	$\beta$ -cubebeno	1387	1387	1,33	0,03	0,18	0,04	-	-	0,46	0,46
78	$\beta$ -elemeno	1389	1389	-	-	-	-	0,10	0,01	1,01	0,43
79	$\alpha$ -gurjuneno	1404	1409	0,71	0,02	-	-	-	-	-	-
80	ND (PM 204)	1408	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,01
81	cis- $\alpha$ -bergamoteno	1410	1411	0,14	0,01	-	-	-	-	-	-
82	(E)-cariofileno	1420	1417	11,05	0,19	1,28	0,02	-	-	-	-
83	(Z)-cariofileno	1422	1408	-	-	-	-	0,85	0,03	2,59	0,06
84	(E)- $\alpha$ -ionona	1428	1428	-	-	-	-	0,06	0,01	0,93	0,12
85	ND (PM 204)	1429	-	0,70	0,02	-	-	-	-	-	-
86	$\gamma$ -elemeno	1431	1434	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
87	$\beta$ -gurjuneno	1432	1431	-	-	-	-	-	-	0,16	0,07
88	$\alpha$ -trans-bergamoteno	1433	1432	-	-	0,13	0,01	-	-	-	-
89	Aromadendreno	1437	1439	0,15	0,02	-	-	-	-	0,10	0,02
90	ND (PM 204)	1438	-	0,09	0,03	-	-	-	-	-	-
91	ND (PM 204)	1447	1458	-	-	-	-	-	-	0,29	0,02
92	(Z)- $\beta$ -farneseno	1449	1440	0,32	0,02	-	-	-	-	-	-
93	Sesquisabineno	1453	1457	-	-	TRAZA	-	-	-	1,23	0,03
94	$\alpha$ -humuleno	1457	1452	4,68	0,07	-	-	-	-	0,38	0,01
95	isovalerato de linalol	1457	1466	-	-	0,20	0,11	-	-	-	-
96	ND (220)	1459	-	-	-	-	-	0,48	0,21	-	-
97	ND (PM 222)	1460	1458	0,11	0,03	-	-	-	-	-	-
98	allo-aromadendreno	1463	1458	TRAZA	-	-	-	-	-	0,08	0,03
99	cis-cadina 1(6).4-dieno	1464	1461	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
100	(E)-9-epi-cariofileno	1474	1464	0,34	0,03	-	-	-	-	0,14	0,02
101	$\gamma$ -muuroleno	1480	1478	34,45	0,6	-	-	0,22	0,24	0,36	0,06
102	trans-cadina 1(6).4-dieno	1483	1475	-	-	0,13	0,01	-	-	-	-
103	germacreno D	1485	1480	-	-	-	-	-	-	3,52	0,12
104	trans-muurola 4(14).5-dieno	1485	1493	-	-	-	-	0,20	0,09	-	-
105	$\delta$ -selineno	1487	1492	TRAZA	-	-	-	-	-	-	-
106	ND (PM 204)	1490	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,03
107	$\beta$ -selineno	1491	1489	1,62	0,2	0,68	0,02	-	-	-	-
108	2-tridecanona	1495	1500	-	-	TRAZA	-	-	-	-	-
109	$\alpha$ -selineno	1499	1498	-	-	2,89	0,09	-	-	-	-
110	Biclogermacreno	1499	1500	12,04	0,28	-	-	0,31	0,04	5,84	0,45
111	$\alpha$ -muroleno	1502	1500	-	-	-	-	0,33	0,02	-	-
112	(E,E)- $\alpha$ -farneseno	1502	1505	0,83	0,05	-	-	-	-	2,05	0,03
113	$\beta$ -bisaboleno	1506	1505	0,83	0,05	-	-	-	-	-	-
114	Miristicina	1507	1517	-	-	TRAZA	-	TRAZA	-	TRAZA	-
115	germacreno A	1509	1508	0,55	0,04	-	-	-	-	-	-
116	ND (PM 204)	1512	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,01
117	$\gamma$ -cadineno	1517	1513	-	-	-	-	-	-	0,13	0,01

Continúa en la siguiente página

Tabla 1 – Continuación de la página anterior

N°	Compuestos	IRC	IRL	<i>C.pycnantha</i>		<i>M.aliens</i>		<i>P. macrotrichum</i>		<i>S.schimpffii</i>	
				%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$
118	$\delta$ -amorfeno	1518	1511	2,77	0,04	-	-	-	-	-	-
119	$\delta$ -cadineno	1521	1522	-	-	0,12	0,01	TRAZA	-	0,82	0,02
120	acetato de chavibetol	1526	-	-	-	-	-	7,81	3,19	-	-
121	<i>cis</i> -calameneno	1527	1528	-	-	-	-	-	-	1,54	0,13
122	( <i>Z</i> )-carpacina	1531	1540	0,19	0,02	-	-	-	-	-	-
123	<i>trans</i> -cadina-1.4-dieno	1534	1533	0,13	0,01	-	-	-	-	-	-
124	( <i>E</i> )-isocroweacina	1534	1553	-	-	0,15	0,01	0,63	0,03	6,41	1,19
125	ND (PM 222)	1538	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,04
126	$\alpha$ -cadineno	1540	1537	0,06	0,04	-	-	-	-	0,29	0,01
127	( <i>Z</i> )-nerolidol	1544	1531	-	-	-	-	-	-	0,37	0,01
128	selina 3.7(11)-dieno	1546	1545	-	-	-	-	-	-	0,13	0,01
129	$\alpha$ -calacoreno	1548	1544	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
130	Hediciariol	1555	1546	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
131	Elemicina	1558	1555	-	-	-	-	-	-	0,17	0,03
132	ND (PM 220)	1560	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,01
133	( <i>E</i> )-nerolidol	1563	1561	-	-	-	-	0,30	0,18	-	-
134	germacreno B	1564	1559	1,35	0,03	-	-	-	-	3,07	0,06
135	( <i>Z</i> )-acetato de isoeugenol	1565	1566	-	-	-	-	0,12	0,22	-	-
136	ND (PM 218)	1573	1573	-	-	-	-	-	-	1,86	0,79
137	ND (PM 220)	1576	1576	-	-	-	-	-	-	5,57	0,48
138	Espatuleno	1585	1577	0,75	0,06	-	-	-	-	12,10	1,33
139	óxido de cariofileno	1589	1582	0,20	0,03	TRAZA	-	0,10	0,03	-	-
140	ND (PM 220)	1592	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,28
141	Guaiol	1600	1600	0,39	0,03	-	-	-	-	-	-
142	ND (PM 238)	1603	-	0,06	0,01	-	-	0,09	0,01	-	-
143	ND (PM 222)	1603	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,01
144	ND (PM 220)	1608	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,04
145	Ledol	1610	1602	0,14	0,03	-	-	-	-	-	-
146	$\beta$ -oplopenona	1612	-	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
147	ND (PM 220)	1616	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,2
148	epóxido de humuleno II	1616	1607	0,07	0,01	-	-	-	-	-	-
149	( <i>E</i> )-acetato de isoeugenol	1619	1614	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
150	ND (PM 220)	1621	-	-	-	-	-	-	-	0,46	0,02
151	dill apiol	1630	1620	0,23	0,03	0,11	0,01	0,20	0,01	3,21	0,05
152	1- <i>epi</i> -cubenol	1634	1627	0,15	0,03	TRAZA	-	-	-	-	-
153	ND (PM 222)	1637	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,04
154	epoxide <i>allo</i> -aromadendreno	1644	1639	0,12	0,02	-	-	-	-	0,80	0,16
155	ND (PM 220)	1644	-	-	-	-	-	-	-	1,58	0,02
156	ND (PM 220)	1647	-	-	-	0,05	0,01	-	-	-	-
157	$\beta$ -eudesmol	1649	1649	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
158	Cubenol	1650	1645	-	-	TRAZA	-	-	-	-	-
159	<i>epi</i> - $\alpha$ -cadinol	1653	1638	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
160	$\alpha$ -muurolol (torreyol)	1648	1644	0,38	0,12	-	-	-	-	-	-
161	ND (PM 204)	1653	-	0,38	0,12	-	-	-	-	-	-
162	<i>epi</i> - $\alpha$ -muurolol	1655	1640	0,38	0,12	-	-	-	-	0,24	0,15
163	( <i>Z</i> )-14- <i>hidroxy</i> -cariofileno	1656	1666	0,38	0,12	-	-	-	-	-	-
164	ND (PM 220)	1658	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,15
165	$\alpha$ -cadinol	1659	1652	0,44	0,12	TRAZA	-	0,15	0,01	0,81	0,16
166	neo-intermedeol	1668	1658	0,41	0,11	TRAZA	-	-	-	-	-
167	ND (PM 238)	1673	-	-	-	-	-	0,05	0,01	-	-
168	ND (PM 220)	1673	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,07
169	ND (PM 220)	1678	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,03
170	ND (PM 220)	1681	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,04
171	ND (PM 220)	1689	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,23
172	ND (PM 222)	1698	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,01
173	2-pentadecanona	1704	1697	-	-	0,20	0,01	-	-	-	-
174	ND (PM 220)	1705	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,06
175	ND (PM 220)	1710	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,08
176	( <i>2E</i> )-acetato de tridecenol	1714	1703	0,45	0,01	-	-	-	-	-	-
177	ND (PM 218)	1719	-	-	-	-	-	-	-	2,13	0,08
178	ND (PM 220)	1725	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,03

Continúa en la siguiente página

Tabla 1 – Continuación de la página anterior

Nº	Compuestos	IRC	IRL	<i>C.pycnantha</i>		<i>M.aliens</i>		<i>P.macrotrichum</i>		<i>S.schimpffii</i>	
				%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$	%	$\sigma$
179	ND (PM 220)	1735	-	-	-	-	-	-	-	0,10	0,01
180	ND (PM 220)	1741	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,02
181	Isobicyclogermacrenal	1747	1733	-	-	-	-	-	-	0,17	0,05
182	ND (PM 220)	1753	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,06
183	ND (PM 220)	1760	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06
184	ND (PM 220)	1762	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,06
185	ND (PM 220)	1768	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,07
186	15-al $\gamma$ -curcumeno	1777	1766	-	-	-	-	-	-	0,13	0,02
187	14-hydroxy- $\alpha$ -muroleño	1787	1779	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
188	14-hydroxy- $\delta$ -cadineno	1810	1803	-	-	-	-	-	-	0,05	0,01
189	ND (PM 222)	1820	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,01
190	ND (PM 262)	1887	-	0,12	0,02	-	-	-	-	-	-
191	ND (PM 268)	1891	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,01
192	(5Z,9E)-farnesil acetona	1912	1889	-	-	-	-	-	-	0,12	0,01
193	hexadecanoato de metilo	1927	1921	-	-	-	-	TRAZA	-	-	-
194	Fitol	1942	1942	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
195	ND (PM 268)	1963	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,01
196	(6E,10Z)-pseudofitol	2024	2018	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
197	ND (PM 316)	2031	-	-	-	0,06	0,1	-	-	-	-
198	ND (PM 300)	2097	-	0,19	0,04	-	-	-	-	-	-
199	ND (PM 222)	2101	-	-	-	-	-	0,07	0,04	-	-
200	ND (PM 328)	2106	-	0,54	0,02	-	-	-	-	-	-
201	ND (PM 296)	2108	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,01
202	ácido oleico	2125	2141	-	-	-	-	-	-	TRAZA	-
203	ND (PM 300)	2188	-	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-
<b>Hidrocarburos monoterpenos</b>				4,58		91,19		73,92		3,24	
<b>Monoterpenos oxigenados</b>				1,01		0,56		12,19		12,29	
<b>Hidrocarburos sesquiterpenos</b>				80,12		6,14		2,72		32,02	
<b>Sesquiterpenos oxigenados</b>				3,68		0,45		0,76		29,32	
<b>Otros</b>				5,56		0,58		9,12		16,77	
<b>TOTAL (%)</b>				94,94		98,92		98,71		93,65	

En este estudio se evidenció que el aceite esencial de *C. pycnantha* está compuesto principalmente por sesquiterpenos, los cuales representan el 80,12% del total de su composición. Tran y Cramer (2014) describen a los terpenos en general como compuestos con gran importancia económica al ser empleados como aromas, saborizantes, especias y fármacos, y ayudan a las especies vegetales atrayendo a los polinizadores (Xu y col., 2017). Los sesquiterpenos son compuestos con actividad antitumoral, antimicrobiana y con efectos sobre el sistema nervioso central de acuerdo a lo referido por Sá, Andrade y De Sousa (2015), quien menciona además que los compuestos mayoritarios son los que por lo general establecen la actividad biológica de un aceite esencial. Dentro de los compuestos mayoritarios se encontró al (E)-cariofileno (11%). Shan, Chen y Lu (2016) lo mencionan como uno de los sesquiterpenos más importantes por poseer propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y acción anestésica local. (E)-cariofileno es empleado también en la industria alimentaria y cosmética como aroma (Montanari

y col., 2011).

En relación a especies del género *Myrcia*, Moraes y col. (2022) y De Cerqueira y col. (2007) mencionan que los aceites esenciales de las hojas de *Myrcia paivae* O.Berg y *Myrcia myrtifolia* DC son aceites ricos en monoterpenos con 77,0% y 94,1% del total de su composición, lo cual se observó en el aceite esencial de la especie *M. aliens*, donde se determinó el 91,19% de estos compuestos. Además, Moraes y col. (2022) y De Cerqueira y col. (2007) describen al  $\alpha$ -pineno como uno de los compuestos mayoritarios con 6,39% en el AE de *Myrcia paivae* O.Berg y en un porcentaje del 61,5 al 90,9% en los aceites esenciales de las hojas, flores y frutos de *Myrcia myrtifolia* DC. En nuestro estudio el  $\alpha$ -pineno se encontró en un 72,2% y el  $\beta$ -pineno en un 15,8%. Ambos compuestos también se describen como mayoritarios en el AE de la especie *Myrcia mollis*, en la cual se encontraron en 29,2% el  $\alpha$ -pineno y 31,3% el  $\beta$ -pineno (Montalván y col., 2019). Los monoterpenos brindan protección a las especies vegetales contra insectos, herbívoros, y mamíferos y tienen funciones

alelopáticas al bloquear la germinación de semillas (Thoss, OâReilly-Wapstra y Iason, 2007). Los monoterpenos  $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno son isómeros estructurales comúnmente encontrados en los aceites esenciales. Presentan actividad antiviral, antifúngica, antimicrobiana, acción anticancerígena, antiespasmódica, antipalúdica, antiinflamatoria y antioxidante (Zielińska-Błajet y Feder-Kubis, 2020). Además, el  $\alpha$ -pineno y  $\beta$ -pineno actúan como agentes bacteriostáticos y fungistáticos (Talebi-Kouyakh, Naghavi y Alayhs, 2008).

Navickiene y col. (2006) menciona que los aceites esenciales de hojas, tallos y frutos de las especies *Piper aduncum*, *Piper arboreum* y *Piper tuberculatum* comparten ciertos compuestos en común, los cuales son  $\alpha$ -pineno, limoneno, mirceno, (E)-ocimeno, (Z)-ocimeno y linalool. En el aceite esencial de *Piper macrotrichum* se encontraron también estos compuestos a excepción del linalool. Y se determinaron como compuestos mayoritarios  $\delta$ -3-careno (58,21%), eugenol (9,75%) y acetato de chavibetol (7,81%), de los cuales el eugenol fue encontrado como mayoritario del AE de hojas de *Piper divaricatum* con 37,5%, y el  $\delta$ -3-careno con 9,6% y 35,3% en el AE de las hojas de *Piper* aff. *Hispidum* y *Piper sanctifelicis*, respectivamente (Jaramillo-Colorado, Pino-Benitez y González-Coloma, 2019). El  $\delta$ -3-careno además es uno de los principales compuestos del AE de *Piper nigrum* con 14,4%. Arunachalam et al. (2023) describe para el eugenol y linalool actividad anticonvulsiva, mientras que Woo y col. (2019) menciona al  $\delta$ -3-careno como un compuesto utilizado en perfumería y cosmética, además de presentar actividad antifúngica, antiinflamatoria y sedante.

Noriega-Rivera, Guerrini y Ankuash-Tsamara (2014) reportan como compuestos mayoritarios del aceite esencial de *Siparuna schimpffii* al germacreno D (35,34%), bicilogermacreno (8,73%),  $\gamma$ -muuruleno (7,04%), germacreno B (6,34%) y cadina-1(2), 4-dieno trans (5,16%), de los cuales solo el bicilogermacreno (5,8%) se determinó como uno de los mayoritarios en el aceite esencial analizado de *S. schimpffii*, juntamente con espatulenol (12,10%), 2-undecanona (10,87%) y (E)-isocroweacina (6,41%). No obstante, se puede observar que en ambos aceites esenciales la composición mayoritaria corresponde a los hidrocarburos sesquiterpenos. Conforme a lo descrito por Durán y col. (2007), Ruiz, Díaz y Rojas (2015) y Silva y col. (2021), las diferencias en la composición de los acei-

tes esenciales pueden deberse a diversos factores bióticos y abióticos como la presencia o ausencia de plagas, lugar de recolección, tipo de suelo, cantidad de humedad y luz, así como las condiciones climáticas en las que se desarrollan las especies. El espatulenol presenta acción antimicobacteriana moderada (Do Nascimento y col., 2018). Silva y col. (2007) menciona actividad antimicrobiana para el bicilogermacreno y actividad fungitóxica para el germacreno B; Xu y col. (2017) detalla algunas funciones del bicilogermacreno, entre estas su actividad antioxidante, fungistática, citotóxica, alelopática e inhibidor de la enzima acetilcolinesterasa. Noriega-Rivera, Guerrini y Ankuash-Tsamara (2014) expresan también que *S. schimpffii* es empleada por las comunidades Shuar del Ecuador como un analgésico.

## 4 Conclusiones

Se logró determinar la composición química de los aceites esenciales de las especies amazónicas *C. pycnantha*, *M. aliena*, *P. macrotrichum* y *S. schimpffii*. Se evidenció mayor concentración de monoterpenos en los AE de *M. aliena* y *P. macrotrichum* y mayor contenido en sesquiterpenos en los AE de *C. pycnantha* y *S. schimpffii*. Además, se identificaron los compuestos mayoritarios de cada aceite esencial y se describieron bibliográficamente algunas de sus funciones, redireccionando futuros estudios y aplicaciones que los pobladores de Antuash puedan dar a estas especies.

## Agradecimientos

Agradecemos a los ministerios de Agricultura (MAG), de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), y al programa PROAmazonía, que juntamente con la Universidad Técnica Particular de Loja posibilitaron el acceso a las muestras de las especies amazónicas seleccionadas para el presente estudio, con el único fin de aportar información valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones que se les pueda brindar a los aceites esenciales de dichas especies.

## Referencias

- Adams, R. (2017). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*. Texensis Publishing.
- Aguirre-Mendoza, Z., N. Aguirre-Mendoza y J. Muñoz (2017). «Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador». En: *Arnaldoa* 24.2, 523-542. Online:https://n9.cl/6fhn5.
- Camus, J. y M. Trujillo (2011). «Contribucion a la quimica de los aceites esenciales provenientes del oregano». En: *Revista Boliviana de Química* 28.1, 1-5. Online:https://n9.cl/ay9ke.
- De Cerqueira, M. y col. (2007). «Seasonal variation and antimicrobial activity of Myrcia myrtifolia essential oils». En: *Journal of the Brazilian Chemical Society* 18, 998-1003. Online:https://n9.cl/rnkxv.
- Do Nascimento, K. y col. (2018). «Antioxidant, anti-inflammatory, antiproliferative and antimycobacterial activities of the essential oil of Psidium guineense Sw. and spathulenol». En: *Journal of ethnopharmacology* 210, 351-358. Online:https://n9.cl/rju7y.
- Durán, D. y col. (2007). «Estudio comparativo de la composición química de aceites esenciales de Lippia alba provenientes de diferentes regiones de Colombia, y efecto del tiempo de destilación sobre la composición del aceite». En: *Scientia et Technica* 13.33, 435-438. Online:https://n9.cl/eawn4.
- Ferreira-Silva, I., R. Oliveira y F. Oliveira (2021). «Siparuna Aublet genus (Siparunaceae): from folk medicine to chemical composition and biological activity». En: *Trends in Phytochemical Research* 5.4, 168-189. Online:https://n9.cl/1ycn2.
- Jaramillo-Colorado, B., N. Pino-Benitez y A. González-Coloma (2019). «Volatile composition and biocidal (antifeedant and phytotoxic) activity of the essential oils of four Piperaceae species from Chocó-Colombia». En: *Industrial Crops and Products* 138, 111463. Online:https://n9.cl/k4jfs.
- León-Méndez, G., M. Osorio-Fortich y S. Martínez-Useche (2015). «Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de C. itrus sinensis L». En: *Revista Cubana de Farmacia* 49.4, 742-750. Online:https://n9.cl/gw4c1.
- Missouri Botanical Garden (2022). *Tropicos*.
- Montalván, M. y col. (2019). «Chemical composition, enantiomeric distribution, and sensory evaluation of the essential oils distilled from the Ecuadorian species Myrcianthes myrsinoides (Kunth) Grifo and Myrcia mollis (Kunth) dc.(Myrtaceae)». En: *Plants* 8.11, 511. Online:https://n9.cl/gi23y.
- Montanari, R. y col. (2011). «Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from Verbenaceae species: Alternative sources of (E)-caryophyllene and germacrene-D». En: *Química Nova* 34.9, 1550-1555. Online:https://n9.cl/hmpe3.
- Moraes Â. Pereira-Franco, C. Barbosa de y col. (2022). «Myrcia paivae O. Berg (Myrtaceae) Essential oil, first study of the chemical composition and antioxidant potential». En: *Molecules* 27.17, 5460. Online:https://n9.cl/b8sece.
- Navickiene, H. y col. (2006). «Composition and antifungal activity of essential oils from Piper aduncum, Piper arboreum and Piper tuberculatum». En: *Química Nova* 29, 467-470. Online:https://n9.cl/97key.
- Noriega-Rivera, P. (2009). «Extracción, química, actividad biológica, control de calidad y potencial económico de los aceites esenciales». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 10.2, 3-15. Online:https://n9.cl/h87yx.
- Noriega-Rivera, P., A. Guerrini y E. Ankuash-Tsamara (2014). «Composición química del aceite esencial de hojas de Siparuna schimpffii Diels (limoncillo)». En: *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 19.2, 128-137. Online:https://n9.cl/ehm63.
- Ochoa-Pumaylle, K. y col. (2012). «Extraction, characterization and evaluation of antibacterial activity of essential oil of Senecio graveolens Wedd (Wiskataya)». En: *Scientia agropecuaria* 3.4, 291-302. Online:https://n9.cl/v11bg.
- Ruiz, C., C. Díaz y R. Rojas (2015). «Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas». En: *Revista de la Sociedad Química del Perú* 81.2, 81-94. Online:https://n9.cl/n5wj4.
- Sá, R. Da Silveira e, L. Andrade y D. De Sousa (2015). «Sesquiterpenes from essential oils and anti-inflammatory activity». En: *Natural product communications* 10.10, 1767-1774. Online:https://n9.cl/at83u.
- Shan, J., L. Chen y K. Lu (2016). «Protective effects of trans-caryophyllene on maintaining osteoblast function». En: *IUBMB life* 69.1, 22-29. Online:https://n9.cl/469kt.
- Silva, L. da y col. (2007). «Biciclogermacreno, resveratrol e atividade antifúngica em extratos de folhas de Cistus verticillata (L.) Nicolson & Jarvis (Vitaceae)». En: *Revista Brasileira de Farmacognosia* 17, 361-367. Online:https://n9.cl/v46dx.
- Silva, R. y col. (2021). «Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from Psidium species and their biological properties». En: *Molecules* 26.4, 965. Online:https://n9.cl/q0tk3.
- Talebi-Kouyakh, E., M. Naghavi y M. Alayhs (2008). «Study of the essential oil variation of Ferula gummosa samples from Iran». En: *Chemistry of Natural Compounds* 44, 124-126. Online:https://n9.cl/zbkfo.
- Thoss, V., J. OâReilly-Wapstra y G. Iason (2007). «Assessment and implications of intraspecific and phenological variability in monoterpenes of Scots pine (Pinus sylvestris) foliage». En: *Journal of Chemical Ecology* 33, 477-491. Online:https://n9.cl/wspe8.
- Tissot, E. y col. (2012). «Rapid GC-FID quantification technique without authentic samples using predicted res-

- ponse factors». En: *Flavour and fragrance journal* 27.4, 290-296. Online:<https://n9.cl/i0xyru>.
- Torre, L.a De la y col. (2008). *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Tran, D. y N. Cramer (2014). «Biomimetic Synthesis of (+)-Ledene,(+)-Viridiflorol,(-)-Palustrol,(+)-Spathulenol, and Psiguadial A, C, and D via the Platform Terpene (+)-Bicyclogermacrene». En: *Chemistry-A European Journal* 20.34, 10654-10660. Online:<https://n9.cl/zru25n>.
- Van Den Dool, H. y P. Dec Kratz (1963). «A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography». En: *Journal of chromatography* 11, 463-471. Online:<https://n9.cl/ohxwg>.
- Woo, J. y col. (2019). «3-Carene, a phytoncide from pine tree has a sleep-enhancing effect by targeting the GABAA-benzodiazepine receptors». En: *Experimental neurobiology* 28.5, 593-601. Online:<https://n9.cl/ijwxu>.
- Xu, Y. y col. (2017). «Citrus CmTPS1 is associated with formation of sesquiterpene bicyclogermacrene». En: *Scientia Horticulturae* 226, 133-140. Online:<https://n9.cl/art13>.
- Zielińska-Blajet, M. y J. Feder-Kubis (2020). «Monoterpenes and their derivatives—Recent development in biological and medical applications». En: *International Journal of Molecular Sciences* 21.19, 7078. Online:<https://n9.cl/pr456k>.



## CONTENIDO DE CLOROFILA EN HOJAS DE PAPAS DE ALTURA PARA ESTIMAR LA CALIDAD DE LOS TUBÉRCULOS

### CHLOROPHYLL CONTENT IN LEAVES OF HIGHLAND POTATOES FOR ESTIMATING TUBERS QUALITY

Sebastián Yáñez-Segovia<sup>\*1,2</sup>, Leticia Silvestre<sup>3</sup>, e Ignacio Chamorro-  
Warnken<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Quito, 170129, Ecuador.

<sup>2</sup>Centro de Ecología Molecular y Funcional (CEMF), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Casilla 747, Talca, Chile.

<sup>3</sup>Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

<sup>4</sup>School of Agriculture, Policy Development, University of Reading, UK.

\*Autor para correspondencia: [sgyanez@uce.edu.ec](mailto:sgyanez@uce.edu.ec)

Manuscrito recibido el 05 de mayo de 2022. Aceptado, tras revisión, el 24 de julio de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

#### Resumen

En este estudio se evaluó la relación de la calidad de tubérculos de tres variedades de papa (INIAP Libertad, INIAP Josefina y Diacol Capiro) del Altiplano ecuatoriano y dos formulaciones de fertilizante de fuentes edáficas. El contenido de clorofila foliar (CCF) se evaluó con el medidor de clorofila SPAD-502Plus. Las muestras se tomaron a diferentes alturas en tres etapas fenológicas: crecimiento vegetativo, floración-formación de tubérculos y maduración-espesamiento. Se encontraron varias respuestas en las tres variedades de papa. El valor de SPAD y peso de tubérculos ( $W$ ), materia seca ( $MS$ ), densidad específica ( $GS$ ) y buenas papas ( $GC$ ) se correlacionaron significativamente con el contenido de clorofila en las hojas de papa. Para la variedad y formulación Libertad ( $KNO_3 + NH_4H_2PO_4 + KCl$ ), en el crecimiento vegetativo en estratos superiores de la planta, la función matemática óptima para SPAD y  $W$ ,  $DM$ ,  $SG$  y  $GC$  fueron:  $y = 0,262x - 9,460$  ( $R^2 = 0,9938$ ),  $y = 42,948e^{-0,01x}$  ( $R^2 = 0,5240$ ),  $y = 10^{0,13}x^{-0,05}$  ( $R^2 = 0,3277$ ) e  $y = 10^{-0,36}x^{1,41}$  ( $R^2 = 0,8681$ ); en la etapa de floración-formación de la planta de tubérculo los modelos de función óptima fueron:  $y = 10^{-1,57}x^{1,06}$  ( $R^2 = 0,8553$ ),  $y = 28,789e^{-0,0024x}$  ( $R^2 = 0,9103$ ),  $y = 10^{0,07}x^{-0,02}$  ( $R^2 = 0,7543$ ) e  $y = 0,468x + 64,361$  ( $R^2 = 0,9935$ ); en la maduración-espesamiento de las plantas, los modelos de función óptima fueron:  $y = 0,664e^{0,02x}$  ( $R^2 = 0,7924$ ),  $y = 29,370e^{-0,003x}$  ( $R^2 = 0,9572$ ),  $y = 10^{0,07}x^{-0,02}$  ( $R^2 = 0,8247$ ) y  $y = 0,576x + 62,675$  ( $R^2 = 0,9690$ ), respectivamente. Los resultados mostraron que el uso de SPAD-520PLUS demostró ser un método rápido para determinar CCF como una herramienta efectiva para estimar la calidad del tubérculo de papa.

**Palabras clave:** Análisis de correlación, tierras altas del Ecuador, fotosíntesis, *Solanum tuberosum*, SPAD-502 plus<sup>®</sup>.

### Abstract

In this study, we assessed the relationship between tubers quality of three varieties (INIAP Libertad, INIAP Josefina and Diacol Capiro) of Ecuador highland early of potato and two formulations of edaphic fertilizer sources. Leaf chlorophyll content (LCC) was evaluated with Chlorophyll Meter SPAD-502Plus. Samples were taken at different heights in three phenological stages: vegetative grow, flowering–formation of tubers and ripening-thickening. Several responses were found in the three potato varieties. Correlation between SPAD value and weight of tubers (W), dry matter (DM), specific gravity (SG) and good chips (GC) were significantly correlated with potato leaves chlorophyll content. For Libertad variety and formulation ( $\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KCl}$ ), at vegetative grow in upper strata of plant, the optimal mathematic function for SPAD value and W, DM, SG and GC were:  $y = 0.262x - 9.460$  ( $R^2 = 0.9938$ ),  $y = 42.948 e^{-0.01x}$  ( $R^2 = 0.5240$ ),  $y = 10^{0.13} x^{-0.05}$  ( $R^2 = 0.3277$ ) and  $y = 10^{-0.36} x^{1.41}$  ( $R^2 = 0.8681$ ); at plant flowering-formation of tuber stage, the optimal function models were:  $y = 10^{-1.57} x^{1.06}$  ( $R^2 = 0.8553$ ),  $y = 28.789 e^{-0.0024}$  ( $R^2 = 0.9103$ ),  $y = 10^{0.07} x^{-0.02}$  ( $R^2 = 0.7543$ ) and  $y = 0.468x + 64.361$  ( $R^2 = 0.9935$ ); at plant ripening-thickening, the optimal function models were:  $y = 0.664 e^{0.02x}$  ( $R^2 = 0.7924$ ),  $y = 29.370 e^{-0.003x}$  ( $R^2 = 0.9572$ ),  $y = 10^{0.07} x^{-0.02}$  ( $R^2 = 0.8247$ ) and  $y = 0.576x + 62.675$  ( $R^2 = 0.9690$ ), respectively. Our results showed that the use of SPAD-520PLUS proved to be a rapid method for the determination of LCC, being an effective tool for estimating potato tuber quality.

**Keywords:** Correlation analysis, Ecuador highlands, photosynthesis, *Solanum tuberosum*, SPAD-502 plus®.

---

Forma sugerida de citar: Yáñez-Segovia, S., Silvestre, L. y Chamorro- Warnken, I. (2023). Contenido de clorofila en hojas de papas de altura para estimar la calidad de los tubérculos. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 38(2):46-58. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.04>.

---

IDs Orcid:

Sebastián Yáñez-Segovia: <https://orcid.org/0000-0002-2513-3913>

Leticia Silvestre: <https://orcid.org/0000-0003-4506-2582>

Ignacio Chamorro-Warnken: <https://orcid.org/0000-0002-5104-0956>

## 1 Introducción

La clorofila es un pigmento esencial para la fotosíntesis. En consecuencia, el contenido de clorofila es el indicador principal para determinar la capacidad fotosintética y el estado sanitario de la planta (Chou y col., 2020). Para medir el contenido de clorofila foliar (CCF) generalmente se necesita extraer el tejido foliar con solventes orgánicos como acetona, etanol o *N, N*-dimetilformamida (Lan y col., 2011). Aunque este método es relativamente preciso, la extracción es laboriosa, lenta y costosa. Durante este proceso, pueden ocurrir pérdidas de pigmento a través de la extracción y dilución, lo que conduce a resultados altamente variables (Kaspary y col., 2019). Las mediciones del CCF como las realizadas con el SPAD-502 plus<sup>®</sup> (Konica Minolta, Tokio, Japón) son una herramienta de diagnóstico no destructiva, simple y portátil que mide el verdor del contenido relativo de clorofila en las hojas (Padilla y col., 2019).

Mediante la medición de la transmitancia foliar en dos bandas de longitud de onda (400-500 nm y 600-700 nm), este dispositivo cuantifica la cantidad relativa de clorofila con una lectura arbitraria (Índice de Clorofila SPAD-502 plus<sup>®</sup>) que es proporcional a la concentración de clorofila en la hoja (Sim y col., 2015), lo que supone un ahorro sustancial de tiempo y recursos. Las altas correlaciones entre el valor de SPAD 502 y el contenido de clorofila foliar se han observado en especies de arroz (Yuan y col., 2016), soja (Kühling y col., 2018), trigo (Yue y col., 2019), melón (Azia y Stewart, 2001), maíz (Casa y col., 2015), café (Netto y col., 2005) y tomate (Padilla y col., 2018), mientras que la correlación en papa fue comparativamente baja (Uddling y col., 2007). Se presentaron relaciones matemáticas entre las lecturas de SPAD-502 plus<sup>®</sup> y las lecturas de clorofila foliar con plantas en etapas de crecimiento (Yuan y col., 2016; Roslan y col., 2019), condiciones de crecimiento (Giletto y Echeverría, 2013; Kühling y col., 2018) y genotipo (Noulas y col., 2018).

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un importante cultivo para la nutrición humana junto con el trigo y el arroz (De Jong, 2016). La papa tiene mejor rendimiento en climas fríos, pero los suelos elevados reducen su rendimiento (Zommick y col., 2014). Desde la década de 1950, se han seleccionado las papas fritas por su alto contenido de materia se-

ca y por su capacidad para producir papas de color claro (Lulai y Orr, 1979). El contenido de materia seca (MS) del tubérculo, que consiste principalmente en almidón, también disminuye cuando la papa se cultiva en niveles superiores al óptimo (Raymundo y col., 2018). El alto contenido de materia seca del tubérculo es beneficioso porque reduce la absorción de aceite durante la fritura y la cocción, y mejora la obtención de mejores papas fritas (Camps y Camps, 2019). Nissen (1955) analizó los datos recopilados de aproximadamente 18 años y concluyó que el contenido de MS de las papas es una función lineal de su peso en agua y no depende de la gravedad específica (SG) del tubérculo. Los azúcares reductores, glucosa y fructosa se acumulan después de la cosecha como resultado de la hidrólisis de la sacarosa con una fuerte relación negativa de la actividad de la invertasa ácida vacuolar, estos azúcares reaccionan con grupos amino en la reacción no enzimática de Maillard para producir pigmentos de color oscuro durante la fritura de las papas (Wiberley-Bradford y Bethke, 2018). Los tubérculos de baja calidad producen papas fritas de mala calidad que pueden ser rechazadas en plantas de producción, lo que representa un riesgo financiero para los productores y pueden provocar problemas en el suministro (Busse, Wiberley-Bradford y Bethke, 2019).

Las correlaciones matemáticas entre el valor de SPAD y el rendimiento y la calidad de los tubérculos pueden ser importantes para optimizar las interpretaciones de los datos del medidor de clorofila. Este estudio se realizó para determinar si se encontró una correlación de CCF (valor SPAD) de tres variedades de papa con diferentes fuentes de fertilización. Se utilizó la información para construir una función matemática que describiera la relación entre CCF de diferentes etapas de la planta y la calidad de los tubérculos con el fin de optimizar un modelo para proporcionar un método más preciso, confiable y fácil para estimar la calidad de los tubérculos en el proceso industrial.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Material vegetal y condiciones de crecimiento

Se usaron las variedades comerciales de papa (V), incluyendo INIAP Libertad (v1) (cruce 380479.15 x

Bk Precoz-84), INIAP Josefina (v2) (cruce entre la variedad Bolona con un híbrido de *S. phureja* y *S. pausissectum*) y Diacol Capiro (v3) (cruce con Tiquerreña (CCC 61) x 1967 (C) (9) (CCC751), de la colección de germoplasma del Centro Internacional de Papa - Quito. De igual forma, se utilizaron dos formulaciones de fertilizantes edáficos (F). La composición de las formulaciones fue la siguiente: (f1:23-24-45) y (f2: 20-31-40) con las fuentes:  $\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (MAP) +  $\text{KCl}$  (MOP) and  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{MAP} + \text{K}_2\text{SO}_4$  (SOP) respectivamente. La primera fertilización ocurrió 25 días después de la siembra (DAP) a una dosis de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $198 \text{ kg ha}^{-1}$  de P y  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. La segunda fertilización fue 60 DAP a dosis de  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de P y  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  of K.

En marzo de 2018, las parcelas experimentales se ubicaron en Pujilí, Cotopaxi, región montañosa central del Ecuador, a 3.060 m.s.n.m. ( $01^\circ 03' 0.7''$  Sur /  $78^\circ 41' 29.8''$  Oeste). El suelo era arenoso limoso, de tipo Inceptisol, con pendiente del 2% y la frecuencia del riego fue semanal por surcos. Durante el experimento, la temperatura fue de  $16 \pm 1.2^\circ\text{C}$ ,  $6 \text{ h luz}^{-1}$  día<sup>-1</sup> average annual. promedio anual. La humedad relativa media se mantuvo por encima del 60%. El pH de la solución del suelo y la conductividad eléctrica se monitorizó periódicamente y se mantuvo aproximadamente entre 6,5 y 2,0-3,0  $\text{dSm}^{-1}$ , respectivamente. Se evaluaron seis tratamientos que resultaron de la interacción de los factores de estudio (variedades y formulaciones). Se realizaron tres repeticiones. En cada bloque, los seis tratamientos (F x V) se distribuyeron al azar. No se aplicaron plaguicidas durante el experimento. El experimento se implementó en  $900 \text{ m}^2$ . Cada parcela estuvo compuesta de  $41,25 \text{ m}^2$ . En cada parcela se hicieron seis hileras de 1,1 m entre ellas y 30 cm entre plantas. Las filas se plantaron de este a oeste. Las plantas se seleccionaron al azar de los cuatro surcos centrales de cada parcela, y se evaluaron para evitar el efecto de borde de los tratamientos. Las plantas estaban en su total desarrollo, situadas dentro de cada parcela y completamente rodeadas de otras plantas.

## 2.2 Medición del valor de SPAD-502 Plus®

Después de la selección, se evaluó el contenido de clorofila de las plantas con un SPAD-502 plus® KORNICA MINOLTA, en lecturas consecutivas entre las 10 y las 12 de la mañana. Antes de la medición,

el SPAD-502 plus® se calibró utilizando el comprobador de lectura suministrado por el fabricante. Se realizaron lecturas en folíolos completamente irradiados a 30, 60 y 90 DAP en el tercio inferior, medio y superior de la planta. Cada valor de SPAD foliar obtenido fue el promedio de treinta lecturas en folíolos terminales maduros (Matsuda y Fujiwara, 2014).

## 2.3 Parámetros de rendimiento y calidad de los tubérculos

En la cosecha se realizaron 120 DAP, una clasificación por tamaño y/o categorías del tubérculo de acuerdo con su diámetro (Huaraca, Montesdeoca y Pumisacho, 2009). Esta variable se expresó en kg de tubérculos totales por planta<sup>-1</sup>, con sus respectivas categorías (primera, segunda y tercera). También, se utilizó un peso Mettler Toledo (SB 8001) de 0,1 g de precisión.

Se realizaron análisis de parámetros de calidad en los laboratorios de Raíces y Tubérculos del Programa Nacional de Nutrición y Calidad de los Alimentos (NRTP) y en el Departamento de Nutrición y Calidad de los Alimentos del Instituto de Investigación Nacional de Agricultura (INIAP) ubicados en el Campo Experimental Santa Catalina, Quito, Ecuador. Todas las variables de calidad se evaluaron a los 20 y 40 días después de la cosecha (DAD). El porcentaje de materia seca (MS) y la gravedad (GS) en tubérculos se determinaron en el laboratorio. La calibración del equipo siguió el protocolo establecido por el manual del usuario del sistema de pesaje PW-2050 (Weltech International Limited, Cambridgeshire, Reino Unido). Se utilizaron cinco tubérculos por tratamiento para evaluar la reducción del azúcar (RS). Se llevó a cabo el método Clerget (método micro colorimétrico con inversión de ácido clorhídrico) y el manual de protocolos para evaluar la genética de la papa (Cuesta, Rivadeneira y Monteros, 2015). Los resultados se expresaron en  $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ . Se seleccionó una muestra de cinco tubérculos que fueron lavados, pelados y cortados. Se seleccionaron las mejores 100 y se frieron (ECO-SERV 25  $\text{lb min}^{-1}$  pelador industrial de papas, 10 Lb ROBOT COUPLE CL 50 cortadores, y freidora eléctrica CROYDON de 11 litros) a una temperatura de  $175^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  por 2,5 minutos. Después de freír, las papas se clasificaron en tres categorías: buenas, regulares y malas (Cuesta, Rivadeneira y Monteros,

2015).

## 2.4 Análisis Estadístico

El análisis de correlación y regresión se realizó con Excel 2019 (v19.0) (Microsoft, USA) y Prueba de software y análisis de varianza (ANOVA) de InfoStat versión 2016 a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . De igual forma, se utilizó la prueba Tukey cuando se encontraron diferencias en la interacción, dependiendo del número de tratamientos. Se realizaron pruebas de correlación de Pearson y análisis de regresión entre el peso de tubérculos, materia seca, densidad específica, azúcares reductores, buenas papas y el contenido de clorofila de las hojas. Con el fin de determinar la tendencia y establecer el mejor modelo se usaron los modelos lineales, logarítmicos, de potencia e índice, en los casos significativos.

## 3 Resultados

### 3.1 Valor SPAD

En la Tabla 1 se pueden observar las relaciones entre la edad fenológica del cultivo y la LCC (SPAD-502

plus®). Hubo un aumento en la edad fenológica, y los valores de SPAD mostraron una tendencia en el incremento cuadrático. El valor de SPAD fue constante e incremental en hojas de los tres estratos evaluados hasta un DAP de 60, independiente de la variedad y formulación edáfica. Se observó un efecto altamente significativo ( $p < 0,01$ ) en las formulaciones de fertilizante edáfico con CCF en 30 DAP en los estratos inferiores de la planta y efecto significativo ( $p < 0,05$ ) a 90 DAP en los estratos medios; es decir, durante las etapas de desarrollo vegetativo y el engrosamiento del tubérculo. Se observaron diferencias significativas entre las variedades de papa y CCF a los 30 y 60 DAP en todos los estratos, y a los 90 DAP, solo en los estratos medios de las plantas. Se encontraron diferencias significativas en el CCF en la interacción (F×V) en hojas a 60 DAP en el estrato medio de las plantas (Tabla 1). La prueba de Tukey  $\alpha = 0,05$  presentó tres rangos de significación. El tratamiento con f1v1 mantuvo los valores más altos, mientras que el tratamiento con f1v2 presentó los contenidos más bajos de clorofila.

**Tabla 1.** Valor SPAD y estadística descriptiva de los factores de estudio en la fenología del cultivo

Factores	CONTENIDO EN CLOROFILA DE LA HOJA (SPAD)							
	30 DAP		60 DAP			90 DAP		
	inferior	superior	inferior	medio	superior	inferior	medio	superior
Formulación (F)	$p < 0,001$	$p = 0,027$	$p = 0,453$	$p = 0,168$	$p = 0,497$	$p = 0,187$	$p = 0,009$	$p = 0,349$
f1	42.31 ± 2.83 b	44.5 ± 2.29 b	49.83 ± 3.18 a	54.69 ± 3.67 a	52.72 ± 5.16 a	42.82 ± 2.24 a	43.75 ± 2.80 b	46.00 ± 4.97 a
f2	44.52 ± 2.52 a	45.93 ± 3.04 a	50.77 ± 2.62 a	53.48 ± 1.83 a	52.06 ± 3.19 a	44.49 ± 2.62 a	46.39 ± 2.77 a	47.56 ± 2.90 a
Variety (V)	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,041$	$p < 0,01$	$p < 0,001$	$p = 0,073$	$p < 0,01$	$p = 0,031$
v1	41.02 ± 1.45 c	44.12 ± 1.07 b	48.55 ± 2.22 b	55.13 ± 2.79 a	55.48 ± 4.12 a	45.83 ± 1.85 a	48.11 ± 2.22 a	50.01 ± 3.25 a
v2	42.62 ± 1.81 b	42.86 ± 0.87 b	49.59 ± 2.18 ab	51.36 ± 2.27 b	53.85 ± 2.00 b	42.73 ± 2.80 a	43.27 ± 2.18 b	43.89 ± 3.77 b
v3	46.61 ± 1.43 a	48.67 ± 1.62 a	52.77 ± 2.18 a	55.77 ± 1.43 a	47.85 ± 1.51 a	42.41 ± 1.23 a	43.82 ± 2.18 b	46.44 ± 2.82 ab
Interacción (F×V)	$p = 0,387$	$p = 0,396$	$p = 0,224$	$p = 0,0104$	$p = 0,063$	$p = 0,971$	$p = 0,8038$	$p = 0,195$
f1v1	40.08 ± 0.74 d	43.75 ± 0.72 c	49.39 ± 1.96 a	57.67 ± 0.56 a	57.57 ± 4.79 a	44.97 ± 1.63 a	46.51 ± 2.10 ab	49.75 ± 3.85 a
f1v2	41.08 ± 1.05 d	42.35 ± 0.15 c	47.69 ± 3.09 a	50.06 ± 2.06 c	47.50 ± 1.82 a	41.73 ± 2.23 a	42.33 ± 2.48 b	40.99 ± 2.16 a
f1v3	45.77 ± 1.32 ab	47.41 ± 1.26 ab	52.42 ± 2.35 a	56.33 ± 1.67 ab	53.08 ± 1.66 a	43.06 ± 0.71 a	42.39 ± 1.22 b	47.25 ± 3.74 a
f2v1	41.95 ± 1.39 cd	44.49 ± 1.22 bc	47.71 ± 2.18 a	52.58 ± 1.50 bc	53.38 ± 1.48 a	46.69 ± 1.64 a	49.71 ± 0.64 a	50.26 ± 2.48 a
f2v2	44.15 ± 0.88 bc	43.37 ± 0.98 c	51.49 ± 0.52 a	52.68 ± 1.65 bc	48.19 ± 2.11 a	43.73 ± 2.95 a	44.21 ± 1.25 b	46.79 ± 2.64 a
f2v3	47.46 ± 0.96 a	49.94 ± 0.70 a	53.11 ± 0.58 a	55.2 ± 0.80 ab	54.62 ± 0.77 a	43.06 ± 1.30 a	45.25 ± 1.99 ab	45.64 ± 0.72 a
MEAN	43.42 ± 2.83	45.22 ± 2.78	50.3 ± 2.95	54.08 ± 2.96	52.39 ± 4.30	43.66 ± 2.58	45.07 ± 3.08	46.78 ± 4.15
CV	2.07	2.59	5.06	3.19	3.76	5.72	3.92	7.20

Fisher's Test for factors and Tukey for interaction at  $\alpha = 0.05$   
 Means with different letters are statistically different (p-value)  
 Coefficient of variation (CV)  
 Standard error ( $\pm$ )

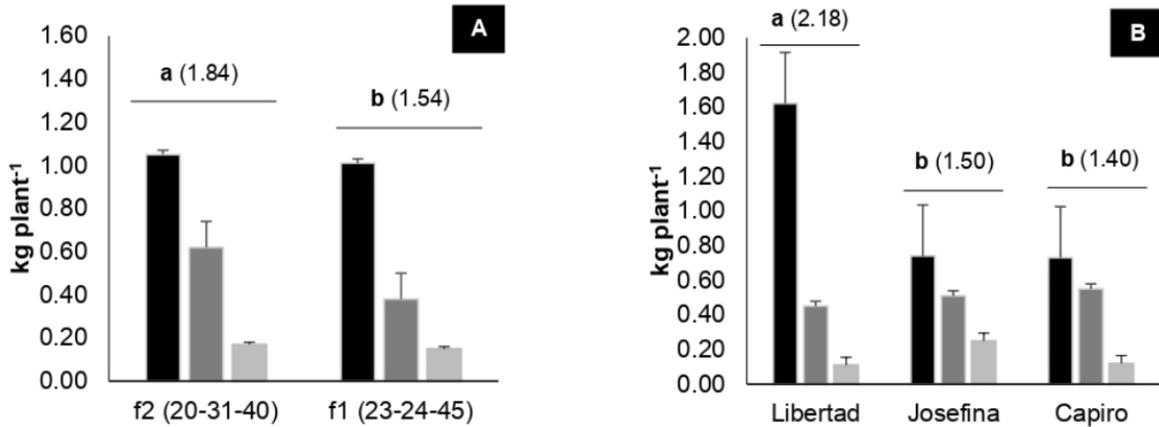
### 3.2 Rendimiento y calidad de los tubérculos después de la cosecha

En cuanto al rendimiento de los tubérculos, el peso por categoría presentó los siguientes valores medios: f1: 1,54 y f2: 1,84 kg planta<sup>-1</sup>. Las formula-

ciones f1:1,05 en la primera categoría; 0,62 en la segunda categoría y 0,17 kg planta<sup>-1</sup> en la tercera categoría; mientras que los fertilizantes f2 obtuvieron rendimientos por categoría de 1,01 en la primera categoría; 0,38 en la segunda categoría y 0,15 kg planta<sup>-1</sup> en la tercera categoría. La diferen-

cia en los tubérculos de segunda categoría se refleja en los valores estadísticos significativos (Figura 1A). El INIAP Libertad presentó la mejor respuesta

con 2,18, seguido por el INIAP Josefina con 1,51, y el DIACOL Capiro con 1,39 kg planta<sup>-1</sup> (Figura 1B).



**Figura 1.** Effect of the fertilizer formulations and varieties on tuber yields.

A) Test: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$  DMS = 0.19. B) Test: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$  DMS = 0.24.

Means with different letters are statistically different ( $p < 0.05$ ). Values in parentheses are totals. Black bars: first, gray: second and clearer: third category.

Las diferencias estadísticas encontradas entre las variedades se presentan principalmente en el rendimiento expresado en el peso de los tubérculos de la primera y tercera categoría. La mayor relevancia la aportan los tubérculos de la primera categoría. No se observó significancia para las interacciones FxV.

En general, hay una tendencia en el aumento de la MS y SG con el almacenamiento para todos los

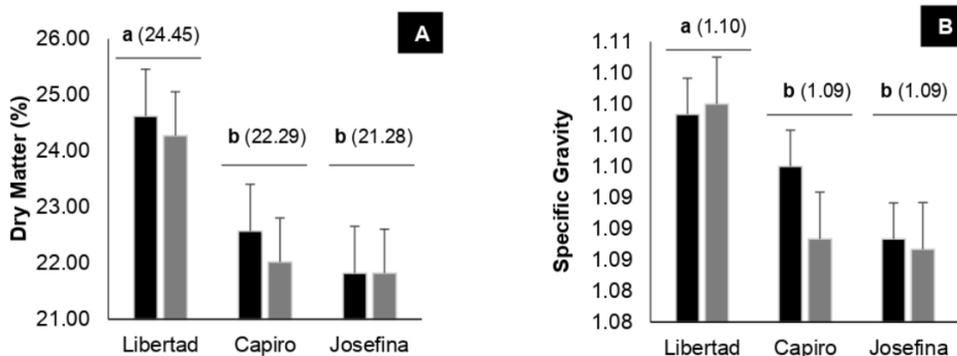
tratamientos. Sin embargo, no hubo diferencia estadística significativa. El contenido de RS y papas buenas para procesamiento industrial de tubérculos disminuye de 20 a 40 DCA ( $p < 0,01$ ). No se encontró significancia en las formulaciones de fertilizantes para el porcentaje de MS a los 20 y 40 DAD. La presencia de MS en las variedades de papa es significativa a los 20 DCA ( $p < 0,01$ ) y a los 40 DCA ( $p < 0,05$ ) (Figura 2A).

La variedad INIAP Libertad presentó los mayores porcentajes de MS con una media de 24,45%. Las variedades Capiro e INIAP Josefina son estadísticamente similares, con un contenido de MS de 22,29 y 21,82%, respectivamente (Figura 2A). La prueba de Tukey para la interacción ( $\alpha = 0,05$ ) presentó tres rangos de significancia. El tratamiento f1v1 presentó el mayor contenido de MS, con una media de 25,17%. El tratamiento f1v2 presentó el menor contenido de MS, con una media de 21,50%.

la mayor especificidad valor gravimétrico (1,101) seguido de la variedad Capiro (1,091) e INIAP Josefina (1,088), en el mismo rango de significancia (Figura 2B). Se encontraron diferencias significativas para la interacción a los 20 DDA, como se evidenció para la variable MS. Según la prueba de Tukey se observaron dos rangos de significancia  $\alpha = 0,05$  en los tratamientos.

No hubo diferencia significativa entre las formulaciones en SG. Se observaron efectos significativos entre las variedades de papa y SG en los valores a 20 y 40 DDA. La variedad INIAP Libertad presentó

El tratamiento f1v1 presentó el mayor SG, con una media de 1,104; mientras que el tratamiento f1v2 presentó el menor SG con 1,086. No se observó significancia para las formulaciones, variedades e interacción en el contenido de RS.



**Figura 2.** Materia seca y gravedad específica para el efecto de las variedades de papas

A) Test: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$  DMS = 3.93. B) Test: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$  DMS = 0.06.

Means with different letters are statistically different ( $p < 0.05$ ). Values in parentheses are totals. Black bars: 20 days after harvest; gray: 40 days after harvest.

No se observó diferencia significativa en los fertilizantes. Sin embargo, si se observaron diferencias altamente significativas para las variedades en el porcentaje de papas buenas y regulares, y diferencias significativas para el porcentaje de papas malas. Las variedades Capiro e INIAP Libertad obtuvieron los menores porcentajes de pérdidas por fritura con 4,4 y 4,6% respectivamente, dejando un total aproximado del 95,5% de papas utilizables. La variedad INIAP Josefina presentó las mayores pérdidas por fritura, con 19,4% de papas malas. Hubo efectos significativos para la interacción en los porcentajes de papas buenas y regulares. La prueba de Tukey  $\alpha = 0,05$ , mostró que el tratamiento f1v1 mantuvo los valores más altos y el tratamiento f1v2 presentó los porcentajes más bajos.

### 3.3 Correlación y análisis de regresión del valor SPAD con el rendimiento y calidad de los tubérculos

Se observaron efectos dependientes entre otras variables en los estratos superiores de la planta (Fig. 3-4). La correlación de los análisis de rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) fueron mayores ( $p < 0,01$ ) a 90 DAP, independientemente de la altura de planta. Se observaron diferencias significativas en la variedad y formulación INIAP Libertad ( $\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KCl}$ ), en diferentes etapas del cultivo, en dife-

rentes funciones de modelado matemático, correlaciones entre CCF (valor SPAD), como  $x$ , en el peso de tubérculos ( $\text{kg planta}^{-1}$ ); MS, SG, GC (datos 20 DAP), como  $y$ ; las correlaciones cambian con un ajuste diferente para el modelo (Tabla 2). Para  $W$  ( $\text{kg planta}^{-1}$ ), la mayor correlación se presentó en función del modelo diferente. A 30 DAP de función de modelo lineal con  $y = 0.262x - 9.460$  ( $R^2 = 0.9938$ ); a 60 DAP de función de modelo de potencia con  $y = 10^{-1,57} x^{1,06}$  ( $R^2 = 0.8553$ ) y función de modelo de índice DAP 90 con  $y = 0.664 e^{0,02x}$  ( $R^2 = 0.7924$ ).

Para la MS, la mayor correlación se presentó en la tercera etapa en la función del modelo de índice. En 30 DAP con  $y = 42.948 e^{-0,01x}$  ( $R^2 = 0.5240$ );  $y = 28.789 e^{-0,0024x}$  ( $R^2 = 0.9103$ ) a 60 DAP e  $y = 29.370 e^{-0,003x}$  ( $R^2 = 0.9572$ ) a 90 DAP. Para SG, la mayor correlación ocurrió en las terceras etapas en la función del modelo de potencia. A los 30 DAP con  $y = 10^{0,13} x^{-0,05}$  ( $R^2 = 0.3277$ );  $y = 10^{0,07} x^{-0,02}$  ( $R^2 = 0.7543$ ) a 60 DAP e  $y = 10^{0,07} x^{-0,02}$  ( $R^2 = 0.8247$ ) a 90 DAP. Para GC, la correlación más alta ocurrió en diferentes funciones del modelo. A la función de modelo de potencia de 30 DAP, con  $y = 10^{-0,36} x^{1,41}$  ( $R^2 = 0.8681$ ). Para 60 y 90 DAP la mayor correlación ocurrió en la función del modelo lineal, con  $y = 0.468x + 64.361$  ( $R^2 = 0.9935$ ) and  $y = 0.576x + 62.675$  ( $R^2 = 0.9690$ ) respectivamente.

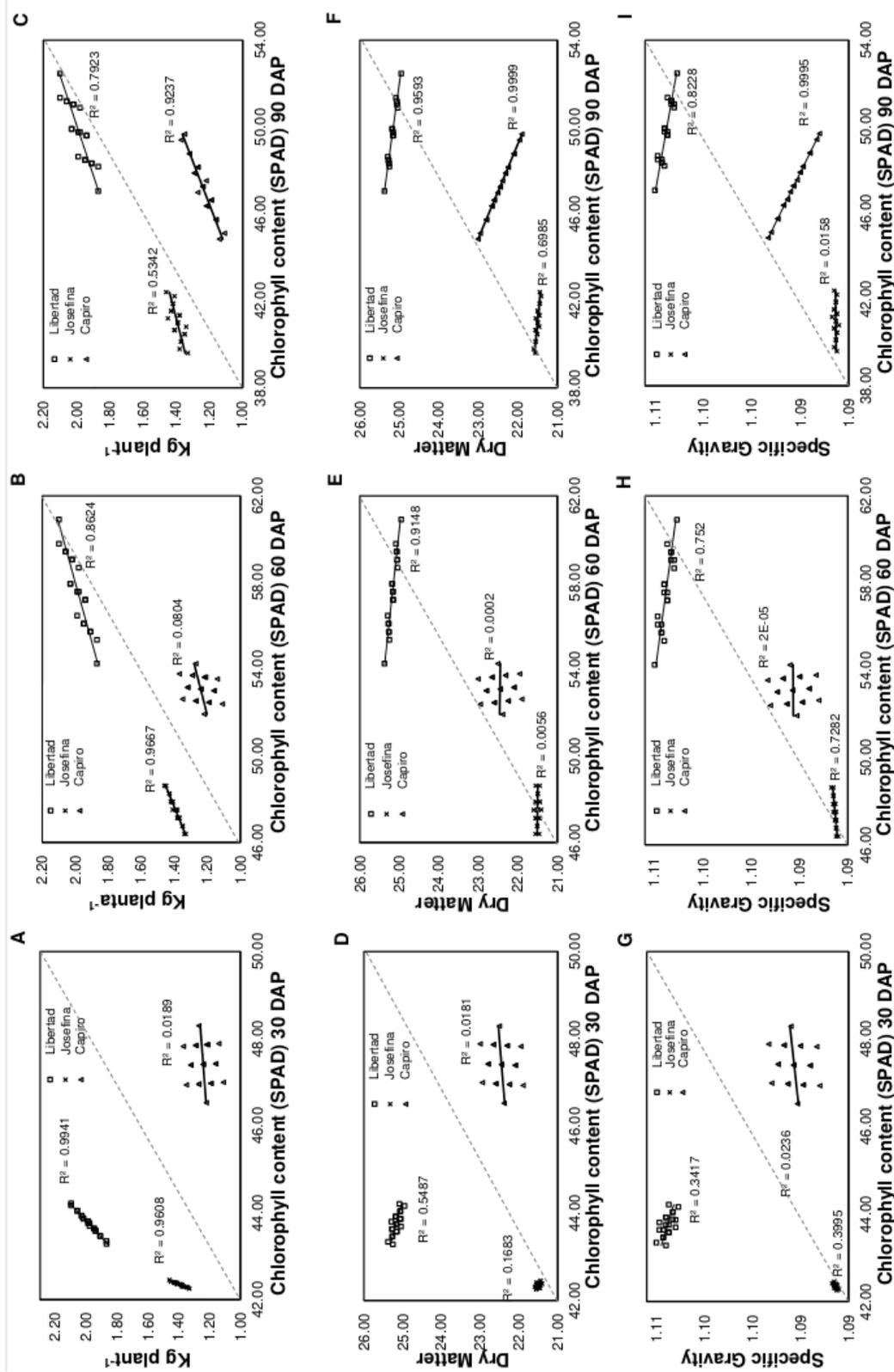


Figura 3. Coeficiente de correlación del valor SPAD con kg planta<sup>-1</sup> (A, B, C), materia seca (D, E, F) y densidad específica (G, H, I).

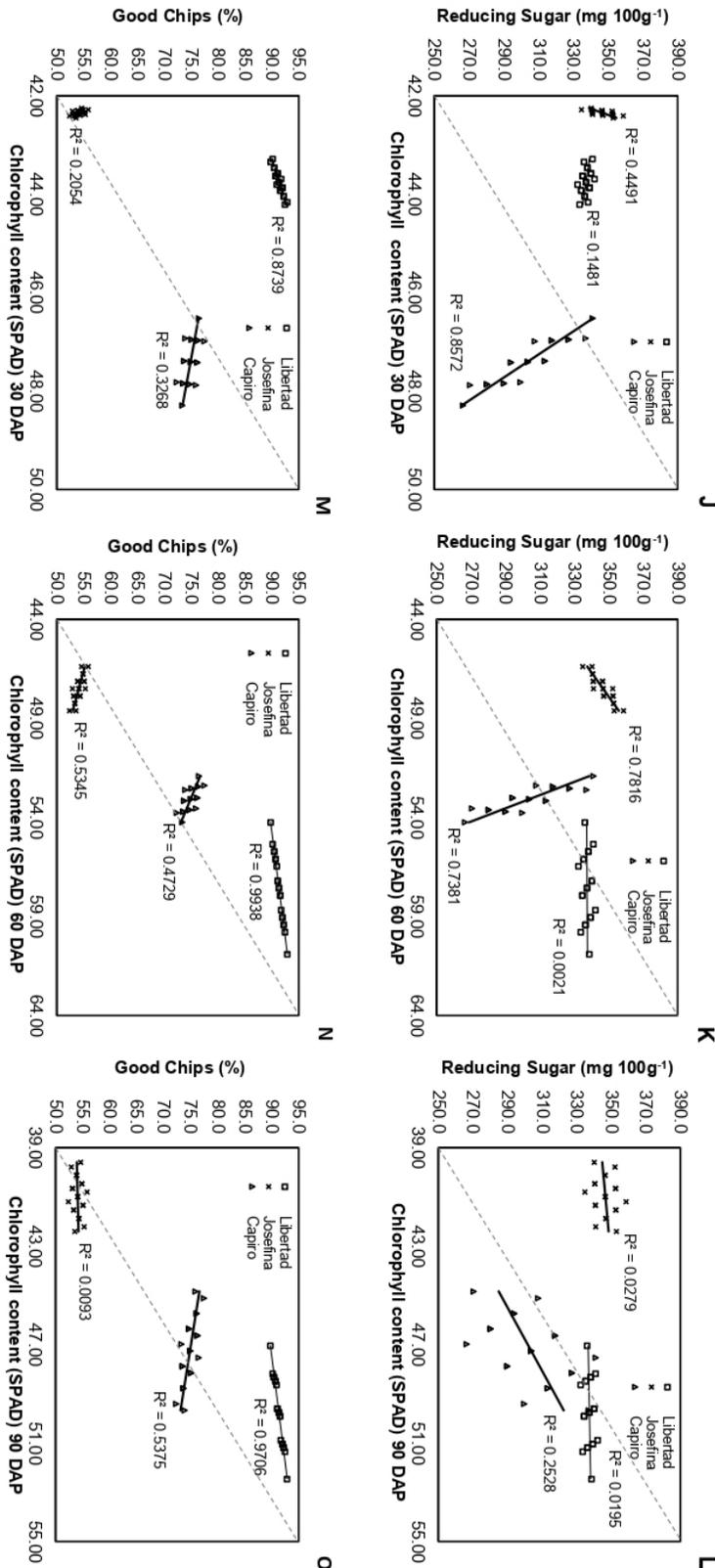


Figura 4. Coeficiente de correlación del valor SPAD con azúcar reductor (J, K, L) y papas buenas (M, N, O).

**Tabla 2.** Análisis de regresión de correlaciones del valor SPAD con varios modelos matemáticos de rendimiento y calidad de tubérculos en diferentes etapas vegetativas

Días después de la siembra	Componente	Modelo lineal, $y = ax + b$	Modelo logarítmico, $y = a \ln(x) + b$	Modelo de potencia, $y = ax^b$	Modelo exponencial, $y = ae^{bx}$		
crecimiento vegetativo (30 DAP)	Peso de los tubérculos (kg planta <sup>-1</sup> )	$y = 0,262x - 9,460$ $R^2 = 0,9938$ $p < 0,0001$	$y = 11,430 \ln(x) - 41,203$ $R^2 = 0,9937$ $p < 0,0001$	$y = 10^{-9,22} x^{5,80}$ $R^2 = 0,9936$ $p < 0,0001$	$y = 0,0062e^{0,13x}$ $R^2 = 0,9934$ $p < 0,0001$		
	Buenas para patatas fritas (%)	$y = 2,934x - 37,041$ $R^2 = 0,8669$ $p < 0,0001$	$y = 128,200 \ln(x) - 339,070$ $R^2 = 0,8669$ $p < 0,0001$	$y = 10^{-0,36} x^{1,41}$ $R^2 = 0,8681$ $p < 0,0001$	$y = 22,421e^{0,03x}$ $R^2 = 0,8675$ $p < 0,0001$		
	Materia seca de tubérculos (%)	$y = -0,309x + 38,670$ $R^2 = 0,5236$ $p = 0,0002$	$y = -13,480 \ln(x) + 76,104$ $R^2 = 0,5235$ $p = 0,0002$	$y = 10^{2,28} x^{-0,54}$ $R^2 = 0,5181$ $p = 0,0002$	$y = 42,948e^{-0,01x}$ $R^2 = 0,5240$ $p = 0,0002$		
	Peso específico de los tubérculos	$y = -1,4E^{-03}x + 1,164$ $R^2 = 0,3052$ $p = 0,0068$	$y = -0,061 \ln(x) + 1,333$ $R^2 = 0,3050$ $p = 0,0068$	$y = 10^{0,13} x^{-0,05}$ $R^2 = 0,3277$ $p = 0,0049$	$y = 1,162e^{-0,0012x}$ $R^2 = 0,2898$ $p = 0,0084$		
	floreamiento-formación de los tubérculos (60 DAP)	Peso de los tubérculos (kg planta <sup>-1</sup> )	$y = 0,036x - 0,115$ $R^2 = 0,8548$ $p < 0,0001$	$y = 2,098 \ln(x) - 6,517$ $R^2 = 0,8543$ $p < 0,0001$	$y = 10^{-1,57} x^{1,06}$ $R^2 = 0,8553$ $p < 0,0001$	$y = 0,691e^{0,02x}$ $R^2 = 0,8548$ $p < 0,0001$	
		Buenas para patatas fritas (%)	$y = 0,468x + 64,361$ $R^2 = 0,9935$ $p < 0,0001$	$y = 26,944 \ln(x) - 17,868$ $R^2 = 0,9931$ $p < 0,0001$	$y = 10^{1,44} x^{0,30}$ $R^2 = 0,9928$ $p < 0,0001$	$y = 68,033e^{0,01x}$ $R^2 = 0,9933$ $p < 0,0001$	
		Materia seca de tubérculos (%)	$y = -0,060x + 28,605$ $R^2 = 0,9101$ $p < 0,0001$	$y = -3,431 \ln(x) + 39,076$ $R^2 = 0,9099$ $p < 0,0001$	$y = 10^{1,64} x^{-0,14}$ $R^2 = 0,9074$ $p = 0,0002$	$y = 28,789e^{-0,0024x}$ $R^2 = 0,9103$ $p < 0,0001$	
		Peso específico de los tubérculos	$y = -3,1E^{-04}x + 1,122$ $R^2 = 0,7382$ $p < 0,0001$	$y = -0,018 \ln(x) + 1,176$ $R^2 = 0,7384$ $p < 0,0001$	$y = 10^{0,07} x^{-0,02}$ $R^2 = 0,7543$ $p < 0,0001$	$y = 1,116e^{-0,00027x}$ $R^2 = 0,7210$ $p < 0,0001$	
		maduración-engrosamiento (90 DAP)	Peso de los tubérculos (kg planta <sup>-1</sup> )	$y = 0,043x - 0,179$ $R^2 = 0,7808$ $p < 0,0001$	$y = 2,161 \ln(x) - 6,456$ $R^2 = 0,7804$ $p < 0,0001$	$y = 10^{-1,57} x^{1,09}$ $R^2 = 0,7818$ $p < 0,0001$	$y = 0,664e^{0,02x}$ $R^2 = 0,7924$ $p < 0,0001$
			Buenas para patatas fritas (%)	$y = 0,576x + 62,675$ $R^2 = 0,9690$ $p < 0,0001$	$y = 28,610 \ln(x) - 20,444$ $R^2 = 0,9686$ $p < 0,0001$	$y = 10^{1,43} x^{0,31}$ $R^2 = 0,9680$ $p < 0,0001$	$y = 66,686e^{0,01x}$ $R^2 = 0,9687$ $p < 0,0001$
			Materia seca de tubérculos (%)	$y = -0,076x + 28,951$ $R^2 = 0,9570$ $p < 0,0001$	$y = -3,775 \ln(x) + 39,919$ $R^2 = 0,9567$ $p < 0,0001$	$y = 10^{1,66} x^{-0,15}$ $R^2 = 0,9548$ $p < 0,0001$	$y = 29,370e^{-0,003x}$ $R^2 = 0,9572$ $p < 0,0001$
			Peso específico de los tubérculos	$y = -4,0E^{-04}x + 1,124$ $R^2 = 0,8129$ $p < 0,0001$	$y = -0,020 \ln(x) + 1,182$ $R^2 = 0,8128$ $p < 0,0001$	$y = 10^{0,07} x^{-0,02}$ $R^2 = 0,8247$ $p < 0,0001$	$y = 1,127e^{-0,00036x}$ $R^2 = 0,7967$ $p < 0,0001$

## 4 Discusión

Es importante estudiar la correlación entre el CCF y los espectros del dosel, pues podría reflejar las características de los grupos de cultivos y la información completa de los espectros (Guo y col., 2018). En cuanto a la estructura vegetal de las papas, las partes superiores del dosel constituyen aproximadamente el 50% de la biomasa aérea y junto con las diferentes etapas de crecimiento, determinarían el mejor contenido de clorofila en la parte superior del dosel (Clevers, Kooistra y Brande, 2017). Por otro lado, la clorofila es sensible a altas temperaturas (clorofila "a" más que clorofila "b"), pues desintegran la estructura celular, dejando el pigmento expuesto a diversas enzimas y reacciones celulares no enzimáticas. Los informes indican que la temperatura óptima para la actividad de la clorofilasa (la enzima que cataliza la degradación de la clorofila) oscila entre 60 y 82,2 °C (Todorov y col., 2003). Qiige y col. (2017) y (Kamrani, Rahimi y Hosseiniya, 2019) han determinado una relación positiva de CCF con la MS de los tubérculos y el rendimiento de la planta bajo diferentes niveles. Además, se demuestra que, en algunas variedades tempranas, existe una correlación entre la SG y las papas buenas.

El análisis de regresión presentó un modelo de función matemático óptimo de correlaciones entre el valor de SPAD con el rendimiento y la calidad de los tubérculos basado en el valor del coeficiente de  $R^2$ . Las investigaciones previas reportan una regresión matemática simple. El modelo lineal en su mayoría se utiliza para realizar análisis de regresión de relaciones entre valores SPAD y rendimiento (Netto y col., 2005; León y col., 2007; Hawkins, Gardiner y Comer, 2009). Uddling y col. (2007), determinaron que las relaciones en papa fueron no lineales con una pendiente creciente con mayores unidades SPAD. Las relaciones de la papa fueron comparativamente bajas ( $R^2 = 0,5$ ).

El efecto de la clorofila no uniformemente distribuida podría explicar la no linealidad en las relaciones empíricas, ya que se predijo que el efecto de la dispersión era comparativamente bajo. Se determinó que el coeficiente entre el valor de SPAD y el rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) fue significativo en los tres estratos de la planta en la evaluación 90 DAP (Tabla 2). Nuestros resultados confirmaron que la

edad de la planta afectaría la exactitud del análisis de correlación (Retta y col., 2016; Ucar y col., 2018).

Nuestros resultados sugieren que la papa de montaña tiene un comportamiento diferente al de otros cultivos en cuanto al ajuste matemático de las relaciones estudiadas, por lo que resulta necesario ajustar los medios de investigación de acuerdo con una planta específica y una fase de crecimiento. Mientras tanto, la diferencia significativa de los valores de los coeficientes sugiere la importancia y necesidad del método de cálculo en la estimación.

## 5 Conclusiones

Se encontró una relación significativa entre el valor de SPAD-520 plus® en hojas de papa con rendimiento y calidad de los tubérculos. Sin embargo, el modelo matemático optimizado para la estimación de la calidad de los tubérculos con el valor de SPAD de las hojas en diferentes etapas de crecimiento y alto rendimiento de planta resultaron diferentes.

Se mostró la mayor eficiencia de correlación de cuatro funciones de modelado matemático en diferentes etapas de crecimiento. En general, para la variedad y formulación INIAP Libertad ( $\text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KCl}$ ), los resultados demostraron que el modelo óptimo de rendimiento fue la función lineal a 30 DAP; el modelo de índice para DM a 90 DAP; modelo de potencia para SG a 90 DAP y el modelo lineal para GC a 60 DAP.

Se planea seguir trabajando para evaluar las variedades tardías y la densidad de siembra para obtener una correlación adecuada.

## Agradecimientos

Esta investigación contó con el apoyo de ECUAQUIMICA [N° 2-229], Instituto Nacional de Agricultura Investigación (INIAP) [Programa raíces y tubérculos] y EGEEMIP-YAinnova. Los autores agradecen al profesor Guillermo Schmeda-Hirschmann (Universidad de Talca, Talca 3460000, Chile) por la lectura crítica del manuscrito.

## Referencias

- Azia, F. y K. Stewart (2001). «Relationships between extractable chlorophyll and SPAD values in muskmelon leaves». En: *Journal of Plant Nutrition* 24.6, 961-966. Online: <https://n9.cl/jf8i1>.
- Busse, J., A. Wiberley-Bradford y P. Bethke (2019). «Transient heat stress during tuber development alters post-harvest carbohydrate composition and decreases processing quality of chipping potatoes». En: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99.5, 2579-2588. Online: <https://n9.cl/ah7rz>.
- Camps, C. y Z. Camps (2019). «Optimized prediction of reducing sugars and dry matter of potato frying by FT-NIR spectroscopy on peeled tubers». En: *Molecules* 24.5, 967. Online: <https://n9.cl/2wokl>.
- Casa, R. y col. (2015). «Chlorophyll estimation in field crops: an assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements». En: *The Journal of Agricultural Science* 153.5, 876-890. Online: <https://n9.cl/7n60q>.
- Chou, S. y col. (2020). «Estimation of leaf photosynthetic capacity from the photochemical reflectance index and leaf pigments». En: *Ecological Indicators* 110, 105867. Online: <https://n9.cl/x6mo9>.
- Clevers, J., L. Kooistra y M. Van den Brande (2017). «Using Sentinel-2 data for retrieving LAI and leaf and canopy chlorophyll content of a potato crop». En: *Remote Sensing* 9.5, 405. Online: <https://n9.cl/2zd17>.
- Cuesta, X., J. Rivadeneira y C. Monteros (2015). *Mejoramiento Genético de papa: Conceptos, procedimientos, metodologías y protocolos*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- De Jong, H. (2016). «Impact of the potato on society». En: *American journal of potato research* 93, 415-429. Online: <https://n9.cl/tok4h>.
- Giletto, C. y H. Echeverría (2013). «Chlorophyll meter for the evaluation of potato N status». En: *American journal of potato research* 90, 313-323. Online: <https://n9.cl/9bnoc>.
- Guo, T. y col. (2018). «Estimating leaf chlorophyll content in tobacco based on various canopy hyperspectral parameters». En: *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10, 3239-3247. Online: <https://n9.cl/h19dvc>.
- Hawkins, T., E. Gardiner y G. Comer (2009). «Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research». En: *Journal for Nature Conservation* 17.2, 123-127. Online: <https://n9.cl/88936>.
- Huaraca, H., F. Montesdeoca y M. Pumisacho (2009). *Guía para facilitar el aprendizaje sobre el manejo del tubérculo semilla de papa*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.
- Kamrani, M., A. Rahimi y H. Hosseiniya (2019). «Effects of different growing media on yield and growth parameters of potato minitubers (*Solanum tuberosum* L.)». En: *Communications in soil science and plant analysis* 50.15, 1838-1853. Online: <https://n9.cl/2rt8l>.
- Kaspary, T. y col. (2019). «Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in 'Avena strigosa' and 'Avena sativa'». En: *Australian Journal of Crop Science* 13.3, 354-359. Online: <https://n9.cl/fb6wr>.
- Kühling, I. y col. (2018). «Soybeans in high latitudes: effects of Bradyrhizobium inoculation in Northwest Germany and southern West Siberia». En: *Organic Agriculture* 8, 159-171. Online: <https://n9.cl/mlzf4>.
- Lan, S. y col. (2011). «Ethanol outperforms multiple solvents in the extraction of chlorophyll-a from biological soil crusts». En: *Soil Biology and Biochemistry* 43.4, 857-861. Online: <https://n9.cl/etx1o>.
- León, A. y col. (2007). «Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce». En: *Communications in soil science and plant analysis* 38.19-20, 2877-2885. Online: <https://n9.cl/vn15k>.
- Lulai, E. y P. Orr (1979). «Influence of potato specific gravity on yield and oil content of chips». En: *American Potato Journal* 56, 379-390. Online: <https://n9.cl/dfarc>.
- Matsuda R., Ozawa N. y K. Fujiwara (2014). «Leaf photosynthesis, plant growth, and carbohydrate accumulation of tomato under different photoperiods and diurnal temperature differences». En: *Scientia Horticulturae* 170, 150-158. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.03.014>.
- Netto, A. y col. (2005). «Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves». En: *Scientia Horticulturae* 104.2, 199-209. Online: <https://n9.cl/hgafm>.
- Nissen, M. (1955). «The weight of potatoes in water». En: *American Potato Journal* 32, 332-339. Online: <https://n9.cl/9rh3a>.
- Noulas, C. y col. (2018). «Agronomic assessment of nitrogen use efficiency in spring wheat and interrelations with leaf greenness under field conditions». En: *Communications in soil science and plant analysis* 49.7, 763-781. Online: <https://n9.cl/km8ys>.
- Padilla, F. y col. (2018). «Reference values for phenological phases of chlorophyll meter readings and reflectance indices for optimal N nutrition of fertigated tomato». En: *V International Symposium on Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production* 1192, 65-72. Online: <https://n9.cl/xg11j>.
- Padilla, F. y col. (2019). «Influence of time of day on measurement with chlorophyll meters and canopy reflectance sensors of different crop N status». En: *Precision Agriculture* 20, 1087-1106. Online: <https://n9.cl/s1j29>.
- Qiqige, S. y col. (2017). «Effects of different nitrogen forms on potato growth and development». En: *Journal of Plant Nutrition* 40.11, 1651-1659. Online: <https://n9.cl/d09iw>.

- Raymundo, R. y col. (2018). «Climate change impact on global potato production». En: *European Journal of Agronomy* 100, 87-98. Online: <https://n9.cl/anli9>.
- Retta, M. y col. (2016). «Impact of anatomical traits of maize (*Zea mays* L.) leaf as affected by nitrogen supply and leaf age on bundle sheath conductance». En: *Plant science* 252, 205-214. Online: <https://n9.cl/s88vm>.
- Roslan, N. y col. (2019). «Growth Monitoring of Harumanis Mango Leaves (*Mangifera Indica*) at Vegetative Stage Using SPAD Meter and Leaf Area Meter». En: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 557. 1, 012010. Online: <https://n9.cl/1oku5>.
- Sim, C. y col. (2015). «Rapid determination of leaf chlorophyll concentration, photosynthetic activity and NK concentration of *Elaeis guineensis* via correlated SPAD-502 chlorophyll index.» En: *Asian Journal of Agricultural Research* 9.3, 132-138. Online: <https://n9.cl/25fhu>.
- Todorov, D. y col. (2003). «Chlorophyllase activity and chlorophyll content in wild and mutant plants of *Arabidopsis thaliana*». En: *Biologia plantarum* 46, 125-127. Online: <https://n9.cl/hz5df>.
- Ucar, E. y col. (2018). «The effect of the plant age and growth period on the nutritional substance, chlorophyll and steviol glycoside rates in Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves». En: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49.3, 291-302. Online: <https://n9.cl/z42or>.
- Uddling, J. y col. (2007). «Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings». En: *Photosynthesis research* 91, 37-46. Online: <https://n9.cl/iagn0>.
- Wiberley-Bradford, A. y P. Bethke (2018). «Suppression of the vacuolar invertase gene delays senescent sweetening in chipping potatoes». En: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98.1, 354-360. Online: <https://n9.cl/29jcz>.
- Yuan, Z. y col. (2016). «Indicators for diagnosing nitrogen status of rice based on chlorophyll meter readings». En: *Field crops research* 185, 12-20. Online: <https://n9.cl/zxqxjo>.
- Yue, X. y col. (2019). «Evaluation of both SPAD reading and SPAD index on estimating the plant nitrogen status of winter wheat». En: *International Journal of Plant Production* 14, 67-75. Online: <https://n9.cl/pfdjh>.
- Zommick, D. y col. (2014). «In-season heat stress compromises postharvest quality and low-temperature sweetening resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.)» En: *Planta* 239, 1243-1263. Online: <https://n9.cl/k14er>.



## EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO Y GEOPOTENCIALES EN EL ECUADOR

### EVALUATION OF DIGITAL LAND AND GEOPOTENTIAL MODELS IN ECUADOR

Oscar Portilla<sup>\*1</sup> , César Leiva<sup>2</sup> , Marco Luna<sup>2</sup> , e Izar González<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Geoint CÍA. LTDA, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Grupo Geoespacial, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.

<sup>3</sup>ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid, Campus Sur UPM, Autovía de Valencia Km 7,5, E-28031 Madrid, España.

\*Autor para correspondencia: [oskrportilla94@gmail.com](mailto:oskrportilla94@gmail.com)

Manuscrito recibido el 23 de octubre de 2022. Aceptado, tras revisión, el 06 de junio de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

#### Resumen

Los trabajos de ingeniería utilizan los modelos digitales de elevación para realizar cálculos y modelar fenómenos, conocer su precisión permite determinar la escala de uso y la calidad de los subproductos que se obtienen. Existen modelos libres que son muy utilizados en la práctica, como es el caso de los modelos digitales del terreno (MDTs): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), ASTER Global Digital Elevation Map (ASTER GDEM), ALOS PALSAR, el MDT generado por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) y los modelos geopotenciales (MGs): EGM96, EGM08 y el MG creado por el IGM. Se evaluaron los modelos utilizando los puntos de nivelación geométrica y altura elipsoidal levantados por el IGM. Se determinaron los valores atípicos, se compararon las alturas entre los MDTs para conocer su diferencia, se calculó el error cuadrático medio (RMSE) y se definió la precisión y escala a la que se pueden emplear los diferentes modelos. Se concluyó que los MDTs SRTM 30, ALOS PALSAR e IGM pueden utilizarse para trabajos que requieran una precisión inferior a los 10 metros. El MG EGM08 junto con alturas elipsoidales de alta precisión podrían generar modelos de elevación que alcancen una precisión de 1.25 metros, mientras que los MGs EGM96 e IGM pueden generar modelos que alcancen una precisión de 2.5 metros. Las alturas elipsoidales de los MDTs SRTM 30, ALOS PALSAR e IGM obtenidos con los MGs EGM 96 y EGM 08 se pueden utilizar si se requiere una precisión inferior a los 10 metros.

**Palabras clave:** SRTM, ASTER GDEM, ALOS PALSAR, EGM 96, EGM 08

#### Abstract

Engineering uses digital elevation models to perform calculations and modeling phenomena, since it allows determining the scale at which they can be used and the quality of the by-products obtained. Two groups of models were

evaluated, the digital terrain models (DTMs): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), ASTER Global Digital Elevation Map (ASTER GDEM), ALOS PALSAR and the DTM generated by the Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM), and the geopotential models (GMs): EGM96, EGM08 and the GM created by the IGM. For the evaluation, the geometric leveling points and ellipsoidal height raised in one of the IGM projects were used to determine atypical values, calculate the mean square error (RMSE) and define the precision and scale at which the different ones can be used. The heights between the DTMs were compared to know their difference. It was determined that the SRTM 30, ALOS PALSAR and IGM DMTs can be used for jobs that require an accuracy of less than 10 meters. The GM EGM08 together with high precision ellipsoidal heights could generate elevation models that can reach an accuracy of 1.25 meters, while the GMs EGM96 and IGM can generate models that achieve an accuracy of 2.5 meters. The ellipsoidal heights of the SRTM 30, ALOS PALSAR and IGM DTMs obtained with the EGM 96 and EGM 08 GMs can only be used in jobs that require an accuracy of less than 10 meters.

**Keywords:** SRTM, ASTER GDEM, ALOS PALSAR, EGM 96, EGM 08, orthometric height, ellipsoidal height.

Forma sugerida de citar: Portilla, O., Leiva, C., Luna, M. y González, I. (2023). Evaluación de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):59-81. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.05>.

IDs Orcid:

Oscar Portilla: <https://orcid.org/0000-0001-5023-9333>

César Leiva: <https://orcid.org/0000-0002-3332-6029>

Marco Luna: <https://orcid.org/0000-0003-1433-2658>

Izar González: <https://orcid.org/0000-0001-8540-7974>

## 1 Introducción

Las características del terreno limitan las actividades que el ser humano pueda realizar. Por esta razón, los trabajos de ingeniería analizan las características del terreno y determinan las precisiones específicas que deben tener los modelos para realizar los estudios. Por ejemplo, los ingenieros civiles analizan el terreno antes de construir, los geomorfólogos se encargan de conocer la forma y los procesos que le dieron origen, los topógrafos miden y describen la superficie terrestre. Dependiendo del sistema de referencia vertical que necesite el estudio, existen diferentes modelos digitales que pueden utilizarse para los estudios. Los modelos digitales de terreno, conocidos como MDT, tienen sus alturas referidas a las características naturales del territorio en estudio. Mientras que los modelos digitales de superficie, conocidos como MDS, refieren sus alturas sobre el suelo (Li, Zhu y Gold, 2004).

La importancia de contar con modelos digitales de elevación de alta calidad radica en la numerosa cantidad de aplicaciones que existen. Entre las más actuales y que más precisión exigen está, la agricultura (Sinde-González y col., 2021), la obra civil (Abbondati y col., 2020), la arqueología (Villaseñín, Gil-Docampo y Ortiz-Sanz, 2017; Gil-Docampo y col., 2023), la gestión ambiental (McClean, Dawson y Kilsby, 2020) o la planificación territorial (Zafar y Zaidi, 2019), entre otras. Sin embargo, a escala planetaria, no se requieren precisiones a nivel del centímetro y por eso se utilizan modelos globales. Las aplicaciones se enfocan en ese caso a estudios de geodinámica (Luna y col., 2017) y geodesia (Orejuela y col., 2021).

La definición del Sistema de Referencia Vertical SIRGAS es idéntica a la definición del Sistema Internacional de Referencia de Alturas (IHRs), ya que ambas señalan la importancia de utilizar alturas físicas para el desarrollo de los trabajos de ingeniería (Sánchez, 2015). La altura ortométrica es la altura física más utilizada en la práctica y se obtiene al dividir la cota geopotencial para un valor medio de gravedad (Drewes y col., 2002). La ondulación geoidal depende del elipsoide que se utilice, pero aproximadamente su variabilidad está dentro de los  $\pm 100$  (m) (Seeber, 1993). Como es conocido, el posicionamiento GNSS proporciona alturas elipsoidales de alta precisión de una forma eficiente, pero pa-

ra obtener alturas ortométricas de alta precisión es necesario generar MGs de alta precisión (Martínez y Bethencourt, 2012).

### 1.1 MDT Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Se creó por una iniciativa de la Administración Nacional Aeronáutica y Espacio (NASA), el Centro Aeroespacial Alemán, DLR, y la Agencia Espacial Italiana, ASI. Este es un MDT con dos niveles de resolución, uno de 1 (30 metros) y otro de 3 segundos de arco (90 metros), que abarca el 80% de la superficie terrestre desde los 60° norte hasta los 57° sur. La precisión horizontal del MDT es superior a los  $\pm 20$  (m), mientras que la precisión vertical cumple con los  $\pm 16$  (m) para el 90% de los datos en toda la misión (Rabus y col., 2003). El tipo de alturas que tiene el MDT SRTM son alturas ortométricas, ya que se utilizó el MG EGM 96 para transformar las alturas elipsoidales (Lemoine y col., 1998).

### 1.2 MDT generado por el Instituto Geográfico Militar (IGM)

Se generó a partir de las curvas de nivel obtenidas por restitución del proyecto de generación de cartografía 1:5 000. Dichas curvas fueron generalizadas e interpoladas para obtener un MDT con una resolución de 30 (m). El tipo de alturas que tiene el MDT del IGM es ortométrica generada con el MG EGM96 y es recomendada para la generación de cartografía 1:50 000.

### 1.3 MDT ASTER GDEM

Obtenido por esfuerzos de la NASA y METI a mediados de octubre de 2011. Este modelo cubrió la superficie terrestre desde los 83° norte a los 83° sur; su resolución espacial alcanzó 1 segundo de arco (30 metros) y la precisión vertical es de alrededor de 20 metros con un nivel de confianza del 95%. Las alturas ortométricas del MDT ASTER GDEM se obtuvieron mediante el uso del MG EGM 96 (Tachikawa y col., 2011).

### 1.4 MDT ALOS PALSAR RTC

Distribuido por Alaska Satellite Facility (ASF), convirtió las alturas ortométricas de los MDTs SRTM

o NED en alturas elipsoidales utilizando la herramienta ASF MapReady geoid\_adjust. Esta herramienta aplica una corrección de geoide para que el MDE resultante se relacione con el elipsoide (Alaska Satellite Facility, 2021).

En la Tabla 1 se detalla las características técnicas de los MDTs que se utilizaron en la investigación.

**Tabla 1.** Características técnicas de los MDTs.

MDT	Precisión vertical	Resolución espacial	Tipo de altura
SRTM	± 16,0 m	30 m	Ortométrica
IGM	± 12,5 m	30 m	Ortométrica
ASTER GDEM	± 20,0 m	30 m	Ortométrica
ALOS	-	30 m	Elipsoidal

## 1.5 MG EGM 96

Posee una resolución espacial de aproximadamente 56 kilómetros, donde se incorporaron datos de gravedad superficial, anomalías de la gravedad de ERS-1 y de la Misión Geodésica GEOSAT, datos satelitales de posición y altimetría de diversos sistemas. El modelo está definido hasta 360 grados, permitiendo calcular 131000 coeficientes armónicos (Lemoine y col., 1998).

## 1.6 MG EGM 08

Posee una resolución espacial de aproximadamente 9 kilómetros. Fue desarrollado por la combinación de mínimos cuadrados del modelo gravitacional ITG-GRACE03S y su matriz de covarianza de error. Para su generación se utilizó información gravitacional extraída de una cuadrícula equiangular de 5 minutos de arco. Este conjunto de anomalías de gravedad se obtuvo de la fusión de datos de sensores terrestres y aerotransportados con valores derivados de la altimetría. El ajuste por mínimos cuadrados se realizó en términos de armónicos elipsoidales; esta conversión conservó el orden, pero no el grado, lo que da lugar a coeficientes de grado 2190 y orden 2159 (Pavlis y col., 2012).

## 1.7 MG generado por el IGM

Utilizó técnicas GPS y nivelación geométrica para estructurar y entrenar una red neuronal artificial del tipo Radial Basis Functions (RBF) que permite

calcular la ondulación geoidal en cualquier punto mediante interpolación. El MG del IGM obtuvo errores menores de 40 cm y un error medio cuadrático de 15 cm (Tierra y Acurio, 2014).

Los trabajos de ingeniería requieren que los modelos y productos cartográficos cumplan con una determinada precisión, pues desconocer la precisión puede ocasionar problemas económicos y de logística en los trabajos. Los MDTs y MGs empleados en la presente investigación, a excepción del MDT y el MG generado por el IGM, han sido generados a nivel mundial y cuentan con documentación científica que respalda su precisión a nivel mundial, pero ¿la precisión que se ha determinado a nivel mundial se cumple en el Ecuador Continental? De esta manera el presente trabajo busca determinar la precisión de los modelos y la escala máxima que pueden ser implementados para la elaboración de productos cartográficos en el Ecuador Continental.

## 2 Materiales y métodos

En la Figura 1 se puede observar los datos que se utilizaron: uno de los cuatro MDTs y los puntos de nivelación geométrica y altura elipsoidal levantados en uno de los proyectos del IGM. Si bien es cierto que las alturas niveladas, al ser del tipo geométrico, no servirían para evaluar a las alturas ortométricas de los MDTs que son de tipo físico; por evaluaciones previas realizadas a los MDTs, las cuales fueron expuestas en la introducción, se determinó que en el mejor de los casos, la precisión de los MDTs alcanza los 15 metros y como en el Ecuador Continental se ha determinado que la diferencia entre la altura nivelada y la altura ortométrica llega al orden del metro (Cañizares, 2015).

En la presente investigación se optó por despreciar la diferencia entre altura nivelada y la altura ortométrica, ya que la precisión de los MDTs absorberían la diferencia. Existieron puntos que contaban con la altura elipsoidal que sirvieron para evaluar la transformación de las alturas ortométricas de los MDTs en alturas elipsoidales, y en los puntos donde se tenía el dato de altura nivelada y altura elipsoidal se calculó una pseudo ondulación geoidal para evaluar los MGs.

La ecuación fundamental de la geodesia física

(Ecuación 1) considera a la ondulación geoidal ( $N$ ), como la separación vertical entre la altura elipsoidal ( $h$ ) y la altura ortométrica ( $H$ ). Esta consideración es empleada en la práctica por la facilidad que tiene para transformar las alturas elipsoidales en ortométricas y viceversa. De esta manera, se evita emplear

modelo gravimétricos y medidas de gravedad para obtener alturas físicas, las cuales encarecen los costos de los proyectos.

$$N = h - H \quad (1)$$

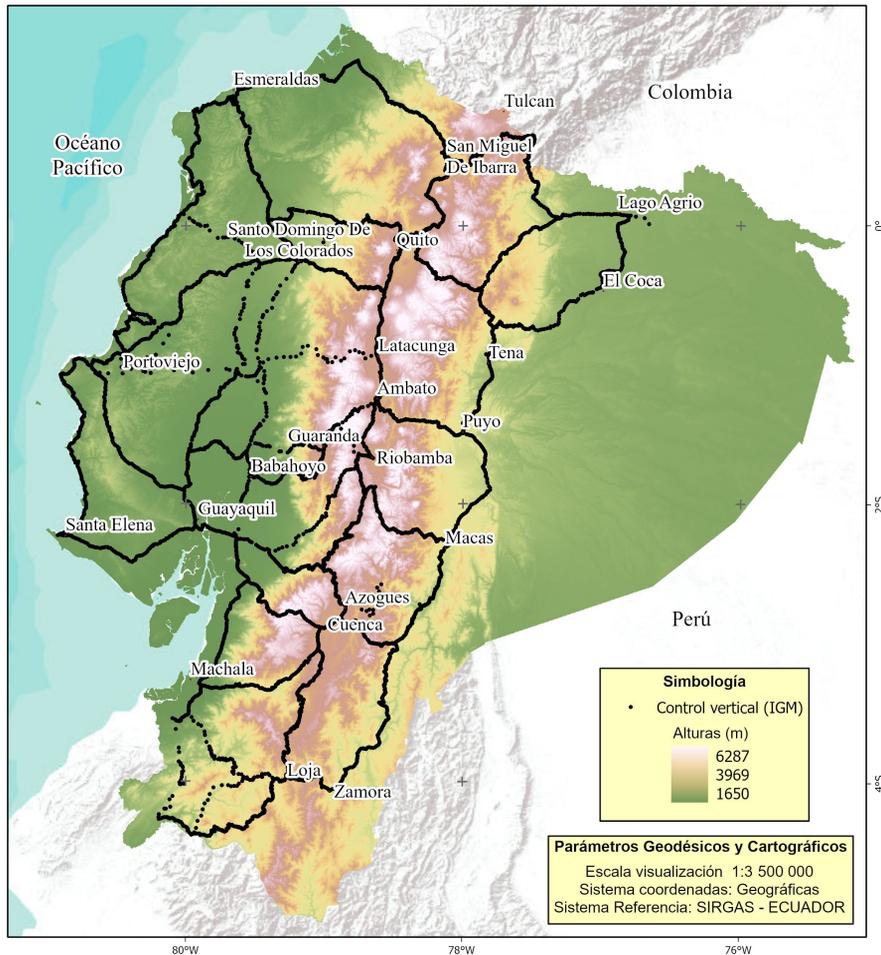


Figura 1. Elementos utilizados para la evaluación de los MDTs y MGs.

El modelo cartográfico que se observa en la Figura 2 detalla los pasos empleados para evaluar los MDTs con sus diferentes tipos de alturas y los MGs. Se generó una tabla espacial para evaluar los distintos MDTs y MGs, y para ello se georreferenció el levantamiento de alturas niveladas y elipsoidales rea-

lizado por el IGM. En cada punto del levantamiento se extrajo el valor de la altura presente en cada píxel de los distintos MDTs, sin recurrir a ningún método de interpolación para la extracción, debido a que cada punto del levantamiento se ubicaba dentro de un solo píxel.



Se calcularon las coordenadas geográficas de cada punto del levantamiento y se transformó la tabla espacial en un archivo formato .dat que sirvió de insumo para calcular las ondulaciones geoidales con los MG EGM 96, EGM 08 e IGM. Con el software ETL se añadió el valor de las ondulaciones geoidales presentes en cada uno de los archivos .dat, a la tabla espacial de puntos. Con el Sistema de Información Geográfica (SIG) se calculó la pseudo ondulación geoidal para cada punto del levantamiento en donde existiera la altura nivelada y altura elipsoidal al mismo tiempo. Para ello se empleó la Ecuación 1, donde se restó la altura nivelada de la altura elipsoidal.

Posteriormente se evaluó la altura ortométrica original de los MDTs. Las alturas ortométricas de todos los modelos a excepción del MDT ALOS PALSAR, fueron obtenidas mediante el uso del MG EGM 96. Las alturas originales del MDT ALOS PALSAR son alturas elipsoidales, razón por la cual se utilizó la ecuación 1 para transformar las alturas elipsoidales en alturas ortométricas, empleando el MG EGM 96. Se utilizaron 3931 puntos que contaban con alturas niveladas del proyecto IGM para evaluar la precisión vertical de los MDTs. Para ello se calculó la diferencia del valor capturado en campo respecto al valor del MDT. Posteriormente se procedió a analizar la distribución de las diferencias con diagramas de cajas; se graficó la dispersión de las diferencias respecto a la altura a la que fueron calculadas las diferencias y se calculó el RMSE de cada MDT. La precisión reportada con el RMSE refleja todas las incertidumbres, incluyendo los errores en la adquisición de los datos, en la compilación y en el cálculo final de las alturas (Federal Geographic Data Committee, 1998).

Se analizaron espacialmente las diferencias utilizando el valor I local de Morán con la finalidad de entender cómo la diferencia de un punto se relaciona con las diferencias que lo rodean, llegando a determinar conglomerados espaciales y valores atípicos que existan (Anselin, 1995). El valor I local de Morán emplea una puntuación  $z$ , un pseudo valor  $P$  para representar la significancia estadística de los valores de índice calculados. Un valor negativo para  $I$  indica que una entidad tiene entidades vecinas con valores diferentes; esta entidad es un valor atípico. En ambas instancias, el valor  $P$  para la entidad debe ser lo suficientemente pequeño para que el

valor atípico sea considerado estadísticamente significativos. Un valor atípico puede ser de dos tipos, un valor alto rodeado principalmente por valores bajos (alto- bajo) y un valor bajo que esté rodeado principalmente por valores altos (bajo- alto). La importancia estadística está establecida en un nivel de confianza del 95% (ESRI, 2020).

Una vez que se analizó estadística y espacialmente a los MDTs, el segundo paso consistió en la determinación de la diferencia existente entre cada MDT. Como ya se mencionó, el MDT ALOS PALSAR cuenta con alturas elipsoidales, mientras que los otros MDTs tienen alturas ortométricas, razón por la cual no se generó un raster de diferencias con el MDT ALOS PALSAR. El raster de diferencias sirvió para clasificar las diferencias, visualizar su comportamiento espacial, analizar el porcentaje de cobertura de cada rango de diferencia y poder determinar hasta qué punto pueden considerarse similares los MDTs para poder emplearlos en conjunto y suplir sus puntos débiles.

Se evaluaron los MGs, donde se emplearon 1253 puntos del proyecto IGM que contaban con el valor de la pseudo ondulación geoidal. Se procedió a determinar la diferencia existente entre la pseudo ondulación geoidal capturada en campo respecto a la ondulación calculada con los MGs EGM 96, EGM 08 y modelo del IGM. Una vez calculadas las diferencias, se analizó la distribución de las diferencias, se graficó la dispersión de las diferencias respecto a la altura a la que fueron calculadas, se calculó el RMSE de cada modelo y se analizaron espacialmente los valores atípicos utilizando el valor I local de Morán.

Se utilizaron 1253 punto del proyecto IGM para evaluar la altura elipsoidal de los MDTs. Para ello se transformaron las alturas ortométricas de los MDTs SRTM, ASTER GDEM e IGM en alturas elipsoidales empleando la ecuación 1 y el MG EGM 96; no fue necesario transformar las alturas del MDT ALOS PALSAR, porque como ya se mencionó, las alturas originales del MDT son alturas elipsoidales. Se procedió a determinar la diferencia entre la altura elipsoidal capturada en campo respecto a la altura elipsoidal de los MDTs, analizar su distribución, graficar su dispersión respecto a la altura a la que fueron calculadas las diferencias, calcular el RMSE y determinar espacialmente los valores atípicos uti-

lizando el valor I local de Morán.

El último paso consistió en determinar si el uso de MG EGM 08 con las alturas elipsoidales calculadas en el anterior paso podría conseguir MDTs de alturas ortométricas más precisas. En los 3931 puntos que contaban con la altura nivelada del proyecto IGM, se transformó las alturas ortométricas originales de los MDTs en alturas elipsoidales, utilizando la ecuación 1 y el MG EGM 96. Luego se transformó las alturas elipsoidales en alturas ortométricas, empleando de nuevo la ecuación 1 y el MG EGM 08. Como en los pasos anteriores, se determinó la diferencia entre el valor obtenido en campo respecto al valor del modelo, se analizó su distribución, se graficó la dispersión de las diferencias respecto a la altura a la que fueron calculadas, se calculó el RMSE y se determinó espacialmente los valores atípicos utilizando el valor I local de Morán.

### 3 Resultados

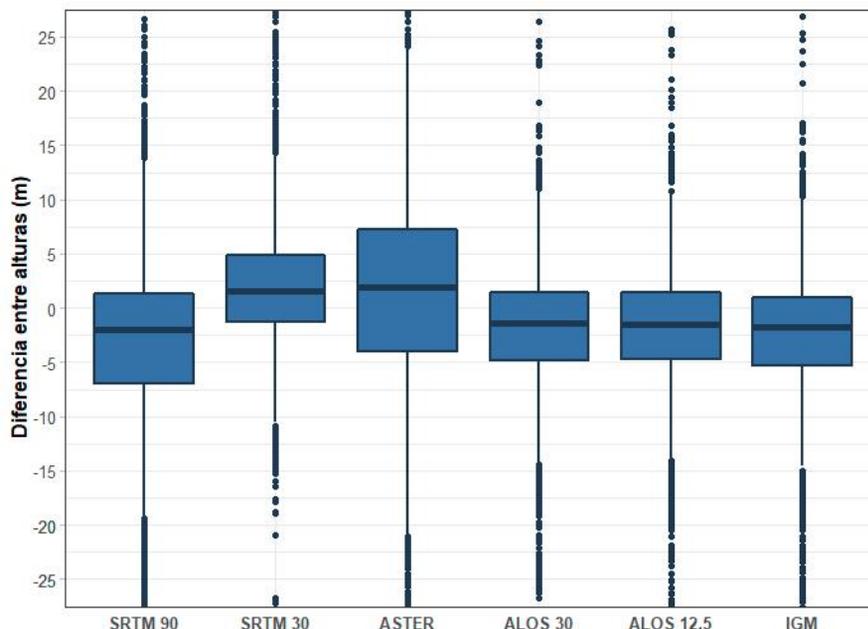
#### 3.1 Evaluación de la altura ortométrica con el MG EGM 96 de los MDTs

Se analizó la distribución de las diferencias de las alturas niveladas capturadas en campo respecto a

las alturas ortométricas de los MDTs obtenidas con el MG EGM 96; en la Figura 3 y 4 y en la Tabla 2 se observa la influencia de la resolución espacial en la distribución de las diferencias para los modelos que han sido distribuidos con dos resoluciones. En el caso del MDT SRTM, se observa que las diferencias obtenidas con el modelo de resolución de 30 metros son mejores que las diferencias obtenidas con el modelo de 90 metros, ya que presentan un mejor agrupamiento de los datos, un estrechamiento y mejor ubicación de la caja. En el caso del MDT ALOS PALSAR, las diferencias entre el modelo de 30 metros respecto al 12,5 metros apenas se logran identificar, ya que sus cajas son del mismo tamaño y se encuentran en la misma posición.

**Tabla 2.** Valores del diagrama de caja de la evaluación de las alturas ortométrica con el MG EGM 96.

MDTs	Max	Q3	Med	Q1	Min
SRTM 90	13,58	1,32	-1,96	-6,94	-19,30
SRTM 30	14,22	4,92	1,61	-1,33	-10,56
ASTER	24,03	7,24	1,88	-3,99	-20,83
ALOS 30	10,95	1,48	-1,45	-4,88	-14,41
ALOS 12.5	10,59	1,46	-1,48	-4,70	-13,94
IGM	10,26	0,98	-1,81	-5,26	-14,58



**Figura 3.** Diagrama de caja de la diferencia de alturas ortométrica con el MG EGM 96.

Al comparar la caja de todos los MDTs, se observa que la caja del MDT ASTER GDEM es la más ancha y por ende la que tiene peor distribución de las diferencias. A su vez se observa que la mediana de este modelo es similar a la mediana del MDT SRTM de 30 metros. Las cajas de los MDT ALOS PALSAR e IGM tienen características estadísticas similares tan-

to en ancho de la caja como en su ubicación. Todas las cajas, a excepción de la caja del modelo SRTM de 90 metros, muestran una similar distribución de datos tanto arriba y abajo del valor de la mediana en las cajas, como a la derecha y a la izquierda del valor medio en el histograma (simetría).

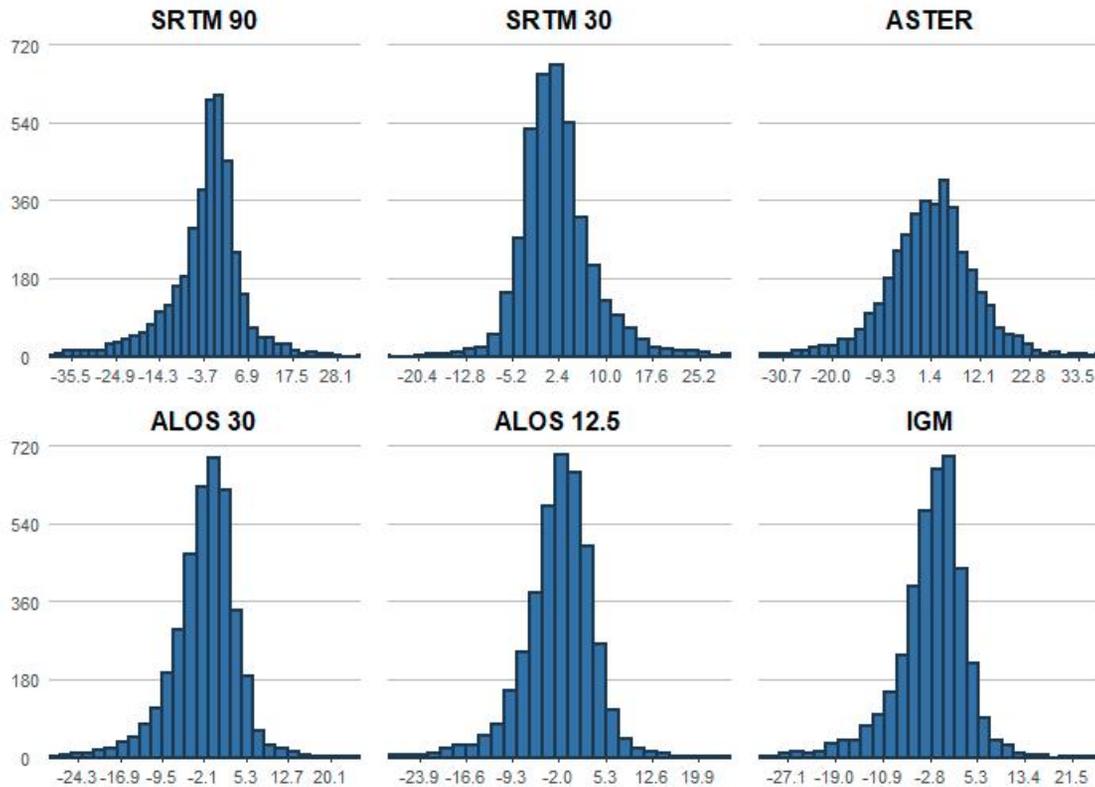


Figura 4. Histograma de la diferencia de alturas ortométrica con el MG EGM 96.

En la Figura 5 se observa que la dispersión de las diferencias respecto a la altura del punto de evaluación se agrupa alrededor de los 0 metros, donde los MDTs SRTM de 30 metros, ALOS PALSAR de 30 y 12,5 metros e IGM tienden a estar mejor agrupados que los MDTs ASTER GDEM y SRTM de 90 metros. Se observa que el MDT SRTM de 30 metros tiene una mayor cantidad de diferencias positivas, mientras que en los MDTs SRTM de 90 metros, ALOS PALSAR 30 y 12,5 metros e IGM tienden a tener

una mayor cantidad de diferencias negativas.

En todos los MDTs se observa una distribución uniforme de las diferencias conforme incrementa la altura de evaluación. En función de lo observado en las Figura 3, Figura 4 y Figura 5, se decidió escoger los MDTs SRTM de 30 metros y ALOS PALSAR de 12,5 metros para continuar con los siguientes pasos de la evaluación, ya que presentaban mejores resultados estadísticos.

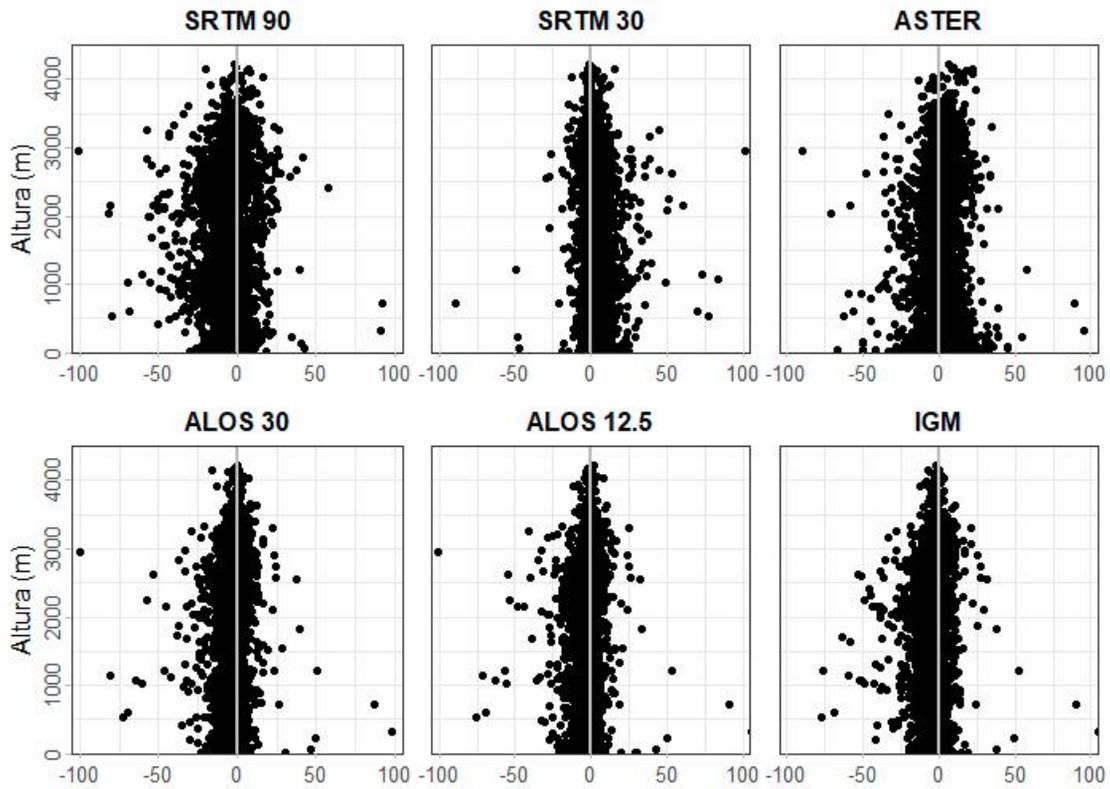


Figura 5. Dispersión de la diferencia de alturas ortométrica con el MG EGM 96.

En el análisis espacial de valores atípicos con el método I local de Moran que se observa en la Figura 6. Se identifica un comportamiento similar en la tipología y ubicación de los valores atípicos en los MDTs SRTM, ALOS PALSAR e IGM, donde la mayor cantidad de valores atípicos están presentes en la cordillera de los Andes. El MDT ASTER GDEM se

caracteriza por tener una cantidad considerable de diferencias con un valor alto rodeadas de diferencias con un valor bajo en la zona noreste del Ecuador. Todos los MDTs presentaron un 3% de valores atípicos altos- bajos y un 2% de valores atípicos bajos- altos.

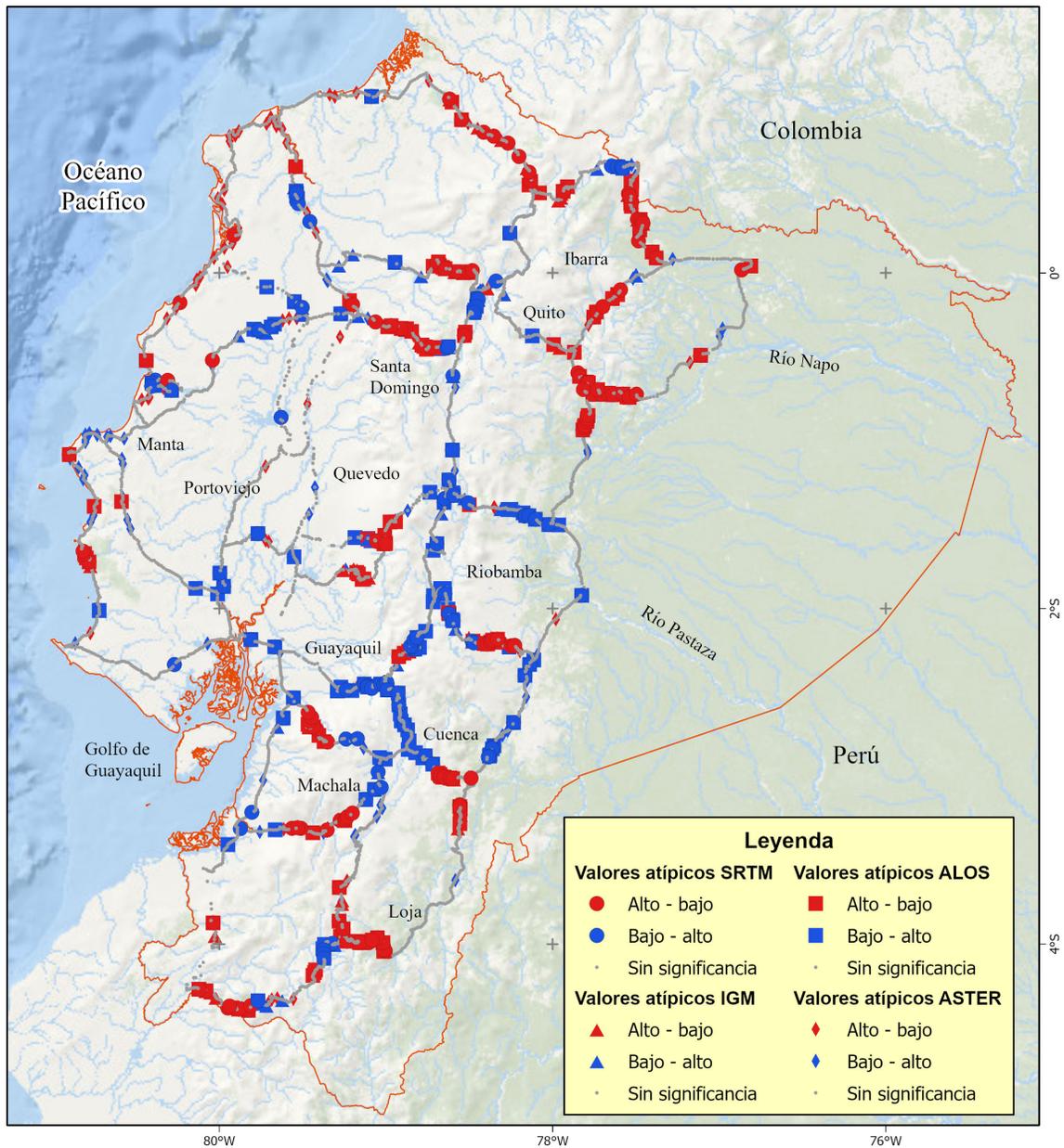


Figura 6. Análisis de valores atípicos de las diferencias de las alturas ortométricas con el MG EGM 96.

Se determinó la distribución espacial de las diferencias entre los MDTs que tenían como altura original a la altura ortométrica, por esta razón se excluyó al MDT ALOS PALSAR del análisis. En la Figura 7 se observa la diferencia entre los MDTs IGM y SRTM, donde se destaca una zona de altas dife-

rencias ubicada entre las provincias de Sucumbíos y Orellana. Al analizar los modelos por separado, se descubrió que esta diferencia es causada debido a que el MDT del IGM tiene zonas con un valor constante de altura.

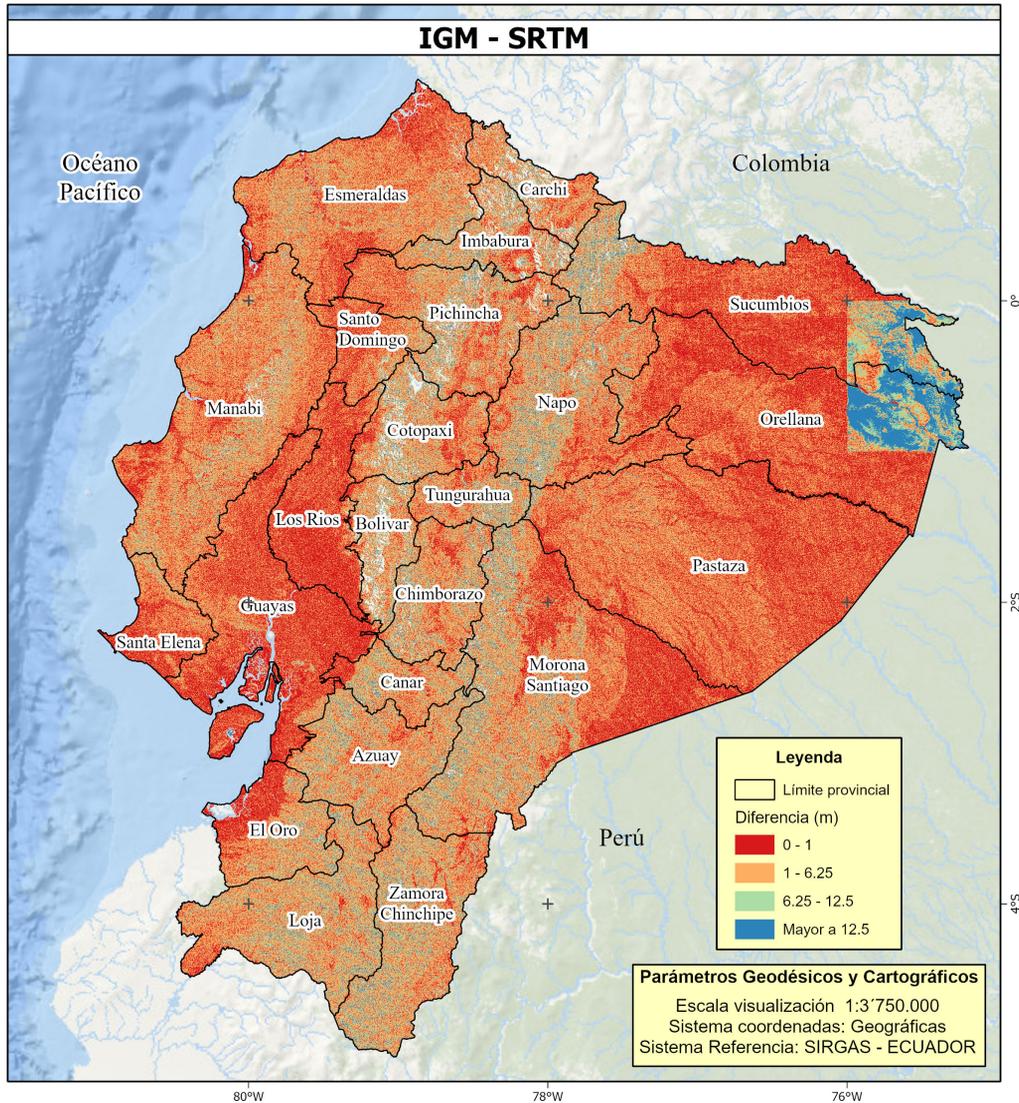


Figura 7. Diferencia entre los MDTs IGM y SRTM.

Para cuantificar lo observado en la Figura 7, se generó un diagrama de barras con la clasificación de diferencias entre los MDTs. Según la Figura 8, el 96% de las diferencias son menores a la tolerancia de la escala 1:50.000 (12,5 metros), de esta manera se puede considerar que estos modelos pueden complementarse para suplir sus deficiencias, por ejemplo, la falencia del modelo SRTM es la cobertura del 93% del territorio continental, mientras que el MDT IGM cubre el 100%.

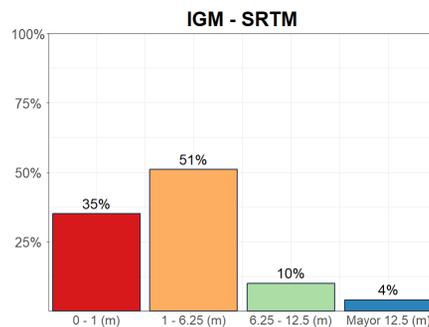


Figura 8. Diagrama de barras de diferencia entre los MDTs IGM y SRTM.

En la Figura 9 se observa que las tonalidades que prevalecen en el mapa de diferencias entre los MDTs IGM y ASTER se encuentran en los intervalos comprendidos entre 1 y 12,5 metros. Con el diagrama de barras de la Figura 10, se demues-

tra que el 63% de las diferencias se encuentran en el rango entre 1 y 12,5 metros, y aunque existe una reducción considerable del porcentaje de diferencias que son menores a la tolerancia de la escala 1:50.000, apenas el 70% de las diferencias son menores.

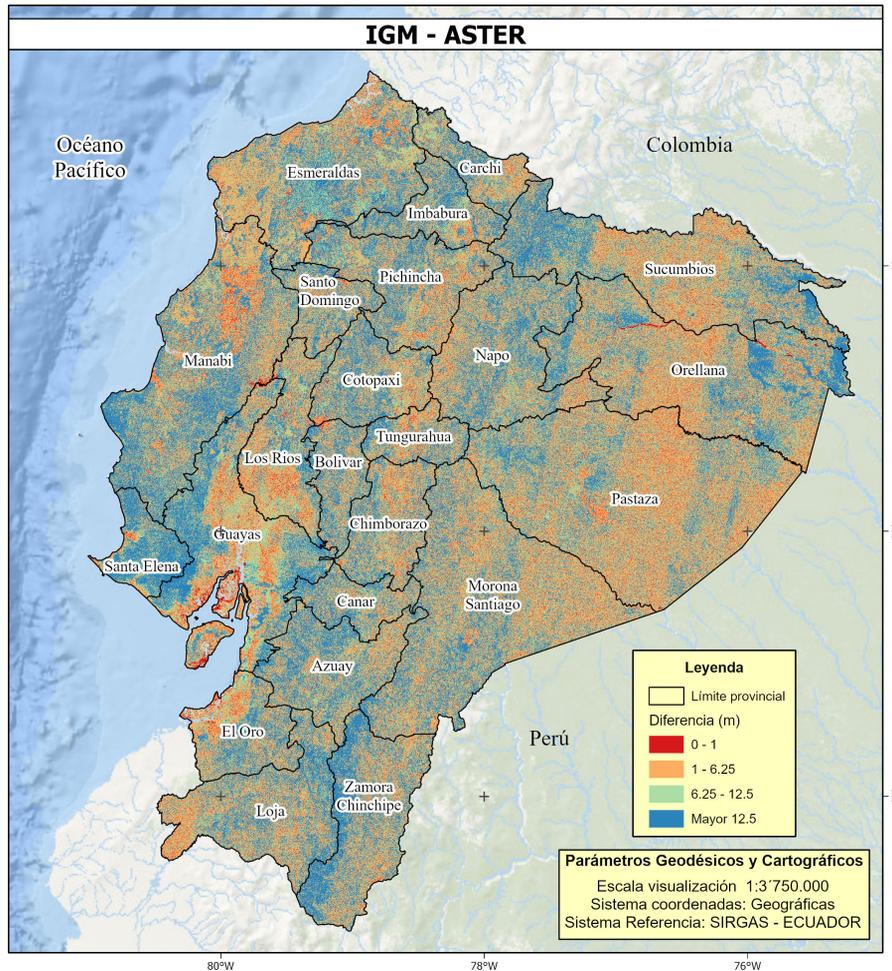


Figura 9. Diferencia entre los MDTs IGM y ASTER.

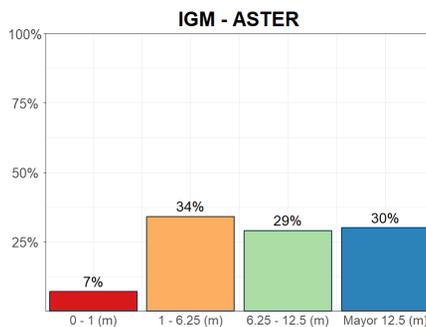


Figura 10. Diagrama de barras de diferencia entre los MDTs IGM y ASTER.

En el mapa de diferencias de la Figura 11 se observa un comportamiento similar al mapa de diferencias de la Figura 9. Al analizar el diagrama de barras de la Figura 12 se constata que el comportamiento es el mismo, ya que los porcentajes de los rangos de diferencias son iguales al de la Figura 9. Cuando se analizaron las diferencias entre los MDTs IGM y SRTM se destacó una zona de altas diferencias entre las provincias de Sucumbios y Orellana. En la Figura 11 se observa unos rastros de esa zona, mientras que en la Figura 12 esta zona desaparece.

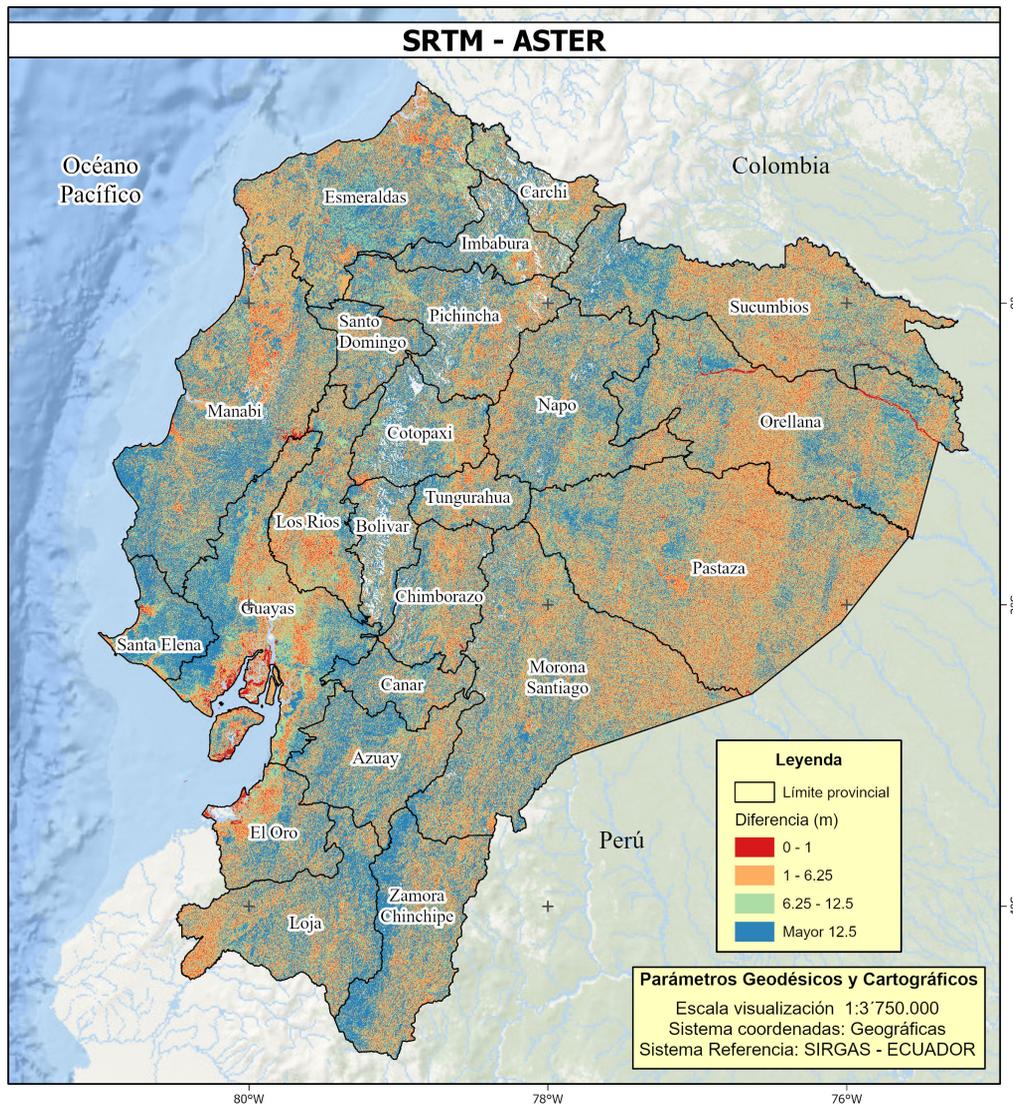


Figura 11. Diferencia entre los MDTs SRTM y ASTER.

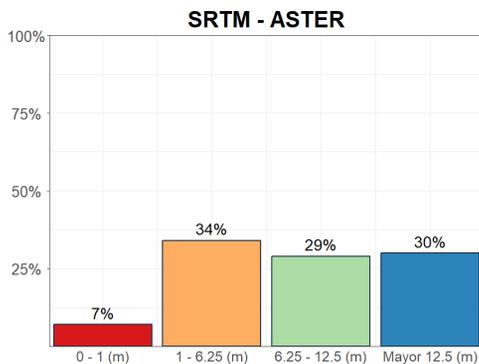


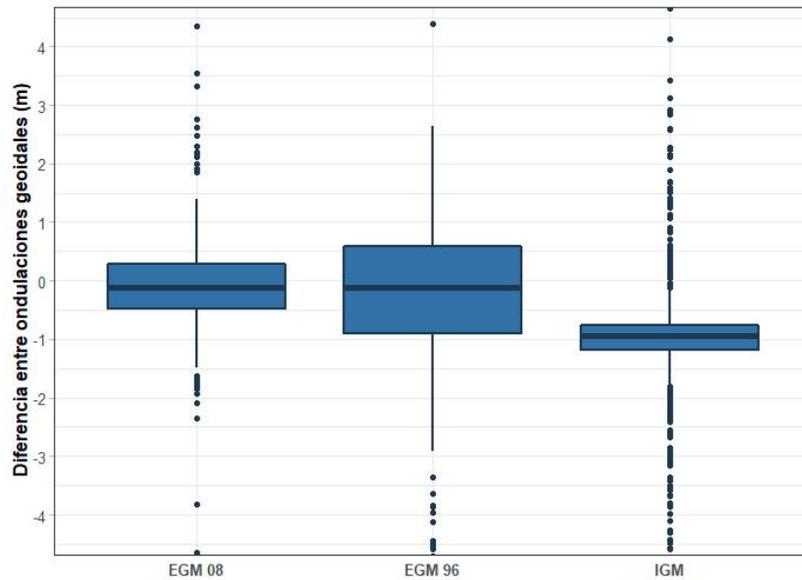
Figura 12. Diagrama de barras de diferencia entre los MDTs SRTM y ASTER.

### 3.2 Evaluación de los MGs

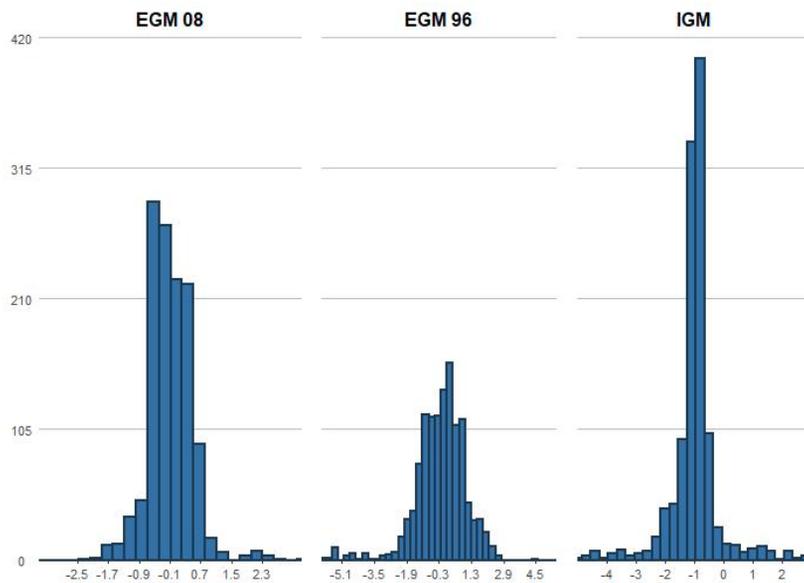
Se analizó la distribución de las diferencias entre las pseudo ondulaciones geoidales calculadas a partir de la información capturada en campo respecto a las ondulaciones geoidales obtenidas de los MGs. En las Figuras 13 y 14 y en la Tabla 3 se observa que la caja del MGs tiene simetría respecto a la mediana, el MG EGM 96 tiene una mediana similar a la del MG EGM 08 y la caja del MG IGM tiene la menor extensión de todas.

**Tabla 3.** Valores del diagrama de caja de los MGs.

	<b>EGM 08</b>	<b>EGM 96</b>	<b>IGM</b>
Máximo	1,38	2,65	-0,12
Q3	0,29	0,59	-0,75
Mediana	-0,12	-0,12	-0,94
Q1	-0,47	-0,90	-1,17
Mínimo	-1,48	-2,92	-1,81



**Figura 13.** Diagrama de caja de la diferencia de los MGs.



**Figura 14.** Histograma de la diferencia de los MGs.

En la Figura 15 se observa la dispersión de las diferencias de la ondulación geoidal respecto a la altura de evaluación, donde las diferencias de los MGs EGM 08 e IGM tienden a estar mejor agrupadas alrededor de los 0 metros. Los MGs EGM 08 e IGM

presentan una distribución uniforme de diferencias conforme va aumentando la altura, mientras que el MG EGM 96 muestra una alta dispersión de diferencia entre los 500 y 2000 metros de altura.

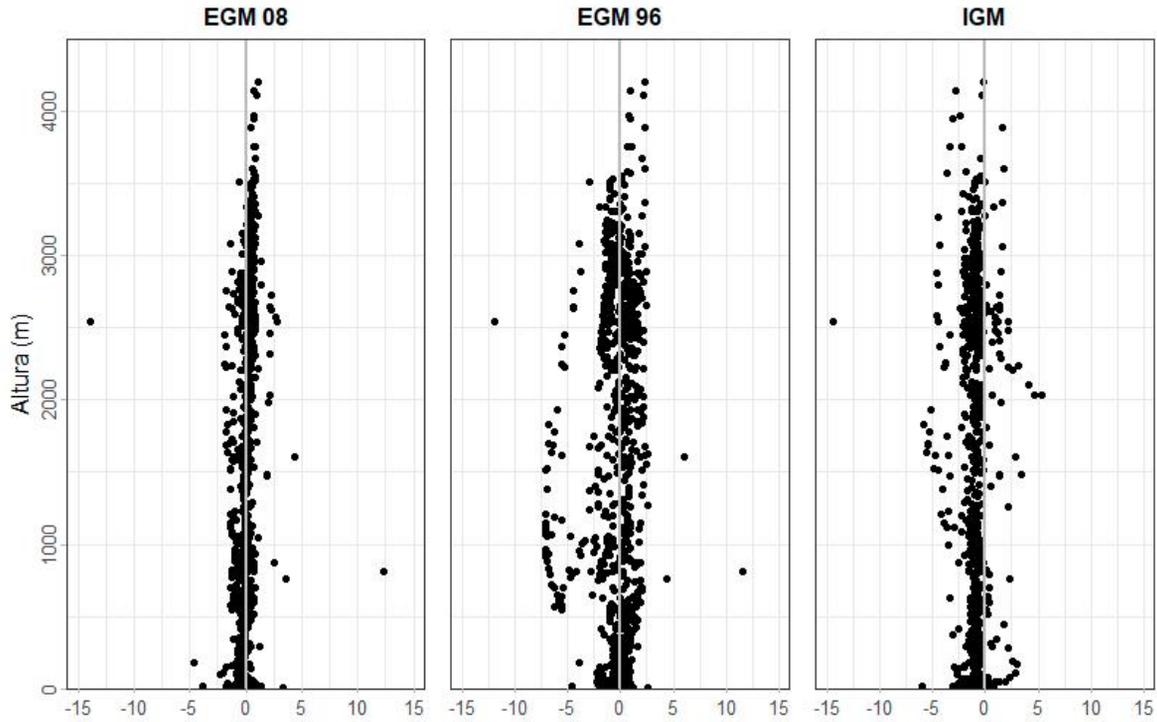


Figura 15. Dispersión de la diferencia de los MGs.

En la Figura 16 se destaca una baja cantidad de valores atípicos en los tres MGs. La evaluación espacial del MG EGM 08 muestra que existen diferencias con valores altos rodeadas de diferencias con valores bajos en la zona norte, mientras que los valores que en la zona sur existen diferencias con valores bajos rodeadas de diferencias con valores altos. El MG EGM 96 a pesar de tener una mínima cantidad de valores atípicos, estos mantienen el comportamiento observado en el MG EGM 08. El MG del IGM no presenta ningún patrón en la dis-

tribución de los valores atípicos.

En la Tabla 4 se muestra el RMSE de los MGs, donde se verifica que el MG EGM 08 tiene la mejor precisión.

Tabla 4. RMSE de los MGs.

MGs	RMSE (m)
EGM 08	0,82
EGM 96	1,67
IGM	1,43

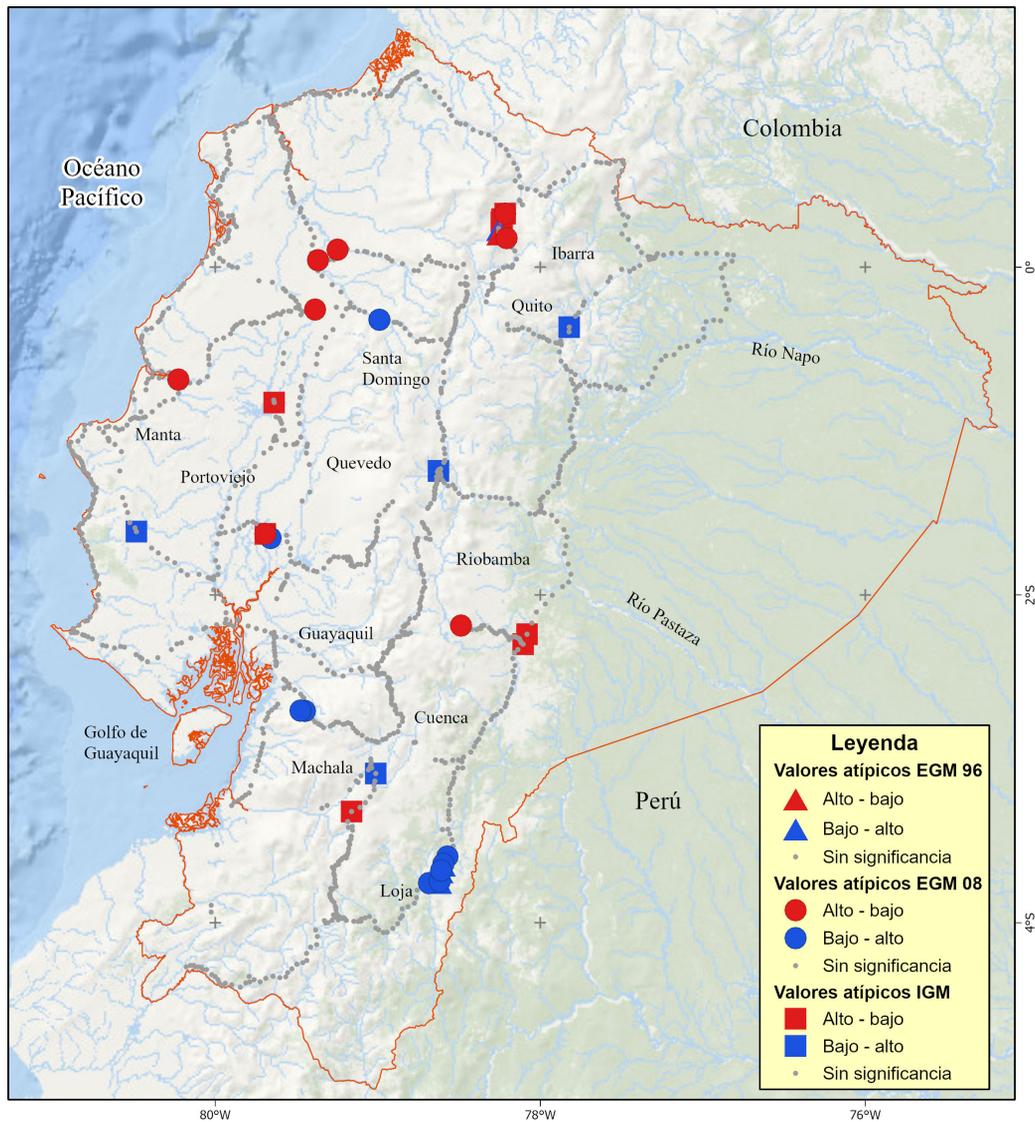


Figura 16. Análisis de valores atípicos de las diferencias de los MGs.

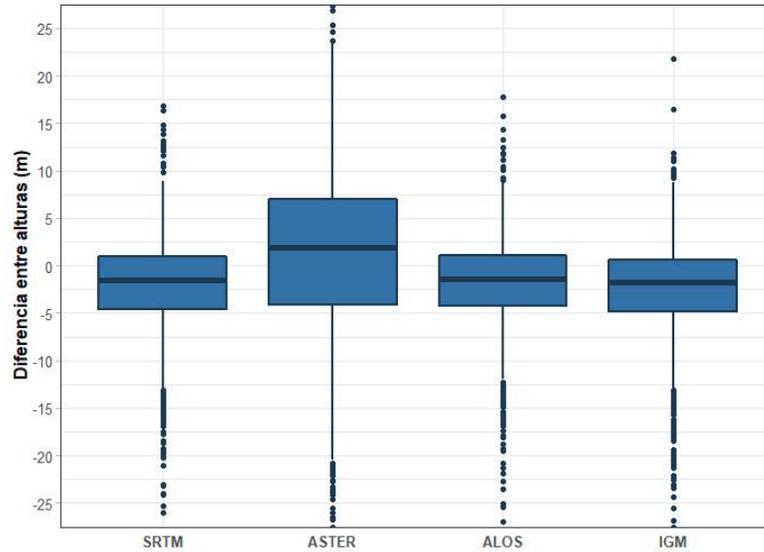
### 3.3 Evaluación de las alturas elipsoidales de los MDTs

Se analizó la distribución de las diferencias entre las alturas elipsoidales capturada en campo respecto a las alturas elipsoidales calculadas a partir de los de MDTs, a excepción del MDT ALOS PALSAR cuyas alturas originales son alturas elipsoidales. Como se

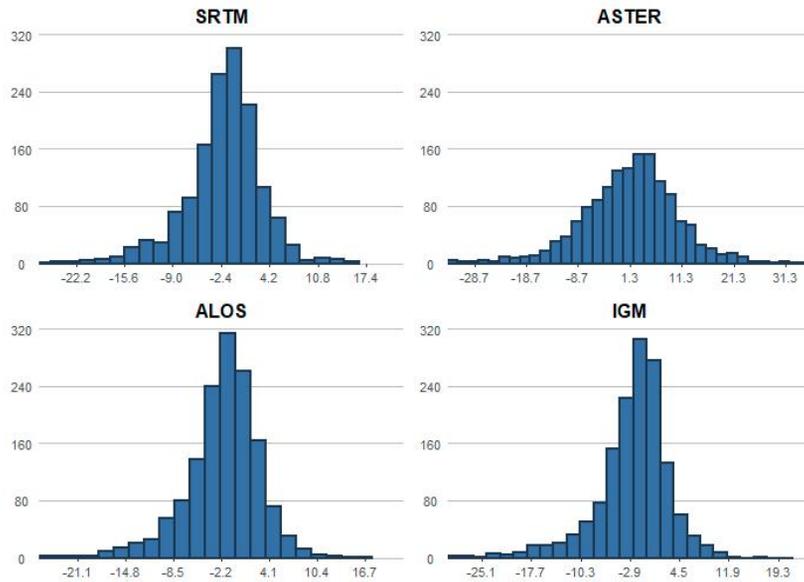
observa en las Figuras 17 y 18 y en la Tabla 5, existe un error: no se encontró el origen de la referencia comportamiento similar al de los diagramas de cajas y de distribución de las diferencias de alturas ortométricas con el MG EGM 96, donde se destaca la simetría y la similitud que existen en el tamaño, ubicación y valores estadísticos de los MDTs SRTM, ALOS PALSAR e IGM.

**Tabla 5.** Valores del diagrama de caja de las alturas elipsoidales.

MDTs	Max	Q3	Med	Q1	Min
SRTM 90	8,95	1,02	-1,50	-4,62	-12,98
ASTER	23,51	7,01	1,91	-4,12	-20,80
ALOS 12.5	8,97	1,05	-1,43	-4,26	-11,94
IGM	8,76	0,66	-1,76	-4,85	-13,10



**Figura 17.** Diagrama de caja de la diferencia de las alturas elipsoidales.



**Figura 18.** Histograma de la diferencia de las alturas elipsoidales.

En la Figura 19 se observa que la dispersión de las alturas elipsoidales presenta el mismo comportamiento que las diferencias de alturas ortométricas de la Figura 5, aunque las diferencias tienen un me-

nor rango de dispersión. En el caso de las alturas ortométricas, las diferencias alcanzan los 100 metros, mientras que con las alturas elipsoidales, las diferencias están en el orden de los 50 metros.

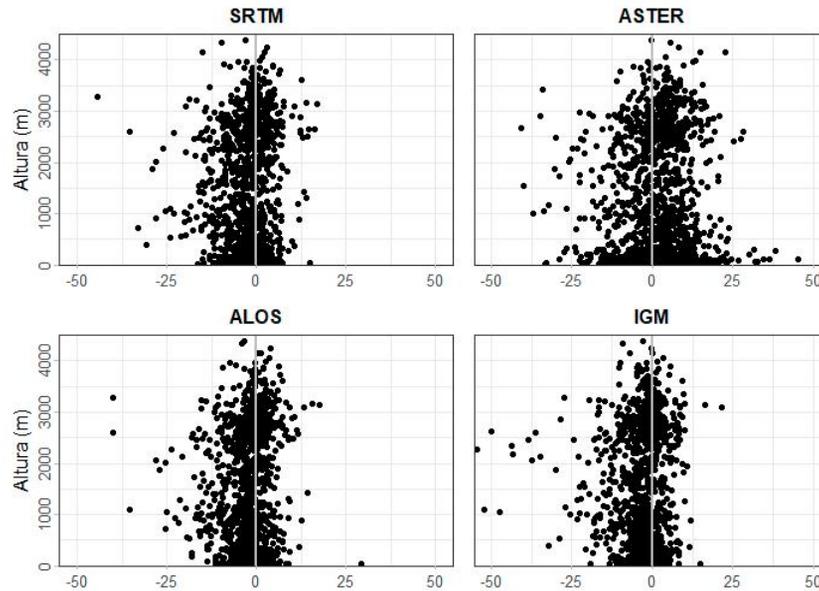


Figura 19. Dispersión de la diferencia de las alturas elipsoidales.

En la Figura 20 se identifica un comportamiento similar en la tipología y ubicación de los valores atípicos en los MDTs SRTM, ALOS PALSAR e IGM, donde la mayor cantidad de valores atípicos de diferencias con valores altos rodeadas de diferencias con valores bajos están presentes en el sur del Ecuador, mientras que existe una mayor presencia de valores atípicos de diferencias con valores bajos rodeadas de diferencias con valores altos en el centro y

norte del país. El MDT ASTER GDEM no presenta zonas en donde exista una predominancia de algún tipo de valor atípico. Los porcentajes de valores atípicos de las alturas elipsoidales respecto a los valores atípicos de las alturas ortométricas originales de los MDTs sufren una ligera reducción en el porcentaje de valores atípicos altos-bajos y sufren un ligero incremento en el porcentaje de valores atípicos bajos-altos.

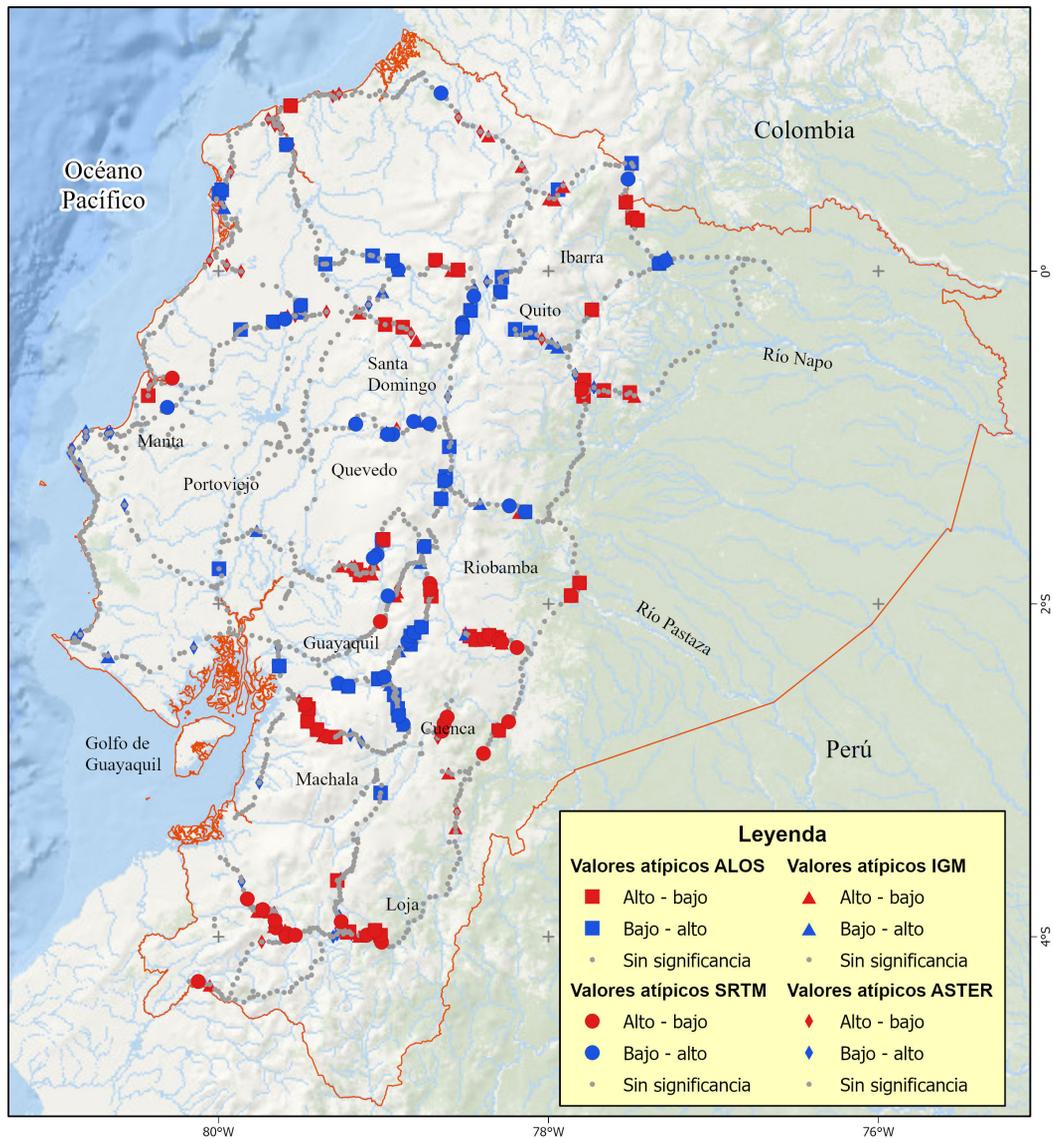


Figura 20. Análisis de valores atípicos de las diferencias de las alturas elipsoidales.

### 3.4 Evaluación de la altura ortométrica de los MDTs con el MG EGM 08

Se calcularon nuevas alturas ortométricas para los MDTs a partir del reemplazo del MG EGM 96 por el MG EGM 08. En el caso del MDT ALOS PALSAR, se utilizó la Ecuación 1 y el MG EGM 08 para obtener la nueva altura ortométrica. Los diagramas de

cajas, la dispersión de alturas respecto a la altura de evaluación y el análisis de valores atípicos no variaron visualmente respecto de la evaluación de alturas ortométricas de los MDTs con el MG EGM 96, pero existió una ligera mejora en el RMSE. En la Tabla 6 se observa los resultados del análisis de RMSE de los MDTs con alturas ortométricas con los MGs EGM 96, 08 y alturas elipsoidales.

**Tabla 6.** RMSE de los distintos sistemas de alturas de los MDTs.

MDTs	Ortométrica EGM 96 (m)	Ortométrica EGM 08 (m)	Elipsoidal (m)
SRTM 90	11,20	11,19	10,25
SRTM 30	7,97	7,92	7,06
ASTER	10,76	10,71	10,05
ALOS 30	7,75	7,67	6,87
ALOS 12.5	7,57	7,47	6,74
IGM	8,54	8,50	7,96

## 4 Discusión

Mancero y col. (2015) utilizaron 28 puntos para evaluar el MDT SRTM de 90 metros en las zonas de Carchi, Imbabura y Pichincha, las cuales se encuentran ubicadas en la parte norte del Ecuador. Como resultado se determinó que el modelo tiene un RMSE de 21 (m), destacando que los sitios con alta pendiente tienen una influencia sobre la precisión vertical, vacíos de datos y el signo de los errores, mientras que en los sitios de baja y media pendiente, los errores son menores. El RMSE obtenido en Mancero et al. (2015) difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que los puntos empleados en la presente investigación fueron capturados en las vías del Ecuador, y es por ello que las alturas se adaptaron mejor a la forma del terreno respecto a las alturas capturadas en zonas de alto relieve o donde prevalezca la vegetación.

Falorni y col. (2005) utilizaron 112 puntos para evaluar el MDT SRTM en las cuencas de los ríos Washita y Tolt, en Estados Unidos. Washita se caracteriza por tener una topografía con bajo relieve a excepción de las colinas más empinadas ubicadas en la parte central del norte de la cuenca. Tolt se caracteriza por una topografía cambiante desde las escarpadas montañas de la parte más oriental de la cuenca, con un alto relieve y pendientes pronunciadas hasta las llanuras tierras bajas. La diferencia con National Geodetic Survey (NGS) fue de 7,18 RMSE, mientras que con GPS fue de 8,94 RMSE. Hirt, Filmer y Featherstone (2010) determinaron que el MDT SRTM de 90 metros para Australia tiene un RMSE de 6 metros. Con todos los resultados expuestos, se demuestra que el RMSE obtenido del MDT SRTM en ambas resoluciones están dentro del rango esperado.

Tierra (2009) utilizó 144 puntos para evaluar la

precisión de los modelos geopotenciales globales (MGGs) EGM 96 y EGM 08 en el Ecuador continental y determinó que el MG EGM96 tiene una desviación estándar de 1,35 metros, mientras que el MG EGM08 tiene una desviación estándar de 0,93 metros. Los resultados obtenidos en Tierra (2009) concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación, confirmando la mejora que existe entre el MG EGM 08 respecto al MG EGM 96, aunque en ambos casos se utilizaron pseudo ondulaciones geoidales para evaluar a los MGs. Debido a que en Tierra y Acurio (2014) no se detallan los procesos de evaluación del MG del IGM, es difícil definir el motivo de discrepancia con el resultado que obtuvo, pero la presente investigación mantiene el RMSE obtenido, ya que se presentó los estadísticos que los respaldan.

Kotsakis y col. (2010) usaron 1542 puntos que contaban con datos de GPS y nivelación de la red de triangulación nacional helénica para evaluar la precisión del MG EGM 08, determinando una desviación de 0,14 metros. Martínez y Bethencourt (2012) utilizaron la línea de nivelación geométrica de alta precisión existente en Puerto Rico, con una longitud de 160 kilómetros, para determinar la precisión de los MGs EGM 96 y EGM 08, determinando que la desviación estándar del MG EGM96 es de 0,055 metros, mientras que el EGM08 fue de 0,029 metros. Ambos estudios demuestran cómo el relieve tan pronunciado que tiene Ecuador influye en la pérdida de precisión.

## 5 Conclusiones

El MDT ALOS PALSAR mostró las mejores características estadísticas, tanto con las alturas ortométricas como con las alturas elipsoidales. Los MDTs SRTM 30, ALOS PALSAR de 30 y 12,5 metros e IGM

pueden ser empleados en proyectos que requieran una precisión vertical inferior a los 10 metros o generar cartografía a escala menor a 1:50 000, en cualquier sistema de altura, ya sea altura elipsoidal o altura ortométrica.

La resolución espacial es un factor que influye directamente en la precisión vertical de los MDTs. El MDT SRTM de 30 metros mejora alrededor de 3 metros el RMSE en todos los sistemas de alturas respecto al MDT SRTM de 90 metros, mientras que el MDT ALOS PALSAR de 12,5 metros mejora en el orden de los 20 centímetros el RMSE respecto al MDT ALOS PALSAR de 30 metros.

La evaluación de los MGs permite determinar que el MG EGM 08 se puede utilizar en proyectos que requieran alturas ortométricas con una precisión vertical inferior a los 1,25 metros o una escala menor a 1:5 000, siempre y cuando las alturas elipsoidales tengan una precisión centimétrica mayor a los 40 centímetros. Los MGs EGM 96 e IGM pueden ser utilizados en proyectos que requieran una altura ortométrica con precisión inferior a los 2,5 metros o una escala de trabajo menor a 1:10 000, siempre y cuando las alturas elipsoidales tengan precisión centimétrica mayor a los 80 centímetros.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Geoint CÍA LTDA por facilitar el acceso al software utilizado y al Instituto Geográfico Militar por facilitar la información del proyecto de nivelación geométrica y el modelo digital de elevación, insumos sin los cuales no se podría haber llevado a cabo esta investigación.

## Referencias

Abbondati, F. y col. (2020). «Rural Road reverse engineering using bim: an italian case study». En: *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering*. Ed. por Department of Construction Economics Property Vilnius Gediminas Technical University. Vol. 11, págs. 1-7.

Alaska Satellite Facility (2021). *ALOS PALSAR – Radiometric Terrain Correction*.

Anselin, L. (1995). «Local indicators of spatial association-LISA». En: *Geographical analysis* 27.2, 93-115. Online: <https://n9.cl/buf79h>.

Cañizares, E. (2015). «Análisis del Sistema de Alturas para la Red de Control Básico Vertical del Ecuador». Tesis de maestría. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Drewes, H. y col. (2002). «Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system». En: *Vertical Reference Systems: IAG Symposium Cartagena, Colombia, February 20-23, 2001*, págs. 297-301.

ESRI (2020). *Cómo funciona Análisis de clúster y de valor atípico (I Anselin local de Moran)*.

Falorni, G. y col. (2005). «Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission». En: *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 110.F2, Online: <https://n9.cl/xtg90>.

Federal Geographic Data Committee (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*. U.S. Geological Survey.

Gil-Docampo, M. y col. (2023). *3D geometric survey of cultural heritage by UAV in inaccessible coastal or shallow aquatic environments*. Inf. téc. Archaeological Prospection.

Hirt, C., M. Filmer y W. Featherstone (2010). «Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4. 1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia». En: *Australian Journal of Earth Sciences* 57.3, 337-347. Online: <https://n9.cl/2l9cp>.

Kotsakis, C. y col. (2010). «Gravity, Geoid and Earth Observation». En: *International Association of Geodesy Symposia*. Cap. Evaluation of EGM08 Using GPS and Leveling Heights in Greece, págs. 481-488.

Lemoine, F. y col. (1998). *The development of the joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96*. Inf. téc. National Aeronautics and Space Administration, Greenbelt.

Li, Z., C. Zhu y C. Gold (2004). *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.

Luna, M. P. y col. (2017). «Methodological approach for the estimation of a new velocity model for continental Ecuador». En: *Open Geosciences* 9.1, págs. 719-734.

Mancero, H. y col. (2015). «Evaluación de Modelos Digitales de Elevación obtenidos por diferentes sensores remotos». En: *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, págs. 107-111.

Martínez, E. y A. Bethencourt (2012). «Comparación de la precisión de los Modelos Geopotenciales EGM96 y EGM08 en la zona del Caribe». En: *X Topcart 2012. I Congreso Iberoamericano de Geomática y Ciencias de la Tierra*.

McClean, F., R. Dawson y C. Kilsby (2020). «Implications of using global digital elevation models for flood risk analysis in cities». En: *Water Resources Research* 56.10, e2020WR028241.

Orejuela, I.P. y col. (2021). «Geoid undulation modeling through the Cokriging method—A case study of Gua-

- yaquil, Ecuador». En: *Geodesy and Geodynamics* 12.5, págs. 356-367.
- Pavlis, N. y col. (2012). «The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)». En: *Journal of geophysical research: solid earth* 117. Online: <https://n9.cl/f0ntr7>.
- Rabus, B. y col. (2003). «The shuttle radar topography mission-a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar». En: *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 57.4, 241-262. Online: <https://n9.cl/hkgft>.
- Sánchez, L. (2015). «IAG Resolutions Adopted by the IAG Council at the XXVIth IUGG General Assembly». En: *XXVIth IUGG General Assembly*. Praga: IAG.
- Seeber, G. (1993). *Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications*. Walter de Gruyter GmbH y Co. KG.
- Sinde-González, I. y col. (2021). «Biomass estimation of pasture plots with multitemporal UAV-based photogrammetric surveys». En: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 101, pág. 102355.
- Tachikawa, T. y col. (2011). *ASTER global digital elevation model version 2-summary of validation results*. Inf. téc. NASA.
- Tierra, A. (2009). «Evaluación del EGM08 y EGM96 en el Ecuador a partir de datos de GPS y nivelación geométrica». En: *Revista Geoespacial* 6, 72-80. Online: <https://n9.cl/udlci>.
- Tierra, A. y V. Acurio (2014). «Modelo Neuronal Geoidal Geométrico del Ecuador Continental - MNGGE14». En: *Simposio SIRGAS 2014*.
- Villasenín, S. Peña, M. Gil-Docampo y J. Ortiz-Sanz (2017). «3-D modeling of historic façades using SFM photogrammetry metric documentation of different building types of a historic center». En: *International Journal of Architectural Heritage* 11.6, págs. 871-890.
- Zafar, S. y A. Zaidi (2019). «Impact of urbanization on basin hydrology: a case study of the Malir Basin, Karachi, Pakistan». En: *Regional Environmental Change* 19, págs. 1815-1827.



## PRIMER INFORME DE BACTERIAS ENDOFÍTICAS AISLADAS DE *Senecio glaucus* L., EGIPTO

### FIRST REPORT OF ENDOPHYTIC BACTERIA ISOLATED FROM *Senecio glaucus* L., EGYPT

Mohammed Sabry Sultan\*, Ashraf Elsayed, y Yasser Ahmed El-Amier

Botany Department, Faculty of Science, Mansoura University, Mansoura, 35516, Egypt.

\*Autor para correspondencia: mohammedsoltan915@gmail.com

Manuscrito recibido el 15 de febrero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 28 de junio de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

#### Resumen

Los microorganismos están naturalmente asociados con las plantas. El presente experimento se llevó a cabo para aislar bacterias endófitas de las células internas de raíces, tallos, hojas y Tejido capitular de *Senecio glaucus* recolectadas en 2 hábitats diversos (costeros y desérticos) de Egipto. Del aislamiento se obtuvieron un total de 10 bacterias endófitas; la mayor diversidad de endófitos bacterianos se observó en raíces y hojas de muestras del desierto. Los aislamientos se reconocieron con base en la morfología, la bioquímica y los genes de la secuencia del ARNr 16S. Todos estos aislados indican la capacidad de producir enzimas como amilasa, celulasa, lipasa, catalasa y proteasa en sus descripciones bioquímicas; los análisis también mostraron una indicación significativa de su potencial para producir hormonas de crecimiento vegetal; como su capacidad para disolver el fosfato. En el mundo y en Egipto, somos los primeros en reportar endófitos bacterianos aislados de *Senecio glaucus*. Este estudio podría ayudar a determinar el papel de las bacterias endófitas en hábitats severos, así como sus posibles aplicaciones en medicina, biorremediación, agricultura e industria.

**Palabras clave:** Endófitos bacterianos, Bioquímica, 16S rRNA, *Senecio*, *Asteraceae*.

#### Abstract

Microorganisms are naturally associated with plants in several ways. The study was conducted to isolate bacteria endophytes from the internal cells of roots, stems, leaves, and capitula of *Senecio glaucus* collected from 2 diverse (coastal and desert) habitats in Egypt. A total of 10 endophytic bacteria were obtained from the isolation; the highest diversity of bacterial endophytes was observed in desert samples roots and leaves. The isolates were recognized based on morphology, biochemical and 16S rRNA sequence genes. All isolates indicated the ability for enzyme production as

amylase, cellulase, lipase, catalase, and protease in their biochemical descriptions; analyses also gave a significant indication of their potential to produce plant growth hormones, as their ability to dissolve Phosphate. In the world and Egypt, we are the first to report bacterial endophytes isolated from *Senecio glaucus*. This study could aid in determining the role of endophytic bacteria in severe habitats, as well as their potential applications in medicine, bioremediation, agriculture, and industry.

**Keywords:** Bacterial endophytes, Biochemical, 16S rRNA, *Senecio*, *Asteraceae*.

---

Forma sugerida de citar: Sabry Sultan, M., Elsayed, A. y Ahmed El-Amier, Y. (2023). Primer informe de bacterias endofíticas aisladas de *Senecio glaucus* L., Egipto. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):82-95. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.06>.

---

IDs Orcid:

Mohammed Sabry Sultan: <http://orcid.org/0000-0001-7030-7866>

Ashraf Elsayed: <http://orcid.org/0000-0003-2122-767X>

Yasser Ahmed El-Amier: <http://orcid.org/0000-0001-8920-8278>

## 1 Introducción

La definición de un endófito sigue siendo un tema debatible hoy en día. Se dice que las bacterias que se aíslan de los tejidos internos de la planta y que no causan ningún daño a su huésped se clasifican como endófitas. Otras descripciones indican que la ocupación bacteriana ocurre en los tejidos internos de la planta. El altruismo, el comensalismo, la simbiosis o la pasividad a la patogenicidad se han utilizado para describir esta interacción endófito única del huésped; por lo tanto, en las relaciones específicas involucradas, la colonización interna de las plantas por bacterias constituye un nicho ecológico vasto y, sin embargo, poco investigado (Kobayashi y Palumbo, 2000; Hallmann y col., 1997). La diversidad bacteriana que se ha descrito como endófitos abarca una variedad de importantes bacterias Gram negativas y Gram positivas que contienen géneros de alfa, beta y gamma-proteobacterias, bacteroides, actinobacterias y firmicutes (Bacon e Hinton, 2007; Lodewyckx y col., 2002).

Casi 1250 especies de *Senecio* están ampliamente distribuidas y comprenden unas 6 especies que se encuentran en Egipto, entre ellas *S. glaucus*, *S. flavus*, *S. aegyptius*, *S. Vulgaris*, *S. hoggariensis* y *S. belbaysius*. Este género es importante por sus propiedades farmacológicas, botánicas y toxicológicas (Singh, Satish y Manisha, 2017; Nori-Shargh, Raftari y Deyhimi, 2008). Un estudio sobre el examen fitoquímico de los extractos de *Senecio* reveló propiedades antioxidantes, antimicrobianas, citotóxicas (Tundis y col., 2009), antiinflamatorias, insecticidas y antivirales (Sultan, Elsayed y El-Amir, 2022; El-Amier, Abdelghany y Abed Zaid, 2014; Joshi, Sah y Mishra, 2013; Kahrman y col., 2011).

Las especies de *Senecio* que habitan en las llanuras arenosas y en las cuevas del desierto se utilizan como sedante del sistema nervioso central, diurético y emético en Egipto (Eissa y col., 2014). *Senecio glaucus* L. (Morrar) es una hierba anual que crece en Egipto y tiene dos subespecies *S. glaucus* subsp. *coronopifloius* (Maire) C. Alexander. Subsp. *coronopifloius* y *S. glaucus* L. subsp. *glaucus* que crecen en áreas desérticas, suelos salinos, arenas costeras y bordes de cultivo y en Egipto el más común es subsp. *glaucus* Boulos 2002. Los endófitos pueden beneficiar a las plantas indirectamente al mejorar las infecciones del herbívoro o la resistencia al estrés, o

por otros procesos que aún no se conocen (Schulz y Boyle, 2005). En varios estudios se ha encontrado que los endófitos pueden proteger a sus huéspedes de la sequía (Clay y Schardl, 2002).

Según Waller y col. (2005), las plantas infectadas con endófitos mostraron tolerancia a la sal y a la temperatura. Los endófitos actúan como desencadenantes biológicos para estimular la respuesta al estrés de forma más rápida que las plantas no simbióticas, promoviendo el crecimiento de las plantas y protegiéndolas para reducir enfermedades de insectos y plagas, según Redman y col. (2002).

Las bacterias endófitas pueden solubilizar el fosfato y proporcionar nitrógeno asimilable a las plantas (Rosenblueth y Martínez-Romero, 2006). Además, las interacciones entre plantas y bacterias endófitas pueden ayudar en los procesos de restauración de ecosistemas, protegiendo a las plantas del estrés biótico y abiótico y promoviendo la producción de metabolitos secundarios importantes (Mowafy y col., 2021; Cheng y col., 2019; Müller y col., 2015; Alavi y col., 2013).

El trasfondo genético de las especies de hospederos vegetales, la idoneidad, los nutrientes y los nichos ecológicos (Jia y col., 2016), las circunstancias ambientales, los genotipos de los hospederos, las especies bacterianas (Chebotar y col., 2015), y la etapa de desarrollo del hospedero y la densidad del inóculo (Dudeja y Giri, 2014), tienen un impacto significativo en la población de bacterias endófitas.

Se descubrieron algunas bacterias resistentes al frío en las raíces y las hojas de *Senecio vulgaris* y se definieron como unidades taxonómicas operativas bacterianas básicas y se informó de que tenían un fuerte efecto antibacteriano aparente y la capacidad de sobrevivir en ambientes extremadamente bajos, secos y contaminados con rayos UV (Gaspard y Rice, 1989; Koo y col., 2016; Vishnivetskaya, Kathariou y Tiedje, 2009).

Los endófitos son ventajosos para *S. vulgaris* (Cheng y col., 2019; Singh y col., 2016), y su aplicación al arroz resultó en una reducción de la acumulación de arsénico y la generación de IAA, lo que ayuda en la promoción del crecimiento; la resistencia a metales pesados, particularmente la tolerancia al cadmio; la capacidad de fijación de nitrógeno

(Purchase, Miles y Young, 1997); y la promoción del crecimiento de plantas de maíz y lechuga (Gamel y col., 2017; Chabot, Antoun y Cescas, 1996).

Debido a su larga historia de uso en la medicina tradicional y la selección en una variedad de hábitats climáticos, edáficos y bióticos en lugares geográficamente diferentes, *S. glaucus* presenta una gran diversidad. Se informó de que existen entre  $10^2$  y  $10^4$  poblaciones de bacterias endofíticas por gramo de tejido vegetal (Kobayashi y Palumbo, 2000). Este estudio tiene como objetivo evaluar la variedad de comunidades de endofitos bacterianos aislados de *S. glaucus* en dos hábitats diferentes en Egipto: Ciudad Gamasa (costa mediterránea) y Wadi Araba (desierto oriental).

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Recolección del material vegetal

Se tomaron al azar plantas enteras sanas de *S. glaucus* en las fases de floración de dos localidades separadas: Wadi Araba (Desierto Oriental,  $29^{\circ}4'23.72''N$   $32^{\circ}25'38.49''E$ ) y Ciudad Gamesa (costa mediterránea,  $31^{\circ}26'58.78''N$   $31^{\circ}28'36.14''E$ ) para el aislamiento de endofitos bacterianos. Las muestras se envasaron en bolsas de plástico limpias y se transportaron al Laboratorio de Microbiología para su posterior análisis, como se muestra en la Figura 1.

### 2.2 Aislamiento y purificación de los endofitos

El aislamiento y purificación de los endofitos se realizó de acuerdo con el procedimiento de Bacon e Hinton (2002) utilizando medio de agar LB (1,25 g de extracto de levadura; 2,5 g de peptona; 2,5 g de cloruro de sodio; 3,75 g de agar y 250 ml de agua destilada). Las muestras de plantas se lavaron primero bajo el agua del grifo y luego se separaron en 4 partes, que incluyen raíz, tallo, hoja y cápsula, y luego se esterilizaron en la superficie (Geris dos Santos y col., 2003).

La esterilización superficial se logró enjuagando las partes de la planta con etanol ( $C_2H_5OH$ ) al 70 % durante 30 segundos, luego hipoclorito de sodio (NaOCl) al 0,5 % durante 2-3 minutos y finalmente agua destilada estéril ( $Dil.H_2O$ ) durante 10 minutos (2-3 veces). Después de esto, se secaron los pliegues del material vegetal usando papeles filtrantes estériles.

Con un bisturí esterilizado en llama se retiraron los extremos cortados de los segmentos esterilizados en la superficie y se colocaron en medios de agar LB apropiados, con la superficie cortada tocando el agar. Las máximas colonias posibles de endofitos bacterianos se determinaron mediante la incubación de placas a  $35^{\circ}C$  durante 48 horas.

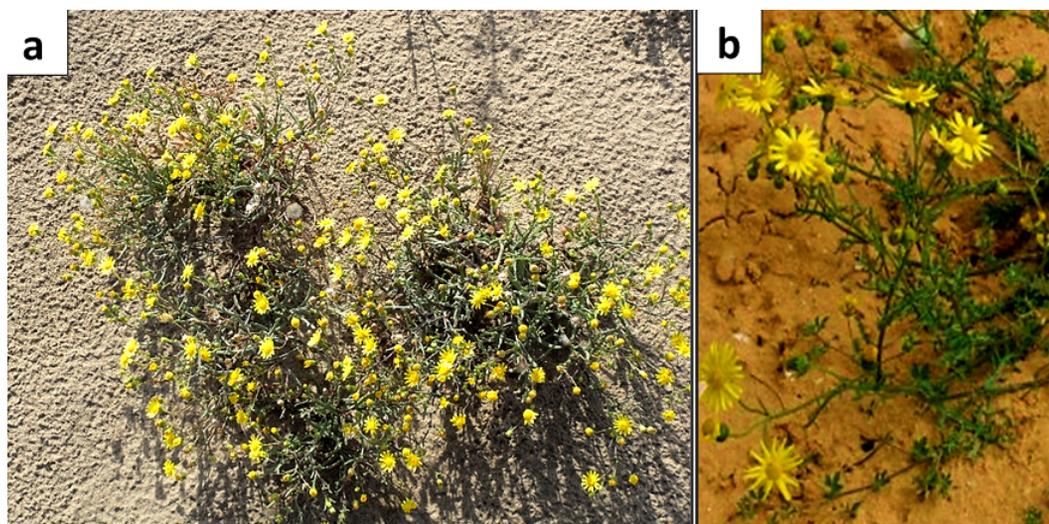


Figura 1. a) Vistas generales de *S. glaucus*, y b) Vistas en primer plano de *S. glaucus* en el área de estudio.

## 2.3 Caracterización de bacterias endófitas

### 2.3.1 Caracterización morfológica

Aneja y col. (2006) y Cappuccino y Sherman (1992) utilizaron el procedimiento de tinción de gram estándar para determinar la forma celular, el color de la colonia y la textura y para definir los aislamientos y establecer la morfología de las células bacterianas.

### 2.3.2 Caracterización bioquímica

Las cepas bacterianas endófitas seleccionadas se caracterizaron bioquímicamente mediante métodos estándar como la prueba de amilasa, la prueba de catalasa, la prueba de lipasa, la prueba de celulasa, la prueba de proteasa, la prueba de nitrato reductasa y la prueba de indol; y se caracterizaron mediante métodos estándar como la prueba de solubilización de fosfato, la prueba de producción de indol, la prueba de producción de ácidos de giberelina y la prueba de producción de sulfuro de hidrógeno (Cappuccino y Sherman, 1992).

### 2.3.3 Secuenciación del gen 16S rRNA

Las bacterias aisladas se identificaron molecularmente utilizando la metodología MicroSeq® 500 16SrRNA Bacterial Identification Kits. Las reacciones de secuenciación se llevaron a cabo en los termocicladores 9700 con un volumen total de 20 l (producto de PCR purificado de 7 l y módulo de secuenciación de 13 l) ajustando el termociclador a

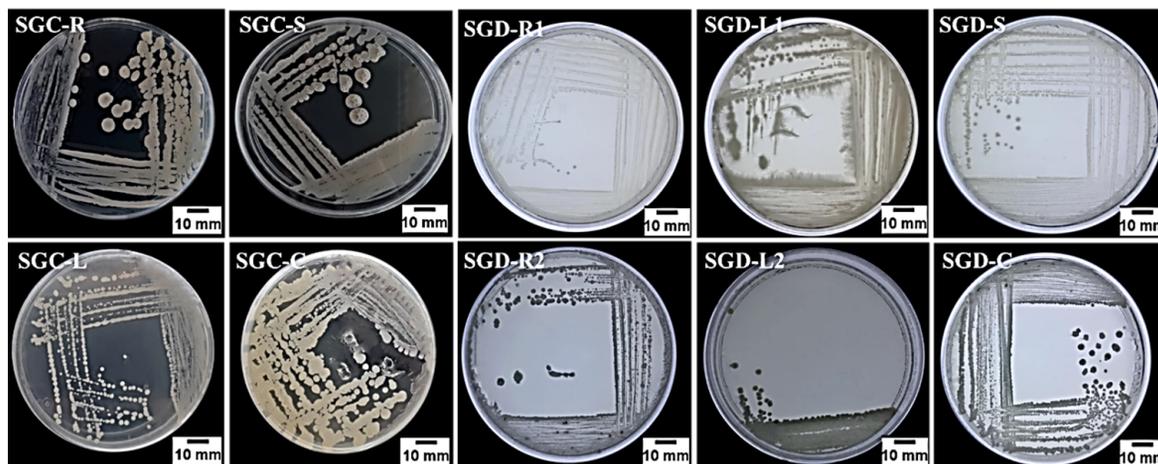
96 °C durante 10 segundos, 50 °C durante 5 segundos y 60 °C durante 4 segundos (25 ciclos). El kit de centrifugado Dye Ex™ 2.0 se utilizó para eliminar el exceso de terminadores de colorantes y cebadores de la reacción de secuenciación del ciclo (Qiagen PN 63204). Para el análisis de las secuencias se utilizó el software Finch TV (versión 1.4.0) y MEGA-X (versión 10.2.5), y el software Seaview para la creación de árboles filogenéticos utilizando las secuencias de los tipos de cepas publicadas más recientemente. Las secuencias de los aislamientos obtenidas en esta investigación fueron sometidas a la base de datos GeneBank del NCBI.

## 2.4 Análisis estadístico

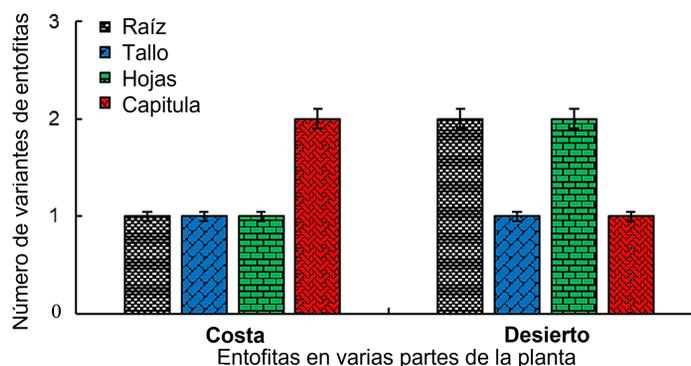
Los ensayos se realizaron por triplicado, calculándose la desviación media estándar (DMS).

## 3 Resultados

En este estudio se aislaron 10 bacterias endófitas de diferentes partes de la planta de *Senecio glaucus* recolectadas en 2 sitios diferentes (4 aislamientos de la planta costera mediterránea y 6 aislamientos de la planta del desierto) en medio L.B agar bajo condiciones asépticas y de acuerdo con la diferencia morfológicas mostrada en las figuras 2 y 3, y con los códigos (SGC-R, SGC-S, SGC-L, SGC-C) para las muestras costeras y (SGD-R, SGD-S, SGD-L, SGD-C) para las muestras del desierto.



**Figura 2.** Endófitos bacterianos aislados de *S. glaucus* SGC-R: *Senecio glaucus* costera, SGC-S: -tallo, SGC-L: -Hoja y SGC-C: -Capitula; SGD-R: *S. glaucus* del desierto, SGD-S: -tallo, SGD-L: -Hoja y SGD-C: - Tejido capitular.



**Figura 3.** Número de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de la planta medicinal *S. glaucus* recolectadas en hábitats costeros y desérticos.

Los aislamientos bacterianos se caracterizaron morfológicamente de acuerdo con la forma de la colonia, margen, elevación, textura y pigmentación como se muestra en la Tabla 1, y se analizaron microscópicamente de acuerdo con la forma de la célula, donde cabe mencionar que todos los aislamientos tuvieron una forma de varilla y coloración de Gram. La muestra costera mostró 3 cepas Gram positivas y 1 cepa Gram negativas; por otra parte, la muestra del desierto mostró 3 cepas Gram positivas y 3 cepas Gram negativas (Tabla 2).

**Tabla 1.** Características morfológicas de colonias de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de la planta medicinal *S. glaucus* recolectadas en hábitats costeros y desérticos en Egipto.

Aislados	Origen del tejido	Caracterización de las colonias					
		Tamaño (mm)	Forma de la colonia	Margen	Elevación	Textura	Pigmentación
<b>Muestra costera</b>							
SGC-R	Raíz	3,5	Irregular	Enrollado	Umbonato	Seco/Áspero	Blanquecino
SGC-S	Tallo	3,7	Irregular	Enrollado	Umbonato	Seco/Áspero	Blanquecino
SGC-L	Hoja	1,5	Irregular	Lobato	Elevado	Seco/Áspero	Blanquecino
SGC-C	Tejido capitular	2,5	Irregular	Enrollado	Umbonato	Seco/Áspero	Blanquecino
<b>Muestra del desierto</b>							
SGD-R1	Raíz	1,2	Circular	Entero	Elevado	Cre moso	Blanco amarillento
SGD-R2		1,4	Irregular	Lobato	Elevado	Seco/Áspero	Blanquecino
SGD	Tallo	1,9	Circular	Entero	Elevado	Cre moso	Blanco amarillento
SGD-L1	Hoja	1,3	Irregular	Filamentoso	Plano	Cre ma Brillante	Amarillo Pálido
SGD-L2		2,1	Circular	Entero	Convexo	Seco/Áspero	Tiza blanca
SGD-C	Tejido capitular	2,5	Irregular	Enrollado	Umbonato	Seco/Áspero	Blanquecino

SGC-R: Raíz costera de *Senecio glaucus*, SGC-S: Tallo costero de *S. glaucus*, SGC-L: Hoja costera de *S. glaucus*, y SGC-C: Capitula costera de *S. glaucus*; SGD-R: Raíz desértica de *S. glaucus*, SGD-S: Tallo desértico de *S. glaucus*, SGD-L: Hoja desértica de *S. glaucus* y SGD-C: Tejido capitular desértico de *S. glaucus*.

**Tabla 2.** Características morfológicas de células de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de la planta medicinal *S. glaucus* recolectadas en hábitats costeros y desérticos en Egipto.

Aislados	Origen del tejido	Características celulares			
		Tinción de Gram	Forma de la célula	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Motilidad
<b>Muestra costera</b>					
SGC-R	Raíz	Gram positivo	Varilla	2,5	Móvil
SGC-S	Tallo	Gram positivo	Varilla	2,5	Móvil
SGC-L	Hoja	Gram negativo	Varilla	1,2	Móvil
SGC-C	Tejido capitular	Gram positivo	Varilla	2,7	Móvil
<b>Muestra del desierto</b>					
SGD-R1	Raíz	Gram negativo	Varilla	1,6	Móvil
SGD-R2		Gram negativo	Varilla	1,3	Móvil
SGD	Tallo	Gram negativo	Varilla	1,7	Móvil
SGD-L1	Hoja	Gram positivo	Varilla	1,9	Móvil
SGD-L2		Gram positivo	Varilla	2,3	Móvil
SGD-C	Tejido capitular	Gram positivo	Varilla	1,8	Móvil

SGC-R: Raíz costera de *Senecio glaucus*, SGC-S: Tallo costero de *S. glaucus*, SGC-L: Hoja costera de *S. glaucus*, y SGC-C: Capítula costera de *S. glaucus*; SGD-R: Raíz desértica de *S. glaucus*, SGD-S: Tallo desértico de *S. glaucus*, SGD-L: Hoja desértica de *S. glaucus* y SGD-C: Tejido capitular desértico de *S. glaucus*.

Los aislamientos purificados se caracterizaron bioquímicamente de acuerdo con la actividad enzimática y las propiedades funcionales. Los aislados mostraron una capacidad variada para producir una variedad de enzimas (Tablas 3 y 4).

Tanto los aislamientos bacterianos costeros como los desérticos fueron capaces de producir indol en concentraciones variables que oscilaban entre altas y bajas en comparación con la muestra control.

Los aislados SGC-L y SGC-C presentaron resultados muy débiles, mientras que los aislados SGD-L2 y SGD-C no mostraron resultados positivos co-

mo se muestra en la Tabla 4.

Basándose en el análisis de la secuencia del gen 16S rRNA, las cepas aisladas se identificaron como *Bacillus velezensis* cepa CBMB205 (NR\_116240.1), *Bacillus velezensis* cepa CBMB205 (NR\_116240.1), *Bacillus amyloliquefaciens* cepa WS3-1 (MT579842.1), cepa ATCC3 048 (NR\_118556.1), *Enterobacter bugandensis* cepa 247BMC (NR\_148649.1), *Enterobacter hormaechei* subsp. *xiangfangensis* cepa 10-17 (NR\_126208.1), *Sphingobacterium faecium* cepa DSM11690 (NR\_025537.1), y *Kitaspora aburaviensis* cepa NBRC12830 (NR\_112295.1); todas las cepas se correlacionaron en la distancia genética como se muestra en la Tabla 5 y Figura 4.

**Tabla 3.** Análisis cualitativo de la caracterización bioquímica de las bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de la planta medicinal *S. glaucus* recolectadas de diferentes hábitats en Egipto.

Aislados	Órgano tisular	Caracterización Bioquímica					
		Catalasa	Amilasa	Celulasa	Proteasa	Lipasa	H <sub>2</sub> S
<b>Costero</b>							
SGC-R	Raíz	+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
SGC-S	Tallo	+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
SGC-L	Hoja	+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
SGC-C	Tejido capitular	+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
<b>Desierto</b>							
SGD-R1	Raíz	+ve	+ve	+ve	-ve	+ve	-ve
SGD-R2		+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
SGD	Tallo	+ve	+ve	+ve	-ve	+ve	-ve
SGD-L1	Hoja	+ve	+ve	+ve	-ve	+ve	-ve
SGD-L2		+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve
SGD-C	Tejido capitular	+ve	+ve	+ve	+ve	+ve	-ve

+ve: reacción positiva; -ve: reacción negativa.

**Tabla 4.** Análisis cualitativo de parámetros promotores del crecimiento vegetal (PGP) de endófitos bacterianos aislados de la planta medicinal *S. glaucus*.

Aislados	Órgano tisular	Fomento del crecimiento vegetal			
		Solubilización de fosfato	Nitrato reductasa	IAA	GA3
<b>Costero</b>					
SGC-R	Raíz	+ve	+ve	+ve	+ve
SGC-S	Tallo	+ve	+ve	+ve	+ve
SGC-L	Hoja	+ve	+ve	+ve	+ve
SGC-C	Tejido capitular	+ve	+ve	+ve	+ve
<b>Desierto</b>					
SGD-R1	Raíz	+ve	+ve	+ve	+ve
SGD-R2		+ve	+ve	-ve	+ve
SGD	Tallo	+ve	+ve	+ve	+ve
SGD-L1	Hoja	+ve	+ve	+ve	+ve
SGD-L2		+ve	+ve	+ve	+ve
SGD-C	Tejido capitular	+ve	+ve	-ve	+ve

+ve: reacción positiva; -ve: reacción negativa.

## 4 Discusión

Desde hace mucho tiempo se sabe que hay endófitos bacterianos en la mayoría de los tejidos sanos de las plantas (McInroy y Kloeppe, 1995; Sturz, 1995; Frommel, Nowak y Lazarovits, 1993). Se han

encontrado bacterias endófitas en todas las especies de plantas estudiadas, según Partida-Martínez y Heil (2011), así como en este estudio. Se ha encontrado que varias especies de plantas tienen diversas comunidades bacterianas endófitas que mostraron una importante diversidad fenotípica y ge-

notípica (Santoyo y col., 2016; Miliute y col., 2015). El estudio de la diversidad poblacional de endófitos bacterianos aislados de la muestra desértica de *S. glaucus* mostró mayor diversidad de especies que la muestra costera (Figura 3). La especie hospedera de la planta, la especificidad del hospedero y los tipos de tejido pueden afectar fuertemente el tipo

de comunidad endófito (Ding y Melcher, 2016). Las variaciones cualitativas y cuantitativas entre especies vegetales en la colonización microbiana se deben principalmente a la compatibilidad genotípica hospedero-endófito y a las condiciones ecológicas (tropical versus templado) (Rajan, 2012).

**Tabla 5.** Secuencia de referencia del gen ARNr 16S de las cepas en la base de datos GenBank.

Serie	Órgano tisular	Cepa similar	Similitud %	Secuencia NCBI
<b>Muestra costera</b>				
SGC-R	Raíz	<i>Bacillus velezensis</i> cepa CBMB205 (NR_116240.1)	96,08 %	MZ520618,1
SGC-S	Tallo	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> cepa WS3-1 (MT579842.1)	99,80 %	OK148122,1
SGC-L	Hoja	<i>Klebsiella aerogenes</i> , cepa ATCC13048 (NR_118556.1)	94,31 %	MZ520791,1
SGC-C	Tejido capitular	<i>Bacillus velezensis</i> cepa CBMB205 (NR_116240.1)	99,80 %	MZ520618,1
<b>Muestra del desierto</b>				
SGD-R1	Raíz	<i>Enterobacter bugandensis</i> cepa 247BMC (NR_148649.1)	99,91 %	OK147922,1
SGD-R2		<i>Klebsiella aerogenes</i> , cepa ATCC13048 (NR_118556.1)	94,31 %	OK057209.1
SGD	Tallo	<i>Enterobacter hormaechei</i> subsp. <i>xiangfangensis</i> cepa 10-17 (NR_126208.1)	94,03 %	OK044126,1
SGD-L1	Hoja	<i>Sphingobacterium faecium</i> cepa DSM11690 (NR_025537.1)	87,64 %	OK156473,1
SGD-L2		<i>Kitasatospora aburaviensis</i> cepa NBRC12830 (NR_112295.1)	100 %	MZ477009.1
SGD-C	Tejido capitular	<i>Bacillus velezensis</i> cepa CBMB205 (NR_116240.1)	98,06 %	OK147924,1

Las cepas se aislaron de las raíces, tallos, hojas y tejidos capitulares de *S. glaucus*. La mayor población de endófitos se obtuvo de los tejidos internos de las raíces y hojas de la planta (Figura 3). La morfología de las colonias indicó la variación de los endófitos. Los aislamientos evaluados fueron elegidos por su variación morfológica y dominancia (Tabla 1). Una gran variedad de bacterias Gram negativas y Gram positivas están involucradas en las bacterias endófitas (Lodewyckx y col., 2002). Curiosamente, los Gram positivos fueron la población más distribuida en la muestra costera que los Gram negativos aislados de *S. glaucus*. Por otra parte, la población Gram negativa fue igual a la de los aislados Gram positivos de la muestra del desierto

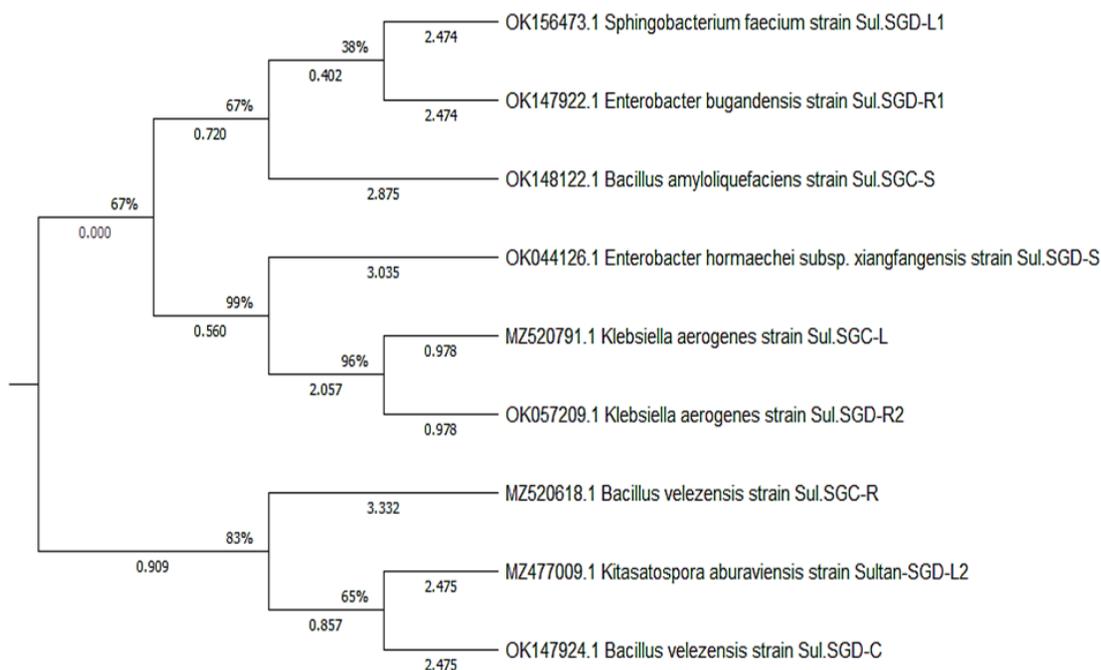
(Tabla 2), como se informó en varias plantas; se identificó una presencia igual de bacterias Gram negativas y Gram positivas (Zinniel y col., 2002). Existe un predominio de bacterias gramnegativas en los tejidos de diversas plantas (Elbeltagy y col., 2000; Stoltzfus y col., 1997). Estas especies bacterianas podrían haber coevolucionado con la planta para adaptarse a un hábitat árido específico que es pobre en nutrientes. Como respuesta a las condiciones ambientales como pH, temperatura y salinidad, las bacterias Grampositivas de las cepas aisladas forman esporas, lo que puede proporcionar una ventaja de supervivencia.

Toda la morfología de las células aisladas mostró ser bacilos/varilla (Tabla 2). Según Jacobs, Bugbee y Gabrielson (1985), *Erwinia* sp., *Enterobacter* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Micrococcus*, *Microbacterium*, *Stenotrophomonas*, *Pantoea*, *Burkholderia*, *Pseudomonas* y *Flavobacterium* sp. fueron los géneros bacterianos aislados más comunes de bacterias endofíticas en varias plantas como tomate, algodón, soja, arroz y maíz (Chaturvedi, Singh y Gupta, 2016; Hallmann y col., 1997).

Anteriormente se han aislado bacterias endofíticas de tejidos de especies de *Senecio*. Cheng y col. (2019) y Singh y col. (2016) aislaron los endofitos *Brevundimonas diminuta* y *Rhizobium leguminosarum* de *S. vulgaris*; *Sphingomonas aerolata*, *Sphingomonas faeni*, *Exiguobacterium sibiricum* y *Oxalobacteraceae* (OTU3) y se caracterizaron en hojas y raíces de *S. vulgaris* (Gaspard y Rice, 1989; Koo y col., 2016;

Vishnivetskaya, Kathariou y Tiedje, 2009).

En este estudio, los aislamientos obtenidos se caracterizaron bioquímicamente de acuerdo con la actividad enzimática y las propiedades funcionales (Tabla 3). Los aislados mostraron una variada capacidad para producir una variedad de enzimas tales como enzimas catalasas, enzimas amilolíticas, celolíticas, proteolíticas y lipolíticas. Sin embargo, no se ha realizado ningún estudio sobre la secreción de estas enzimas por los endofitos (Elbeltagy y col., 2000; Reinhold-Hurek y Hurek, 1998). Las bacterias endofíticas pueden actuar como factores de virulencia para bacterias fitopatógenas debido a las celulasas y las enzimas hidrolíticas pueden desempeñar un papel en los mecanismos que entran y persisten en la planta huésped, como se informó para *Enterobacter asburiae* JM22 *Quadt-Hallmann*1997 y *Azoarcus* sp. (Hurek y col., 1994).



**Figura 4.** El árbol filogenético se creó de las secuencias del gen 16S rRNA de las 10 cepas bacterianas endofíticas.

Las bacterias endofíticas aisladas del *S. glaucus* costero indicaron la mayor producción de las enzimas estudiadas en comparación a los aislados del desierto, a pesar de la alta diversidad en la muestra de *S. glaucus* del desierto (Figuras 4 y 5). Todos los

aislamientos secretaron amilasas, celulasas, proteasa y lipasa, excepto *Enterobacter hormaechei* subsp. *Xiangfangensis* y *Sphingobacterium faecium* que no pudieron producir enzimas proteasas (Tabla 3). La actividad celulósica de estos endofitos puede ser

una ventaja para la entrada intercelular y la propagación de los endófitos en la planta huésped, ya que la pared celular de la planta huésped contiene celulosa (Hallmann y col., 1997). Las hidrolasas, enzimas extracelulares producidas por bacterias endófitas ayudan en el establecimiento de resistencia sistémica para la invasión de patógenos en plantas (Singh y col., 2017; Elbeltagy y col., 2000).

Además, todos los aislamientos se caracterizaron bioquímicamente de acuerdo con sus propiedades funcionales (Tabla 4). Los aislados mostraron una variada capacidad para producir una variación de fitohormonas que pueden ayudar a las plantas y pueden ser utilizadas como PGPB ácido indolacético, y ácidos giberélicos, ya que también indicaron su capacidad para solubilizar fosfato y nitrato reductasa. Por otro lado, todos los aislamientos presentaron un resultado negativo para la producción de sulfuro de hidrógeno, así mismo, las cepas SGD-R2 y SGD-C aisladas de la muestra desértica fueron negativas para IAA.

Se aislaron 10 cepas con diversas morfologías de colonias y se analizaron sus secuencias del gen 16S rRNA para establecer relaciones taxonómicas (Tabla 5 y Figura 6). No se encontraron bacterias *B. japonicum* en los aislamientos de *S. glaucus* esterilizados en superficie, y la mayoría de ellos fueron morfológicamente únicos. De acuerdo con el análisis filogenético, se demostró que los aislados pertenecían a cuatro filos extremadamente diferentes ya conocidos por estar asociados a plantas: bacterioidetes, proteobacterias, actinobacterias y firmicutes (Reinhold-Hurek y col., 2015). Basándose en el análisis de la secuencia del gen 16S rRNA, las cepas aisladas se identificaron como *Bacillus velezensis* cepa CBMB205 y *Bacillus amyloliquefaciens* cepa WS3-1 (Clase: Bacilli), *Enterobacter bugandensis* cepa 247BMC y *Enterobacter hormaechei* subsp. *xiangfangensis* cepa 10-17 (Clase: Gamma Proteobacteria), *Sphingobacterium faecium* cepa DSM 11690 (Clase: Flavobacteria), *Klebsiella aerogenes* cepa ATCC 13048 (Clase: Gamma Proteobacteria) y *Kitasatospora aburaviensis* cepa NBRC 12830 (*Streptomyces aburaviensis*) (Clase: Actinomycetes). El análisis de la secuencia reveló que los aislados pueden contener especies bacterianas previamente desconocidas: las cepas de dos filotipos mostraron una identidad inferior al 98,7% en los genes de ARNr 16S previamente notificados de especies conocidas. Es probable que

representen al menos especies únicas, dado que este valor ha sido propuesto recientemente como un “patrón de oro” para distinguir las especies (Stackebrandt, 2006). Todas las cepas se correlacionaron con una distancia genética. El dendrograma filogenético ilustró que la correlación entre seis aislamientos se realizó mediante el programa MEGA-X como se muestra en la Figura 4.

## 5 Conclusiones

En conclusión, este estudio confirmó la diversidad y ocurrencia de endófitos bacterianos en diferentes partes de *Senecio glaucus* (Morrar) recolectados en diferentes hábitats en Egipto. Estas bacterias podrían ser candidatos prometedores para futuras aplicaciones. El aislamiento de las cepas de *Bacillus* abre posibilidades biotecnológicas para la producción de *S. glaucus* y la aplicación prospectiva de especies presuntamente únicas. A través de las descripciones bioquímicas de estos aislamientos se muestra su capacidad para producir algunas enzimas descomponedoras como celulasa, amilasa, proteasa, catalasa y lipasa. Por otro lado, los análisis descriptivos mostraron una fuerte indicación de su capacidad para producir algunas hormonas de crecimiento de las plantas que pueden aumentar el crecimiento y proteger a las plantas, como su capacidad para producir reductasas de nitrato, solubilización de fosfato, indol y giberelinas. El hecho de que estas plantas fueran colonizadas con éxito por cada microbio sugiere que podrían ser utilizadas en muchas aplicaciones, como biofertilizantes, biorremediación y control biológico.

## Referencias

- Alavi, P. y col. (2013). «Root-microbe systems: the effect and mode of interaction of stress protecting agent (SPA) *Stenotrophomonas rhizophila* DSM14405T». En: *Frontiers in Plant Science* 4, 141. Online: <https://bit.ly/3lobBfA>.
- Aneja, M. y col. (2006). «Microbial colonization of beech and spruce litter—influence of decomposition site and plant litter species on the diversity of microbial community». En: *Microbial Ecology* 52, 127-135. Online: <https://bit.ly/3YqGLBz>.

- Bacon, C. y D. Hinton (2002). «Endophytic and biological control potential of *Bacillus mojavensis* and related species». En: *Biological Control* 23.3, 274-284. Online: <https://bit.ly/3YLUaEh>.
- (2007). «Plant-associated bacteria». En: Springer Dordrecht. Cap. Bacterial endophytes: the endophytic niche, its occupants, and its utility, 155-194. Online: <https://bit.ly/414QjUo>.
- Cappuccino, J. y N. Sherman (1992). *Microbiology: A Laboratory Manual*. 3.<sup>a</sup> ed. Benjamin/Cummings Pub, págs. 125-179.
- Chabot, R., H. Antoun y M. Cescas (1996). «Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli*». En: *Plant and Soil* 184, 311-321. Online: <https://bit.ly/3UwY9DK>.
- Chaturvedi, H., V. Singh y G. Gupta (2016). «Potential of bacterial endophytes as plant growth promoting factors». En: *J Plant Pathol Microbiol* 7.9, 1-6. Online: <https://bit.ly/3UwYrdO>.
- Chebatar, V. y col. (2015). «Endophytic Bacteria in Microbial Drugs that Improve Plant Development (Review)». En: *Prikladnaia Biokhimiia i Mikrobiologiia* 51.3, 283-289. Online: <https://bit.ly/3YOCojC>.
- Cheng, D. y col. (2019). «Diversity analysis of the rhizospheric and endophytic bacterial communities of *Senecio vulgaris* L.(Asteraceae) in an invasive range». En: *PeerJ* 6, e6162. Online: <https://bit.ly/3YtFaLy>.
- Clay, K. y C. Schardl (2002). «Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses». En: *The American Naturalist* 160.S4, S99-S127. Online: <https://bit.ly/3I0qbl0>.
- Ding, T. y U. Melcher (2016). «Influences of plant species, season and location on leaf endophytic bacterial communities of non-cultivated plants». En: *PloS One* 11.3, e0150895. Online: <https://bit.ly/3K56zyR>.
- Dudeja, S. S. y R. Giri (2014). «Beneficial properties, colonization, establishment and molecular diversity of endophytic bacteria in legumes and non legumes». En: *African Journal of Microbiology Research* 8.15, 1562-1572. Online: <https://bit.ly/3IkTZDY>.
- Eissa, T. y col. (2014). «Ethnopharmacological study of medicinal plants used in the treatment of CNS disorders in Sinai Peninsula, Egypt». En: *Journal of Ethnopharmacology* 151.1, 317-332. Online: <https://bit.ly/3jRLWM7>.
- El-Amier, Y., A. Abdelghany y A. Abed Zaid (2014). «Green synthesis and antimicrobial activity of *Senecio glaucus*-Mediated silver nanoparticles». En: *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 5.5, 631-642. Online: <https://bit.ly/41oQHwM>.
- Elbeltagy, A. y col. (2000). «Isolation and characterization of endophytic bacteria from wild and traditionally cultivated rice varieties». En: *Soil Science and Plant Nutrition* 46.3, 617-629. Online: <https://bit.ly/3K4ua2D>.
- Frommel, M., J. Nowak y G. Lazarovits (1993). «Treatment of potato tubers with a growth promoting *Pseudomonas* sp.: plant growth responses and bacterium distribution in the rhizosphere». En: *Plant and Soil* 150, 51-60. Online: <https://bit.ly/3Xs4yzZ>.
- Gamel, R. y col. (2017). «Priming tomato cultivars in  $\beta$ -sitosterol or gibberellic acid improves tolerance for temperature stress.» En: *International Journal of Botany* 13.1, 1-14. Online: <https://bit.ly/3YtKbUo>.
- Gaspard, P. y S. Rice (1989). «Semiclassical quantization of the scattering from a classically chaotic repeller». En: *The Journal of Chemical Physics* 90.4, 2242-2254. Online: <https://bit.ly/3lzH5zG>.
- Geris dos Santos, R. y col. (2003). «Endophytic fungi from *Melia azedarach*». En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 19, 767-770. Online: <https://bit.ly/3Yzmvhy>.
- Hallmann, J. y col. (1997). «Bacterial endophytes in agricultural crops». En: *Canadian Journal of Microbiology* 43.10, 895-914. Online: <https://bit.ly/3K4cPXV>.
- Hurek, T. y col. (1994). «Root colonization and systemic spreading of *Azoarcus* sp. strain BH72 in grasses». En: *Journal of Bacteriology* 176.7, 1913-1923. Online: <https://bit.ly/3YkiYU1>.
- Jacobs, M., W. Bugbee y D. Gabrielson (1985). «Enumeration, location, and characterization of endophytic bacteria within sugar beet roots». En: *Canadian Journal of Botany* 63.7, 1262-1265. Online: <https://bit.ly/3K1lp9B>.
- Jia, M. y col. (2016). «A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: a systematic review». En: *Frontiers in Microbiology* 7, 906. Online: <https://bit.ly/3jRQYbt>.
- Joshi, N., G. Sah y D. Mishra (2013). «GC-MS analysis and antimicrobial activity of essential oil of *Senecio pedunculatus*». En: *IOSR Journal of Ap-*

- plied Chemistry* 6.3, 49-51. Online:https://bit.ly/3od3wf5.
- Kahrman, N. y col. (2011). «Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from the flower, leaf, and stem of *Senecio pandurifolius*». En: *Records of Natural Products* 5.2, 82-91. Online:https://bit.ly/3K5rq5h.
- Kobayashi, D. y J. Palumbo (2000). «Microbial Endophytes». En: 1.<sup>a</sup> ed. CRC Press. Cap. Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture, 213-250. Online:https://bit.ly/3GGav6G.
- Koo, H. y col. (2016). «Draft genome sequence of *Janthinobacterium* sp. Ant5-2-1, isolated from proglacial lake Podprudnoye in the Schirmacher Oasis of East Antarctica». En: *Genome Announcements* 4.1, e01600-15. Online:https://bit.ly/3RXVhhL.
- Lodewyckx, C. y col. (2002). «Endophytic bacteria and their potential applications». En: *Critical Reviews in Plant Sciences* 21.6, 583-606. Online:https://bit.ly/3K4h4mj.
- McInroy, J. y J. Klopper (1995). «Survey of indigenous bacterial endophytes from cotton and sweet corn». En: *Plant and Soil* 173, 337-342. Online:https://bit.ly/3lyTCDt.
- Miliute, I. y col. (2015). «Bacterial endophytes in agricultural crops and their role in stress tolerance: a review». En: *Zemdirbyste-Agriculture* 102.4, 465-478. Online:https://bit.ly/4157PIa.
- Mowafy, A. y col. (2021). «Endophytic *Bacillus*, *Enterobacter*, and *Klebsiella* enhance the growth and yield of maize». En: *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science* 71.4, 237-246. Online:https://bit.ly/3xjzZBT.
- Müller, H. y col. (2015). «Plant genotype-specific archaeal and bacterial endophytes but similar *Bacillus* antagonists colonize Mediterranean olive trees». En: *Frontiers in Microbiology* 6, 138. Online:https://bit.ly/3XmQPug.
- Nori-Shargh, D., S. Raftari y F. Deyhimi (2008). «Analysis of the essential oil of *Senecio vernalis* Waldst. & Kit. from Iran». En: *Flavour and Fragrance Journal* 23.5, 357-359. Online:https://bit.ly/3HYHHGI.
- Partida-Martínez, L. y M. Heil (2011). «The microbe-free plant: fact or artifact?» En: *Frontiers in Plant Science* 2, 100. Online:https://bit.ly/40Qt54H.
- Purchase, D., R. Miles y T. Young (1997). «Cadmium uptake and nitrogen fixing ability in heavy-metal-resistant laboratory and field strains of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*». En: *FEMS Microbiology Ecology* 22.1, 85-93. Online:https://bit.ly/3RUKolQ.
- Rajan, A. (2012). «Microbial Endophytes of crop plants and their role in plant growth promotion». Tesis doct. University of Agricultural Sciences, Bangalore. Online:https://bit.ly/3MB2cwU.
- Redman, R. y col. (2002). «Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis». En: *Science* 298.5598, 1581-1581. Online:https://bit.ly/3Yr6bz3.
- Reinhold-Hurek, B. y T. Hurek (1998). «Life in grasses: diazotrophic endophytes». En: *Trends in Microbiology* 6.4, 139-144. Online:https://bit.ly/40NdJOt.
- Reinhold-Hurek, B. y col. (2015). «Roots shaping their microbiome: global hotspots for microbial activity». En: *Annual Review of Phytopathology* 53, 403-424. Online:https://bit.ly/3IBKMHh.
- Rosenblueth, M. y E. Martínez-Romero (2006). «Bacterial endophytes and their interactions with hosts». En: *Molecular Plant-Microbe Interactions* 19.8, 827-837. Online:https://bit.ly/40PZFDM.
- Santoyo, G. y col. (2016). «Plant growth-promoting bacterial endophytes». En: *Microbiological Research* 183, 92-99. Online:https://bit.ly/40Rkj6s.
- Schulz, B. y C. Boyle (2005). «The endophytic continuum». En: *Mycological Research* 109.6, 661-686. Online:https://bit.ly/3K1F899.
- Singh, D., C. Satish y D. Manisha (2017). «Chemical and potential biological perspectives of genus *Senecio* [Asteraceae]». En: *Eur J Pharm Med Res* 4.11, 200-222. Online:https://bit.ly/3K92uK6.
- Singh, M. y col. (2017). «Endophytic bacteria: a new source of bioactive compounds». En: *3 Biotech* 7.315, 1-14. Online:https://bit.ly/3xlzGXm.
- Singh, N. y col. (2016). «*Brevundimonas diminuta* mediated alleviation of arsenic toxicity and plant growth promotion in *Oryza sativa* L.» En: *Ecotoxicology and Environmental Safety* 125, 25-34. Online:https://bit.ly/3RY6dfx.
- Stackebrandt, E. (2006). «Taxonomic parameters revisited: tarnished gold standards». En: *Microbiol. Today* 33, 152-155. Online:https://bit.ly/3YyEioT.
- Stoltzfus, J. y col. (1997). «Isolation of endophytic bacteria from rice and assessment of their potential for supplying rice with biologically fixed nitrogen». En: *Plant and soil* 194, 25-36. Online:https://bit.ly/3IvoNIZ.

- Sturz, AV (1995). «The role of endophytic bacteria during seed piece decay and potato tuberization». En: *Plant and Soil* 175, 257-263. Online: <https://bit.ly/3YuRBql>.
- Sultan, M., A. Elsayed e Y. El-Amir (2022). «*In vitro* effect of plant parts extract of *Senecio glaucus* L. On pathogenic bacteria». En: *Biointerface Res. Appl. Chem* 12.3, 3800-3810. Online: <https://bit.ly/3xhZgMM>.
- Tundis, R. y col. (2009). «*In vitro* cytotoxic effects of *Senecio stibianus* Lacaita (Asteraceae) on human cancer cell lines». En: *Natural Product Research* 23.18, 1707-1718. Online: <https://bit.ly/3E3zzDv>.
- Vishnivetskaya, T., S. Kathariou y J. Tiedje (2009). «The *Exiguobacterium* genus: biodiversity and biogeography». En: *Extremophiles* 13, 541-555. Online: <https://bit.ly/3I1q1Kg>.
- Waller, F. y col. (2005). «The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102.38, 13386-13391. Online: <https://bit.ly/3YJbny8>.
- Zinniel, D. y col. (2002). «Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants». En: *Applied and Environmental Microbiology* 68.5, 2198-2208. Online: <https://bit.ly/3xh95L0>.



# CÁLCULO DE LA CARGA FLUVIAL DE PLAGUICIDAS EN EL RÍO PISQUE (ECUADOR) ENTRE JUNIO DE 2018 Y MAYO DE 2019

## FLUVIAL LOADS OF PESTICIDES IN THE PISQUE RIVER (ECUADOR) BETWEEN JUNE 2018 AND MAY 2019

Renato Sánchez Proaño\*<sup>1</sup>, Carlos Cerón Pánchig<sup>2</sup>, y Karla Landeta Jibaja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador sede Quito. Grupo de Investigación en Ecología y Gestión de los Recursos Naturales (GIERENA). Av. Morán Valverde y Rumichaca s/n, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana. Código Postal 170517, Quito, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [rsanchezp@ups.edu.ec](mailto:rsanchezp@ups.edu.ec)

Manuscrito recibido el 06 de septiembre de 2021. Aceptado, tras revisión, el 28 de abril de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

### Resumen

La cuenca del río Pisque en el Ecuador tiene alta presencia de industria florícola, desarrollándose aquí un estudio cuyo objetivo es la estimación de la magnitud de las pérdidas de plaguicidas que ingresan al agua fluvial por fuentes como escorrentía superficial, contacto con el suelo, permeado de una escorrentía previa o por infiltración, y que pueden ser medidas en el cauce final del río Pisque antes de su desembocadura. Para conocer los pesticidas utilizados se han realizado encuestas a los productores florícolas. Las mediciones se realizaron en los ríos Granobles y Guachalá, afluentes del río Pisque, y en dos puntos separados en el mismo río Pisque, uno inmediatamente después de la conjunción entre los dos afluentes y un punto antes de su desembocadura al siguiente río. Los aforos de caudal fueron mensuales desde junio 2018 hasta mayo 2019; como método de muestreo se usaron dispositivos pasivos SPMD y POCIS durante los tres meses secos, de junio a agosto de 2018. Para obtener las tasas de retención de los dispositivos pasivos se realizó una calibración con los plaguicidas en laboratorio mediante un canal hidrodinámico. De las encuestas se identificaron 24 ingredientes activos principales, en su mayoría compuestos con toxicidades Tipo III y Tipo IV. Según los resultados del modelo, la carga fluvial de pesticidas en aguas superficiales fue de 2982,24 Kg entre los meses de junio de 2018 a mayo de 2019, existiendo degradación ambiental de varios compuestos a lo largo del tramo del río.

**Palabras clave:** Floricultura, muestreadores pasivos SPMD y POCIS, degradación ambiental de pesticidas.

### Abstract

The Pisque river basin in Ecuador has a high presence of the floricultural industry, hence the aim of the research is to estimate the losses of pesticides that enter the river water through sources such as surface runoff, contact with the ground, permeate of a previous runoff or by infiltration, and that can be measured in the final channel of the Pisque river before its mouth. In order to know the pesticides used, surveys have been carried out with flower producers. The measurements were made in the Granobles and Guachalá rivers, the two tributaries of the Pisque river; and at two separate points on the same river Pisque, one immediately after the conjunction between the two tributaries and a point before their mouth to the next river. The flow gauges were monthly from June 2018 to May 2019. As a sampling method, SPMD and POCIS passive devices were used during the three dry months, from June to August 2018. To obtain the retention rates of the passive devices, a calibration with the pesticides was carried out in the laboratory through a hydrodynamic channel. Twenty-four main active ingredients were identified from the surveys, mostly compounds with Type III and Type IV toxicities. According to the results of the model, the fluvial load of pesticides in surface waters was 2,982.24 Kg between the months of June 2018 to May 2019, with environmental degradation of various compounds along the stretch of the river.

**Keywords:** Floriculture, passive SPMD and POCIS samplers, environmental degradation of pesticides.

---

Forma sugerida de citar: Sánchez Proaño, R., Cerón Pánchig, C. y Landeta Jibaja, K. (2023). Cálculo de la carga fluvial de plaguicidas en el río Pisque (Ecuador) entre junio de 2018 y mayo de 2019. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):96-105. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.07>.

---

IDs Orcid:

Renato Sánchez Proaño: <http://orcid.org/0000-0002-5015-7570>

Carlos Cerón Pánchig: <http://orcid.org/0000-0003-3968-3681>

Karla Landeta Jibaja: <http://orcid.org/0000-0002-5996-7481>

# 1 Introducción

Los plaguicidas se aplican casi universalmente en terrenos de cultivos agrícolas, parcelas y en la industria florícola, centrándose el presente estudio en esta actividad económica, ya que es una de las principales actividades económicas dentro de la cuenca del río Pisque.

La cuenca del río Pisque es un valle en el cual se encuentran dos ciudades principales, Cayambe y Tabacundo, las cuales sumaron una población de 152 153 habitantes para el año 2018 (GAD Municipal de Pedro Moncayo, 2018; GADIP Cayambe, 2020), además de contar con 3 201,73 hectáreas de flores cultivadas en invernadero para el año 2017 (Cachipuendo, 2018). Se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha y sus aguas desembocan en el río Guayllabamba, que posteriormente desem-

boca en el río Esmeraldas y en el océano Pacífico. Los invernaderos dedicados a la producción florícola acentuados entre las ciudades de Cayambe y Tabacundo se pueden apreciar en la ortofoto de la Figura 1.

En la cuenca, los cultivos florícolas para los años ochenta ocupaban 25 hectáreas (Bravo y Flores, 2006), e incrementaron a mediados de los años 90 debido a factores económicos como la eliminación de los aranceles para la exportación a Estados Unidos (Corrales, 2016) y a factores ambientales, como la gran iluminación solar que ocurre a los 2800 y 2900 msnm, las temperaturas estables durante todo el año (Bravo y Flores, 2006), y la cercanía a los puertos aéreos; este incremento de la producción florícola conllevó consecuentemente al incremento del uso de plaguicidas.

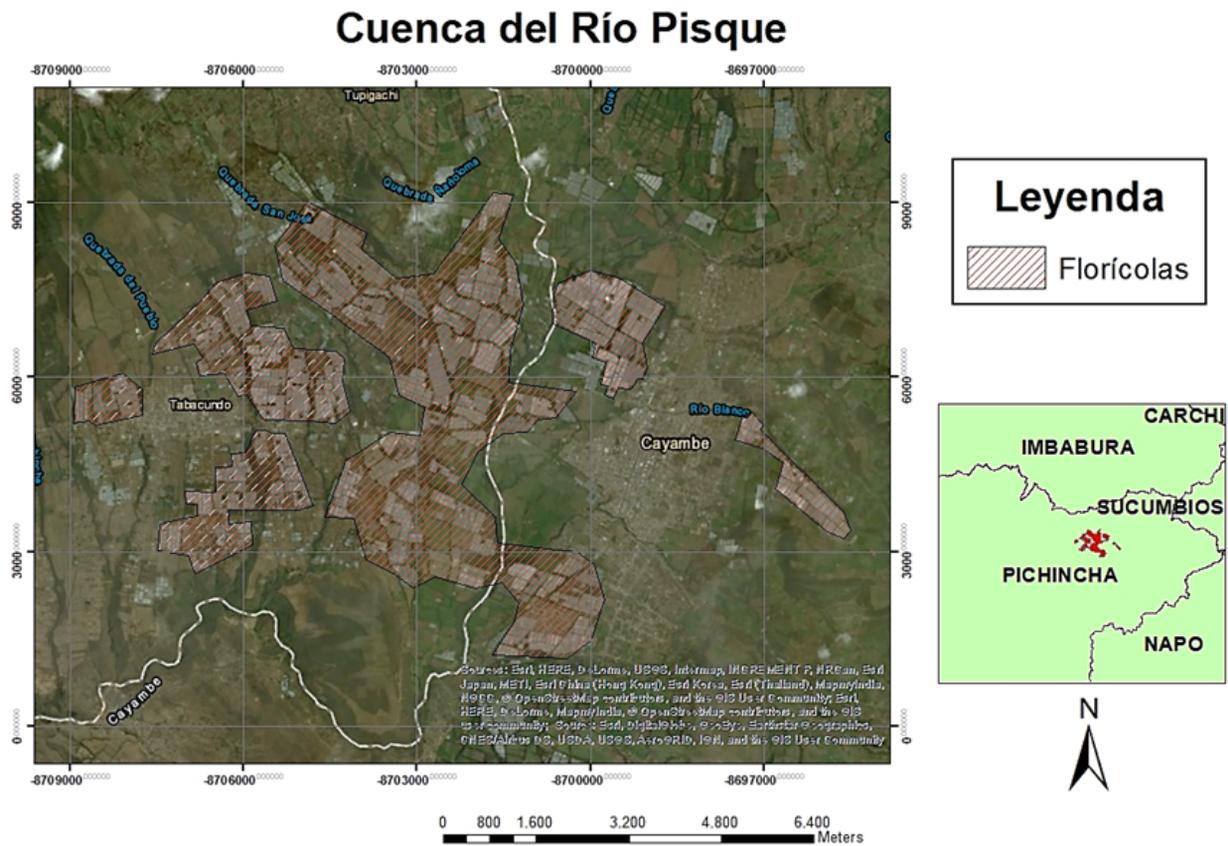


Figura 1. Área ocupada por florícolas entre las ciudades de Cayambe y Tabacundo en el año 2018.

Se estima que menos del 0,1% de los pesticidas aplicados a los cultivos alcanzan su objetivo, mientras que el resto terminan contaminando el aire, el suelo y el agua (Arias y col., 2008). Mucha de esta liberación de pesticidas se transporta al agua, afectando su calidad y salud humana. Entre las afectaciones al agua se tiene el incremento de la toxicidad, del carbón orgánico no biodegradable, de la conductividad eléctrica, y de la materia sólida (Calamari y Barg, 1993); mientras que las principales afectaciones a la salud humana son daños al sistema nervioso, alteraciones hormonales, cáncer, daños al sistema inmunológico, daños reproductivos, entre otros (Badr, 2020). Por esta razón es necesario el monitoreo de pesticidas, lo cual generalmente se realiza mediante muestreos activos y únicamente de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) (Alvarez y col., 2014; Miège y col., 2012). Por lo cual, se propone para el presente trabajo un muestreo de los químicos más usados en la industria florícola para evaluar su permanencia, y registrar descargas continuas mediante técnicas de muestreo pasivo, evitando descargas puntuales (Alvarez y col., 2007).

Para el muestreo de los plaguicidas se usó una técnica útil en la evaluación de los compuestos orgánicos en cuerpos de agua naturales, como son los métodos de muestreo pasivo (Narváez, López y Molina, 2013). Estos pueden permanecer en el agua por periodos acumulados de tiempo de forma pasiva adsorbiendo los contaminantes por procesos de difusión y partición (Vrana y col., 2005). El uso de un muestreador pasivo para monitorear contaminantes en el medio acuático es más simple y práctico que la medición de plaguicidas bioacumulados en organismos vivos (Alvarez y col., 2004; Vrana y col., 2005; Fedorova y col., 2014; Kot, Zabięga y Namieśnik, 2000). Sin embargo, su uso en el campo ambiental requiere de una calibración de laboratorio previa para determinar el valor de la tasa de muestreo del compuesto específico (Morin y col., 2012), obteniéndose como resultado final el arrastre o carga fluvial que tiene cada químico en un flujo de agua superficial.

## 2 Materiales y Métodos

En esta sección se explicarán los protocolos que se usaron para la medición del caudal, el muestreo pasivo de aguas, los análisis de laboratorio y la

calibración de los dispositivos de muestreo. Para esto, primero se definieron los plaguicidas que se evaluarán mediante una encuesta a 20 productores florícolas.

Para los aforos se buscó en cada río una pequeña sección donde el agua fluya continua y unidireccionalmente, sin la interrupción de rocas u obstáculos para realizar la medición del área transversal del cuerpo de agua mediante una batimetría (Swanson, Brownawell y O'Connell, 2009), y para la medición de la velocidad se usó un micromolinetete marca Simtech, modelo FP111. Este procedimiento se realizó un día al mes, cada mes durante un año, iniciándose en junio de 2018. Hubo tres puntos de aforo, uno en el río Granobles, otro en el río Pisque (punto 1) después de la unión con el río Guachalá y un último en el río Pisque (punto 2) antes de aportar su caudal al río Guayllabamba. Para el cálculo del caudal del río Guachalá se procedió a restar el caudal del río Granobles del caudal del río Pisque (punto 1), ya que como se observa en la Figura 2, no se encuentran aportes importantes dentro del tramo estudiado.

Para la medición de plaguicidas polares se usaron dispositivos SPMD (Semipermeable Membrane Devices/Dispositivos de membrana semipermeable) y para no polares POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler/Muestreador integrador de compuestos orgánicos polares). La diferencia de potenciales químicos del analito entre los medios líquido y sólido de los muestreadores hacen que estos dos lleguen al equilibrio en el tiempo en el que se realiza el análisis, obteniendo como resultado en el muestreador pasivo la concentración media de analito que se encontraba en el cuerpo de agua (Górecki y Namieśnik, 2002). Para el cálculo de la masa del analito acumulado respecto a la concentración en el agua se usó la Ecuación 1 propuesta por Vrana y col. (2005).

$$M_s(t) = C_w R_s t \quad (1)$$

Donde  $M_s(t)$  es la masa del analito acumulada en el muestreador luego del tiempo de exposición.  $R_s$  es la constante de proporcionalidad,  $C_w$  es la concentración de analito en el ambiente acuoso, y  $t$  corresponde al tiempo de exposición. Los dispositivos usados son los distribuidos por la empresa "EST-Lab" ubicada en St. Joseph, Missouri, Estados Unidos. Los dispositivos POCIS son del modelo "Oasis HLB rectangular" y los dispositivos SPMD son

del modelo "99% purity 15cm with loops". Ambas membranas fueron sujetadas por una estructura de metal y colocadas dentro de una carcasa plástica de tubo PVC (Figura 3).



**Figura 2.** Zona de muestreo y puntos de aforo en la conjunción de los ríos Granobles y Guachalá para formar el Pisque.

Hubo cuatro puntos de muestreo pasivo, tres ubicados en los sitios en que se realizaron los aforos de caudal, y un cuarto en el río Guachalá. Se realizaron dos puntos de muestreo en el mismo río Pisque con el fin de conocer que químicos permanecen en el agua y qué químicos se degradan. Se colocaron un muestreador SPMD y un POCIS en cada uno de los cuatro puntos de muestreo con una permanencia de 28 días en el agua en cada mes, durante los tres meses secos, que en la zona corresponden de junio a agosto. El objetivo de realizar el muestreo en los meses secos es detectar concentraciones más bajas de plaguicidas, lo cual se dificulta si existen diluciones de concentración debido a precipitaciones.

Para el análisis de pesticidas se realizó un procedimiento de extracción conocido como diálisis, en el cual se separan los analitos de las membranas con métodos distintos para los SPMD y los POCIS, según señala el procedimiento propuesto por Narváez, López y Molina (2013). Con esto se procedió a utilizar la técnica de preparación de la muestra para medición recomendada por Aguilar (1998) y López-Roldán, Alda y Barceló (2004) y Rodrigues y col. (2007), entre otros. La medición se realizó por el método de Cromatografía líquida de alta eficiencia o High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Para esto se consideraron las técnicas para pesticidas desarrolladas por Kiso y col. (1996) y Hernández y col. (2001) y Ferrer y Thurman (2007),

entre otros. Estas técnicas se aplicaron tanto en la fase normal de los compuestos polares, para lo cual se utiliza una fase estacionaria polar, y una fase móvil no polar; como también para compuestos no polares en las cuales la fase estacionaria es no polar y la fase móvil polar.



**Figura 3.** Muestreadores pasivos colocados en los cuerpos de agua.

Para la medición se utilizó un equipo de HPLC marca Waters, los modelos de sus componentes son 1525 de la bomba binaria, 2998 del detector de matriz de fotodiodos y el software Empower 3 desarrollado por la misma marca. Como columna se usó una C18 marca Restek con código 9534565.

Según Huckins y col. (1999) y Luellen y Shea (2002) y Murdock y col. (2001), la calibración de

la cinética de intercambio en el muestreo pasivo se puede realizar en el laboratorio. El método experimental es el más conveniente para conocer los coeficientes de transferencia, ya que la velocidad de transferencia depende de varios factores hidrodinámicos como turbulencia, propiedades ambientales, forma y permeabilidad de la carcasa, entre otros, los cuales se simplifican en un solo factor (Yabuki y col., 2016). Experimentalmente la obtención de este único factor en el laboratorio se realizó en un canal hidrodinámico marca Armfield modelo S16-11-b; con la degradación de los plaguicidas en el mismo canal se obtuvieron los valores de degradación de cada analito. En el canal hidrodinámico se colocaron los ingredientes a analizar en una concentración de 1 ppm mediante productos comerciales; se verificó la concentración inicial y se colocaron tres dispositivos SPMD y tres dispositivos POCIS retirándose y analizándose un par cada tres días. Por último, para la cuantificación de los agrotóxicos en los cuerpos de agua se usan las constantes de proporcionalidad de laboratorio corregidas mediante los datos obtenidos desde los dispositivos SPMD y los POCIS de campo, obteniéndose una concentración de plaguicida media en el agua por cada mes, la cual al multiplicarse por el caudal del mismo mes da como resultado el

valor de la carga del pesticida en el cuerpo hídrico en movimiento en magnitudes de masa sobre tiempo.

### 3 Resultados

Los resultados en medidas de caudal en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) de los aforos para cada mes se muestran en la Tabla 1, con una medición realizada en el río Granobles y dos en el río Pisque, en dos puntos distintos. Para el caso del río Guachará, el valor de caudal corresponde al cálculo matemático explicado anteriormente.

Con las encuestas realizadas a los productores florícolas se pudo comprobar el uso en mayor cantidad de 24 plaguicidas, los cuales se presentan en la Tabla 2. En ninguno de estos ingredientes se encontró una toxicidad del Tipo I o compuestos clasificados como COP; de los encontrados tres son de toxicidad Tipo II, 13 de Tipo III y 9 de Tipo IV. Sin embargo, se decidió incrementar la medición del DDT 4,4' con el fin de comprobar la permanencia de este químico en el suelo que presenta contacto con el agua y que posiblemente fue usado en décadas anteriores.

**Tabla 1.** Resultados de aforos realizados en los ríos en  $m^3/s$ .

No.	Fuente	2019						2018					
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Río Granobles	1,2	3,4	2,8	3,6	5,4	2,1	1,6	1,4	0,8	2,1	2,4	3,6
2	Río Guachalá	3,1	5,9	21,9	24,4	13,5	0,2	4,7	0,4	2	5,6	7,5	7,1
3	Río Pisque (punto 1)	4,3	9,3	24,7	28	18,9	2,3	6,3	1,8	2,8	7,7	9,9	10,7
4	Río Pisque (punto 2)	9,6	15,4	20,9	25,8	35,5	6,3	11,2	5,2	6,5	12,9	13,4	15

Con estos plaguicidas, se procedió a la calibración de los muestreadores pasivos SPMD y POCIS los cuales se presentan en la Tabla 2, el tipo de dispositivo de muestreo usado para su análisis según la polaridad del ingrediente, las concentraciones temporales medidas directamente en el agua luego de realizarse una mezcla del químico, y las mediciones obtenidas desde los dispositivos pasivos a los 3,

6 y 9 días.

De los valores anteriores se obtuvieron las constantes de proporcionalidad con estas tasas, y los caudales mensuales se obtuvieron las cargas fluviales de plaguicidas transportadas al año en los cuatro puntos de medición, los cuales se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Plaguicidas medidos, dispositivos usados para esta medición y concentraciones obtenidas al tiempo 0, 3, 6 y 9 días.

Ingrediente	Dispositivo usado para la medición	Muestras de agua			
		Iniciales a 0 días ( $\mu\text{g/L}$ )	A 3 días ( $\mu\text{g/L}$ )	A 6 días ( $\mu\text{g/L}$ )	A 9 días ( $\mu\text{g/L}$ )
Abamectina	SPMD	0,646695501	0,53849858	0,54167056	0,47745176
Bifenazato	SPMD	0,518783287	0,340566	0,273792	0,150416
Captan	SPMD	0,560243903	0,46804891	0,46794318	0,41566033
Carboxina	SPMD	0,693843997	0,68067431	0,49621795	0,42715263
Clofentezine	SPMD	0,563645605	0,47704974	0,45991542	0,38852853
Clorotalonil	POCIS	0,619721452	0,55072321	0,56884298	0,53318026
Clorfenapir	SPMD	0,562550269	0,51234852	0,43466815	0,40084613
Ciproconazol	SPMD	0,96418066	0,84196316	0,86543625	0,68150459
Dazomet	SPMD	0,712663906	0,57978667	0,59948895	0,59945474
DDT 4,4'	POCIS	0,80498488	0,7250131	0,7246846	0,7596978
Diafentiuron	SPMD	0,917674635	0,5788426	0,46744052	0,39246549
Difenoconazol	SPMD	0,760377939	0,6463111	0,62050694	0,53513305
Furalaxyl	SPMD	0,615093338	0,55017808	0,47513903	0,41824266
Hexythiazox	POCIS	0,886933592	0,60465611	0,46895995	0,38146892
Imidacloprid	POCIS	0,56145588	0,51898931	0,50362015	0,52374401
Isopyrazam	SPMD	1,079953092	0,96459406	0,96196111	0,97657145
Kasugamicina	SPMD	0,961088186	0,82968248	0,84669486	0,89287705
Mancozeb	SPMD	0,999337494	0,8777455	0,83864724	0,72522865
Mandipropamida	SPMD	0,727720428	0,68136426	0,64661057	0,64078673
Metalaxil-M	SPMD	0,70121361	0,55710826	0,51705397	0,52321987
Oxicarboxina	SPMD	0,6815315	0,56779358	0,51636684	0,54778815
Tiabendazol	SPMD	0,814691604	0,49154876	0,42893184	0,33380668
Tiametoxam	SPMD	0,536073681	0,35322476	0,29355718	0,23723684
Thiocyclam	SPMD	1,067956414	0,87624062	0,90435532	0,78547042
Thiram	SPMD	0,505084445	0,41808088	0,37347192	0,34748851

## 4 Conclusiones y Discusión

De los 25 agrotóxicos medidos, todos fueron detectados por los dispositivos SPMD y POCIS a excepción del Ciproconazol. De estos, el Tiabendazol ya fue previamente detectado en la cuenca mediante un muestreo compuesto directo en el río Granobles en el estudio realizado por Breilh y col. (2009), por lo que 24 químicos no se han caracterizado antes en la cuenca debido a su producción comercial menor a diez años (Securities and Exchange Commission, 2017).

En el río Granobles el químico con mayor concentración fue el acaricida Hexythiazox con una cantidad descargada de 1,2 T/año, otros con alta concentración fueron el acaricida Clofentezine y el fungicida-bactericida Kasugamicin con concentraciones mayores a media tonelada al año. En el río Guachalá el químico con mayor concentración fue el acaricida Hexythiazox con una descarga medida de 5,5 T/año, mientras que el insecticida-acaricida Abamectin tiene una descarga de media tonelada al año. El químico con mayor concentración en la

desembocadura del río Pisque fue el acaricida Clofentezine con una permanencia en el arrastre en el río de 0,605 T/año, mientras que entre el fungicida Diafeconazol y fungicida-bactericida Kasugamicin superan la permeancia de arrastre en el río superior a 0,4 T al año. Los resultados confirman que los insecticidas y los fungicidas en Ecuador son los agrotóxicos más utilizados (Valarezo y Muñoz, 2011).

El arrastre más alto de DDT en aguas superficiales fue en el río Granobles con 0,194 T/año, debido a que en esta subcuenca se encuentran las industrias florícolas. Sin embargo, este valor de arrastre es bajo comparado al resto de agrotóxicos, ya que en el Ecuador desde el año 2008 no se importa este plaguicida persistente; por lo tanto, la contaminación de los suelos y el agua con sustancias químicas y residuos persistentes es el resultado de muchos años de su aplicación sin restricciones, encontrándose metabolitos como el DDT 4,4' aún en los cuerpos hídricos (Cairns y Sherma, 1992; Kouzayha y col., 2013).

**Tabla 3.** Cargas fluviales de plaguicidas desde junio de 2018 a mayo de 2019 en los puntos de muestro Granobles, Guachalá, Pisque (punto 1) y Pisque (punto 2).

Agrotóxico	Masa transportada en el río al año (Kg/año)			
	Río Granobles	Río Guachalá	Río Pisque (Punto 1)	Río Pisque (Punto 2)
Abamectin	6,653528	505,477019	629,176347	122,808668
Bifenazate	6,620319	160,148325	77,819682	64,863366
Captan	144,33157	0,360573	160,588781	28,004311
Carboxine	39,944796	18,24502	96,992282	370,995619
Clofentezine	852,05047	1,020008	953,89041	605,280247
Chlorothalonil	29,324674	117,808407	103,970527	0,051113
Chlorfenapyr	16,68012	0,833866	10,451968	12,665925
Ciproconazol	0	0	0	0
Dazomet	12,829044	10,348819	30,244102	14,955096
DDT 4,4'	194,122733	0	15,599694	0,533583
Diafenthuiuron	17,144261	354,515585	264,258417	235,911596
Difeconazol	121,341225	0,244132	322,424488	430,743341
Furalaxyl	347,413055	4,556359	491,844465	253,193159
Hexythiazox	1207,15446	555,134675	935,364327	1,356934
Imidacloprid	467,290891	68,016049	965,451402	35,350273
Isopyrazam	68,172396	21,459916	129,310744	131,940685
Kasugamicin	644,610004	84,379842	956,951816	441,095821
Mancozeb	205,192694	0	78,173762	29,875791
Mandipropamid	2,579379	0	4,215016	2,875818
Metalaxyl-M	6,479502	0,240234	7,657236	1,748932
Oxycarboxine	463,488287	0,879675	178,184092	82,686197
Thiabendazole	7,520012	3,113556	10,797758	6,585262
Tiametoxam	21,313513	14,81764	49,24951	11,928538
Thiocyclan	11,820493	2,312543	37,89562	20,001449
Thiran	84,577268	6,421586	144,596888	76,786843

Existe una disminución de las concentraciones de plaguicidas aguas abajo comparando los puntos 1 y 2 del río Pisque, esto en parte se correlaciona con las disminuciones de las concentraciones encontradas en laboratorio (Tabla 2). En los análisis de campo esto se puede deber a factores ambientales, además de condiciones climáticas variables, incluidas la sequía, desertificación y otros factores presentes en la zona de estudio (Aisha y col., 2017). El acaricida Clofentezine tiene una mayor permanencia en los cuerpos hídricos a pesar de tener una toxicidad del Tipo IV, con una disminución de únicamente el 37% entre los puntos 1 y 2 del río Pisque. No se puede comparar la presencia y degradación de estos químicos con otras cuencas o microcuencas del país, ya que no existen estudios similares.

El perfil químico del río Pisque es relativamente similar a los observados en el lago Ziway en Etiopía, el cual tiene también presencia de industria florícola en su cuenca (Lamessa y col., 2021). El conocimien-

to sobre el tipo y cantidad de pesticidas presentes en la cuenca permite evaluar su efecto en la salud humana y los ecosistemas, para esto se deberá analizar el ciclo de vida completo de los plaguicidas en la cuenca, analizando sus destinos finales y la exposición humana y de otras especies a través de los diferentes medios y vías, como por ejemplo alimentos, evaporación al aire, transferencia al suelo o al agua subterránea (Margni y col., 2002).

## Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Quito- Ecuador, sin este apoyo no hubiera sido posible llevar a buen fin el mismo.

## Referencias

- Aguilar, C. (1998). «Comparison of automated on-line solid-phase extraction followed by liquid chromatography-mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization and particle beam mass spectrometry for the determination of a priority group of pesticides in environ». En: *Journal of Chromatography A* 794, 1-2. Online:https://bit.ly/3LD6Hq5.
- Aisha, A. y col. (2017). «Monitoring of 45 pesticides in Lebanese surface water using polar organic chemical integrative sampler (POCIS)». En: *Ocean Science Journal* 52, 455-466. Online:https://bit.ly/3JweeVg.
- Alvarez, D. y col. (2004). «Development of a passive, in situ, integrative sampler for hydrophilic organic contaminants in aquatic environments». En: *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 23.7, 1640-1648. Online:https://bit.ly/3FyOJBd.
- Alvarez, D. y col. (2007). «Passive sampling techniques in environmental monitoring». En: vol. 48. *Comprehensive Analytical Chemistry*. Cap. Tool for monitoring hydrophilic contaminants in water: polar organic chemical integrative sampler (POCIS), págs. 171-197.
- Alvarez, D. y col. (2014). «Spatial and temporal trends in occurrence of emerging and legacy contaminants in the Lower Columbia River 2008-2010». En: *Science of the total environment* 484, 322-330. Online:https://bit.ly/3JqFjZQ.
- Arias, M. y col. (2008). «The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources». En: *Agriculture, ecosystems & environment* 123.4, 247-260. Online:https://bit.ly/40mdh8J.
- Badr, A. (2020). «Organophosphate toxicity: Updates of malathion potential toxic effects in mammals and potential treatments». En: *Environmental Science and Pollution Research* 27.21, 26036-26057. Online:https://bit.ly/3LDjEAd.
- Bravo, M. y S. Flores (2006). «Incidencia de la producción de rosas en el sector de Cayambe período 2000-2005». Tesis de mtría. Guayaquil.
- Breilh, J. y col. (2009). *Consolidación del estudio sobre la relación entre impactos ambientales de la floricultura, patrones de exposición y consecuencias en comunidades de la cuenca del Granobles (Sierra Norte, Ecuador): informe técnico final*. Inf. téc. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Cachipuendo, C. (2018). «Modelo dinámico para a gestão e manejo sustentável de sistemas de irrigação comunitários, no marco do Bom Viver: estudo do caso na bacia do Rio Pisque». Tesis doct. Universidade de São Paulo.
- Cairns, T. y J. Sherma (1992). *Emerging strategies for pesticide analysis*. CRC press.
- Calamari, D. y U. Barg (1993). «Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities». En: *Comprehensive Analytical Chemistry*. Cap. Hazard assessment of agricultural chemicals by simple simulation models, págs. 207-222.
- Corrales, J. (2016). «Análisis del sector florícola ecuatoriano periodo 2005-2015 caso Cayambe». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Fedorova, G. y col. (2014). «A passive sampling method for detecting analgesics, psycholeptics, antidepressants and illicit drugs in aquatic environments in the Czech Republic». En: *Science of the total environment* 487, 681-687. Online:https://bit.ly/3JZu384.
- Ferrer, I. y E. Thurman (2007). «Multi-residue method for the analysis of 101 pesticides and their degradates in food and water samples by liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry». En: *Journal of Chromatography A* 1175.1, 24-37. Online:https://bit.ly/3LlifIF.
- GAD Municipal de Pedro Moncayo (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT Actualización 2018 - 2025*. Inf. téc. GAD Municipal de Pedro Moncayo.
- GADIP Cayambe (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantó Cayambe 2020-2030*. Inf. téc. GAD Municipal de Pedro Moncayo.
- Górecki, T. y J. Namieśnik (2002). «Passive sampling». En: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 21.4, 276-291. Online:https://bit.ly/3nf6r6w.
- Hernández, F. y col. (2001). «Rapid direct determination of pesticides and metabolites in environmental water samples at sub- $\mu\text{g}/\text{l}$  level by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry». En: *Journal of Chromatography A* 939.1-2, 1-11. Online:https://bit.ly/3JBjzU.
- Huckins, J. y col. (1999). «Determination of uptake kinetics (sampling rates) by lipid-containing semipermeable membrane devices (SPMDs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water». En: *Environmental science & technology* 33.21, 3918-3923. Online:https://bit.ly/3FIHXca.

- Kiso, Y. y col. (1996). «Pesticide analysis by high-performance liquid chromatography using the direct injection method». En: *Journal of chromatography A* 733.1-2, 259-265. Online: <https://bit.ly/3lwCazI>.
- Kot, A., B. Zabiegała y J. Namieśnik (2000). «Passive sampling for long-term monitoring of organic pollutants in water». En: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 19.7, 446-459. Online: <https://bit.ly/3JEJd18>.
- Kouzayha, A. y col. (2013). «Occurrence of pesticide residues in Lebanon's water resources». En: *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 91, 503-509. Online: <https://bit.ly/3LIG0R6>.
- Lamessa, M. y col. (2021). «Biological and chemical monitoring of the ecological risks of pesticides in Lake Ziway, Ethiopia». En: *Chemosphere* 266, 129214. Online: <https://bit.ly/3JE15Jx>.
- López-Roldán, P., M. López de Alda y D. Barceló (2004). «Simultaneous determination of selected endocrine disrupters (pesticides, phenols and phthalates) in water by in-field solid-phase extraction (SPE) using the prototype PROFEXS followed by on-line SPE (PROSPEKT) and analysis by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionisation-mass spectrometry». En: *Analytical and bioanalytical chemistry* 378, 599-609. Online: <https://bit.ly/40JYC7F>.
- Luellen, D. y D. Shea (2002). «Calibration and field verification of semipermeable membrane devices for measuring polycyclic aromatic hydrocarbons in water». En: *Environmental science & technology* 36.8, 1791-1797. Online: <https://bit.ly/3naONkr>.
- Margni, M. y col. (2002). «Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems». En: *Agriculture, ecosystems & environment* 93.1-3, 379-392. Online: <https://bit.ly/3LIN6VK>.
- Miège, C. y col. (2012). «An in situ intercomparison exercise on passive samplers for monitoring metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and pesticides in surface waters». En: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 36, 128-143. Online: <https://bit.ly/3TBNlhB>.
- Morin, N. y col. (2012). «Chemical calibration, performance, validation and applications of the polar organic chemical integrative sampler (POCIS) in aquatic environments». En: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 36, 144-175. Online: <https://bit.ly/3FHx6zk>.
- Murdock, C. y col. (2001). «DGT as an in situ tool for measuring radiocesium in natural waters». En: *Environmental science & technology* 35.22, págs. 4530-4535.
- Narváez, J., C. López y F. Molina (2013). «Passive sampling in the study of dynamic and environmental impact of pesticides in water». En: *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 68, 147-159. Online: <https://n9.cl/59jyk>.
- Rodrigues, A. y col. (2007). «Determination of several pesticides in water by solid-phase extraction, liquid chromatography and electrospray tandem mass spectrometry». En: *Journal of Chromatography A* 1150.1-2, 267-278. Online: <https://bit.ly/42B1QMb>.
- Securities and Exchange Commission (2017). «ANNUAL REPORT PURSUANT TO SECTION 13 OR 15(d) OF 1934».
- Swanson, R., B. Brownawell y C. O'Connell (2009). «The Forge River, Problem Identification».
- Valarezo, O. y X. Muñoz (2011). *Insecticidas de uso agrícola en el Ecuador*. Inf. téc. GAD Municipal de Pedro Moncayo.
- Vrana, B. y col. (2005). «Performance optimisation of a passive sampler for monitoring hydrophobic organic pollutants in water». En: *Journal of Environmental Monitoring* 7.6, 612-620. Online: <https://rsc.li/3Jjt0rU>.
- Yabuki, Y. y col. (2016). «Temperature dependence on the pesticide sampling rate of polar organic chemical integrative samplers (POCIS)». En: *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 80.10, 2069-2075. Online: <https://bit.ly/3nc78Oa>.



# EFFECTO DE LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN UN SECTOR DEL CANTÓN PAQUISHA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR

EFFECT OF MINING ACTIVITY ON BIODIVERSITY IN A SECTOR OF THE PAQUISHA PARISH, PROVINCE OF ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR

Ernesto Delgado Fernández<sup>id</sup>, Maribel León Peralta\*<sup>id</sup>, Carlos Cantos Guamán<sup>id</sup>, y Martha Guzmán Juárez<sup>id</sup>

INBIAM Grupo de investigación en Biotecnología y Ambiente, Universidad Politécnica Salesiana, Calle Vieja 12-30 y Elia Liut, Cuenca 010102, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [mdelgado@ups.edu.ec](mailto:mdelgado@ups.edu.ec)

Manuscrito recibido el 30 de marzo de 2021. Aceptado, tras revisión, el 26 de enero de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

## Resumen

La región amazónica ecuatoriana representa el 45% del territorio nacional y constituye una de las mayores reservas ecológicas de la humanidad debido a su riqueza biológica. En los últimos años el área de bosque en la amazonia latinoamericana se redujo en un 4,5% (240.000 km<sup>2</sup>); en este orden, Ecuador es uno de los países con mayor deforestación en la región (2,4%). Por esta razón, el objetivo de este estudio es valorar el efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad. Para el efecto se estimaron los posibles cambios en el ecosistema, la fragmentación, abundancia, riqueza, dominancia y diversidad de especies. El área de estudio se ubicó en una zona de explotación minera en la Provincia de Zamora Chinchipe, Cantón Paquisha-Ecuador. Mediante estimadores puntuales se identificaron 123 especies de plantas vasculares divididas en 43 familias. Asteraceae presentó mayor abundancia con el 12%, Araceae con el 8,5% y Melastomataceae el 7,5%. Asimismo, se identificaron 42 especies de aves, 16 de mamíferos, 12 entre anfibios y reptiles y 36 individuos macroinvertebrados. Los resultados permiten inferir que en la zona existe un deterioro marcado del ecosistema, empero se mantiene una diversidad interesante de especies, principalmente de flora. En lo referente a fauna la pérdida de ciertas especies es evidente, debido principalmente a la expansión agrícola, la caza y la actividad minera. La fauna acuática de acuerdo con el índice de Shannon es baja, y de acuerdo al índice BMWP/Col el agua en la zona es muy contaminada.

**Palabras clave:** Biodiversidad, abundancia, ecosistema, dominancia.

### Abstract

The Ecuadorian Amazon region represents 45% of the national territory and constitutes one of the largest ecological reserves of humanity due to its biological wealth. In recent years, the forest area in the Latin American Amazon has been reduced by 4.5% (240,000 km<sup>2</sup>). Ecuador is one of the countries with the highest deforestation in the region (2.4%). The objective of this study was to assess the effect of mining activity on biodiversity, hence possible changes in the ecosystem, fragmentation, abundance, richness, dominance and diversity of species were estimated. The study area was located in a mining area in the Province of Zamora Chinchipe, Cantón Paquisha-Ecuador. Through point estimators, 123 species of vascular plants divided into 43 families were identified, the highest abundance was presented by Asteraceae with 12%, followed by Araceae with 8.5% and Melastomataceae with 7.5%. Likewise, 42 species of birds were identified, 16 of mammals, 12 of amphibians and reptiles, and 36 macroinvertebrate individuals. It could be inferred that there is a marked deterioration of the ecosystem in the area, however an interesting diversity of species remains, mainly flora. In relation to fauna, the loss of certain species is evident, mainly due to agricultural expansion, hunting and mining activity. According to the Shannon index, the aquatic fauna is low, and according to the BMWP / Col index the water in the area is highly polluted.

**Keywords:** Biodiversity, abundance, ecosystem, dominance.

---

Forma sugerida de citar: Delgado Fernández, E., León Peralta, M., Cantos Guamán, C. y Guzmán Juárez, M. (2023). Efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad en un sector del cantón Paquisha, Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):106-123. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.08>.

---

IDs Orcid:

Ernesto Delgado Fernández: <http://orcid.org/0000-0002-9532-7940>

Maribel León Peralta: <http://orcid.org/0000-0002-0236-0371>

Carlos Cantos Guamán: <http://orcid.org/0000-0001-7690-5082>

Martha Guzmán Juárez: <http://orcid.org/0000-0002-7103-6903>

## 1 Introducción

Ecuador alberga en su territorio la más alta concentración de ecosistemas, especies biológicas y biodiversidad. La región Amazónica Ecuatoriana representa el 45% del territorio nacional y constituye una de las mayores reservas ecológicas de la humanidad (Myers y col., 2000). Según la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), en la región amazónica se encuentra aproximadamente el 80% de la biodiversidad de todo el país, pudiéndose encontrar de 150 a 312 especies de árboles por hectárea, 600 especies de peces y más de 250 especies de anfibios y reptiles (Toro, 2006). La región amazónica tiene una importancia biológica única, seguramente aquí se ubica una carga microbica nativa muy particular de especies no catastradas de microorganismos. Es importante mencionar que las condiciones topográficas y ambientales de la región, la suma de estas y otras interacciones influyen de manera directa en la biodiversidad de la zona (Alexa, 2010). Sin embargo, las actividades productivas provocan impactos ambientales y el problema de la región amazónica está ligado con la actividad minera y la deforestación. Según el informe de la red amazónica de información socioambiental georreferenciada (RAISG) entre los años 2000 y 2010 el área de bosque de la amazonia latinoamericana se redujo en un (4,5%), unos 240 mil kilómetros cuadrados aproximadamente, Ecuador es uno de los países de la región que presenta el mayor índice de deforestación (2,4%), en este sentido la biodiversidad está

bajo creciente presión y amenaza (MAE, 2015).

La actividad minera particularmente relacionada con el oro en la república del Ecuador ha venido ocurriendo desde hace siglos (Equipo MMSD América del Sur, 2002); por lo tanto, la presente investigación sugiere que la expansión de la actividad minera en la zona provoca pérdidas en la biodiversidad. El estudio del ecosistema tuvo como propósito identificar los posibles cambios en el mismo, la fragmentación, abundancia, riqueza, dominancia y diversidad de especies, en definitiva, el objetivo de la investigación es generar datos que a futuro se puedan utilizar y comparar con otros resultados de investigación con el fin de desarrollar estrategias de conservación.

## 2 Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Paquisha, comunidad Congüime, coordenadas UTM: WGS 84,17 m; 762056.24 m E; 9553263.64 m S; 838 m de altitud (Figura 1). En el lugar se ubicaron elevaciones con pendientes pronunciadas que varían entre los 700 m.s.n.m y 2800 m.s.n.m y que conforman la cordillera del Cóndor al Este y en la parte baja el valle del río Nangaritz que corre de Sur a Norte.

Aleatoriamente y de forma estratégica se ubicaron 5 puntos de muestreo, los mismos se codificaron como: COFA para fauna y COF para flora (Tabla 1).

**Tabla 1.** Puntos de muestreo flora y fauna.

PUNTOS (CÓDIGOS)	COORDENADAS		ALTURA (m)	ÁREA
	UTM (Zona 17S)			
	WGS84			
X	Y			
COF-1/COFA-1	764002	9553233	901,3	Bosque secundario y mosaico matorral
COF-2/COFA-2	763548	9552652	857	Mosaico matorral y pasto
COF-3/COFA-3	763222	9553334	905,6	Mosaico matorral y pasto
COF-4/COFA-4	762188	9552973	844,7	Mosaico matorral, pasto y cultivos
COF-5/COFA-5	762042	9553272	842	Matorral, pasto y acciones antrópicas

Coordenadas y ubicación, altura máxima 905.6 m.s.n.m

### 2.1 Flora del área de estudio

Para el estudio se trazaron parcelas de 50 m × 50 m en un área total de 0,25 ha; posteriormente se subdi-

vidieron en áreas de 0,25 × 0,25 m. cada una (Arias y col., 2012). Las variables de estudio fueron: área basal, densidad relativa, dominancia relativa, índice

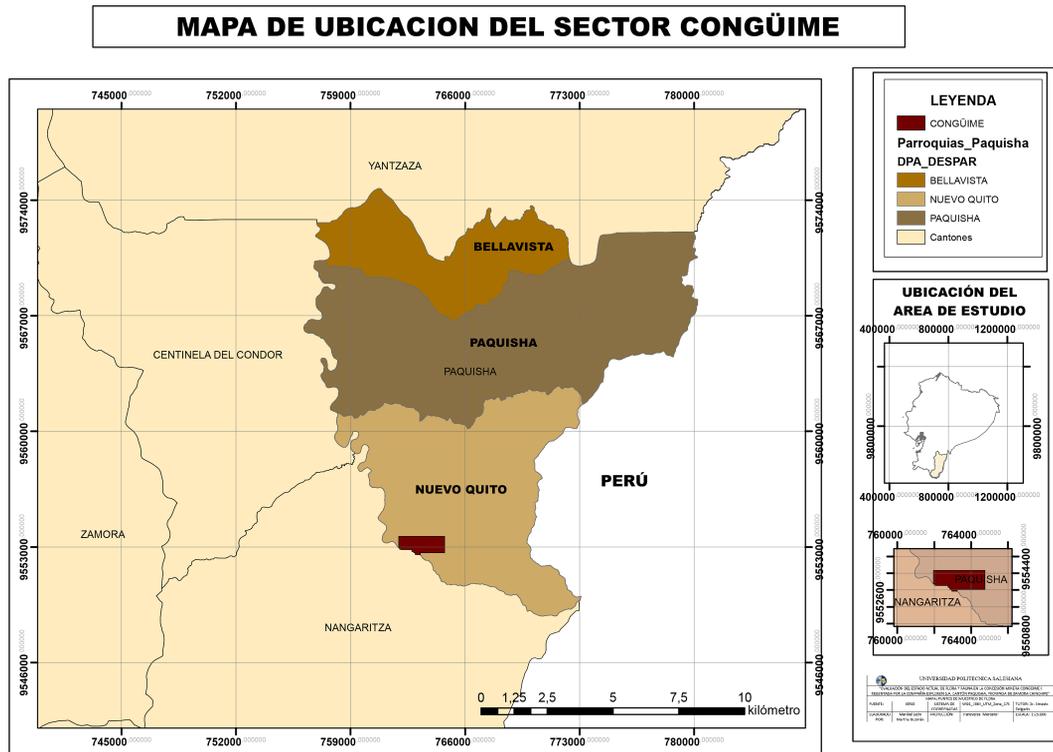


Figura 1. Mapa cartográfico, ubicación del área de estudio.

de valor de importancia, e índice de dominancia de Simpson. Cuando el rango fue de 0 a 1, los valores más cercanos a (1) se interpretaron como dominancia de una especie sobre la otra según el índice de dominancia de Simpson. Cuando los valores fueron de 0 a 5, los valores cercanos a cero se interpretaron como baja diversidad y viceversa, de acuerdo al índice de diversidad de Shannon (Zamora, 2015).

### 3 Avifauna

Los muestreos se hicieron en base a 3 criterios: puntos de censo, caminatas al azar y registros auditivos (Balderrama y col., 2005). Se estudió la diversidad, abundancia y ubicación geográfica, y las referencias se tomaron de la lista de aves del Ecuador continental (Ridgely, Greenfield y Guerrero, 1998). Para estimar la abundancia relativa y diversidad de especies se aplicó el índice de dominancia de Simpson en un rango de 0 a 1. Inferimos que los valores cercanos a (1) son indicadores de dominancia de una especie sobre las demás (Campo y Duval, 2014a). El índice Shannon-Weaner nos sirvió para estimar la diversi-

dad (Zamora, 2015); además, se evaluaron aspectos ecológicos como el gremio trófico y las especies sensibles e indicadoras.

#### 3.1 Mastofauna y herpetofauna

El estudio se hizo mediante transectos, avistamientos, conteo, monitoreo indirecto, rastros, presencia de excremento, madrigueras, diámetro de agujeros y encuestas a los moradores de la comunidad (Arévalo, 2001). Se llevaron a cabo 3 recorridos de observación a lo largo de 200, 500 y 1000 m. Además, mediante registros auditivos y encuentros visuales se identificaron: ranas, sapos, salamandras, etc. (Yáñez, Reyes y Meza, 2007). La valoración se hizo a través del índice de Shannon.

#### 3.2 Macroinvertebrados

En el lecho del río, mediante una red patada (Carra y Fierro, 2001) se hizo el muestreo en la quebrada Chinapintza, río Congüime y en la unión de los dos. Los grupos de datos se compararon para determinar riqueza y abundancia de especies. La diver-

sidad biológica se determinó mediante los índices: Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949); dominancia de Simpson (Campo y Duval, 2014b); riqueza de Margalef e índice de uniformidad o equidad. La calidad del agua se estimó a través de los índices EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*) (Bispo, Bini y Sousa, 2006) y el índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party/modificado por Colombia) (Zamora y Alba, 1996).

## 4 Resultados y Discusión

### 4.1 Flora del área de estudio

Se registraron 123 especies de plantas y 43 familias. Las especies que presentaron mayor abundancia fueron *Araceae* y *Asteraceae*. En el punto (COF-3) se presentó la mayor diversidad de especies, mientras que en el punto (COF-1) se presentó mayor número de familias. Inferimos que los puntos 1 y 3 fueron áreas de menor intervención (Figura 2).

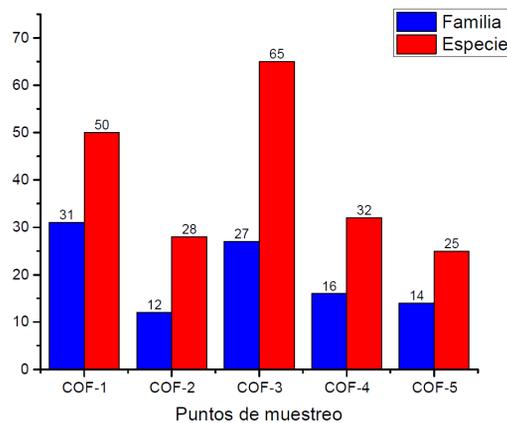


Figura 2. Diagrama de barras, familias y especies en los puntos de muestreo.

#### 4.1.1 Estimación de diversidad biológica

De acuerdo con el índice Shannon-Weaver, los valores (3,708) para (COF-1) y (3,873) para (COF-3), se refieren a una fracción de bosque secundario de al-

ta diversidad. En cuanto a (COF-2) (3,00) (COF-4) (3,01) y (COF-5) (2,87), estos son indicadores de una diversidad media de acuerdo con el índice de Simpson (>0,9). (Tabla 2).

Tabla 2. Diversidad de especies.

Áreas de muestreo	Nº de especies	Nº de individuos	Índice de Shannon	Interpretación	Índice de Simpson	Interpretación
COF-1	50		3,708	Diversidad alta	0,9713	Diversidad alta
COF-2	28		3,005	Diversidad media	0,936	Diversidad alta
COF-3	65	200	3,873	Diversidad alta	0,974	Diversidad alta
COF-4	32		3,01	Diversidad media	0,9318	Diversidad alta
COF-5	25		2,877	Diversidad media	0,9287	Diversidad alta

#### 4.1.2 Índice valor de importancia (IVI)

Por la variedad de especies arbóreas y el dosel parcialmente abierto (capa aérea vegetal) se consideró hacer la valoración en (COF-3). Se registraron ma-

yormente dos familias *Urticaceae* y *Arecaceae*; las especies con mayor (IVI) fueron *Mauritia flexuosa* L.f. (27.44), *Pourouma bicolor* Mart. (20.76), *Ficus americana* Aubl. (19.45), *Cecropia ficifolia* (18.56) y *Astrocaryum chambira* Burret (14.91) (Tabla 3).

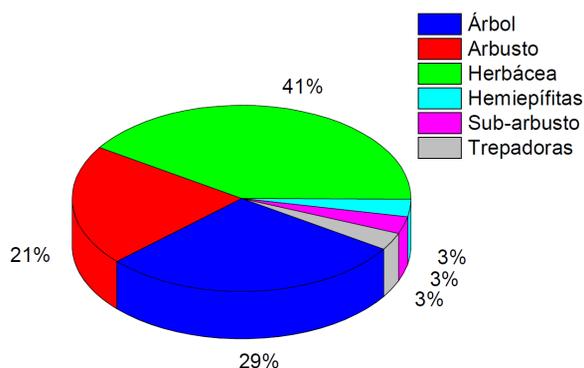
**Tabla 3.** Índice de valor de Importancia (IVI) del (COF-3).

Species	ABU	AB (m <sup>2</sup> )	DR	DM	IVI
<i>Mauritia flexuosa</i>	2	1.865	2.47	24.97	27.44
<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	5	1.09	6.17	14.60	20.77
<i>Ficus americano</i> Aubl.	6	0.9	7.41	12.05	19.46
<i>Cecropia ficifolia</i>	12	0.28	14.81	3.75	18.56
<i>Astrocaryum chambira</i> Burret	11	0.1	13.58	1.34	14.92
<i>Batocarpus orinocensis</i> Karsten.	1	0.99	1.23	13.26	14.49
<i>Himatanthus sucuuba</i> Woodson	6	0.48	7.41	6.43	13.83
<i>Pourouma cecropiifolia</i>	9	0.2	11.11	2.68	13.79
<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	8	0.13	9.88	1.74	11.62
<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	6	0.2663	7.41	3.57	10.97
<i>Myriocarpa stipitata</i> Benth	8	0.025	9.88	0.33	10.21
<i>Perebea guianensis</i> Aubl.	3	0.43	3.70	5.76	9.46
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	1	0.43	1.23	5.76	6.99
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	2	0.25	2.47	3.35	5.82
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	1	0.032	1.23	0.43	1.66
TOTAL	81	74.683	100	100	200

AB = Basal Area DnR = Relative Density DmR = Relative Dominance IVI = Importance Value Index.

#### 4.1.3 Hábito de las especies vegetales

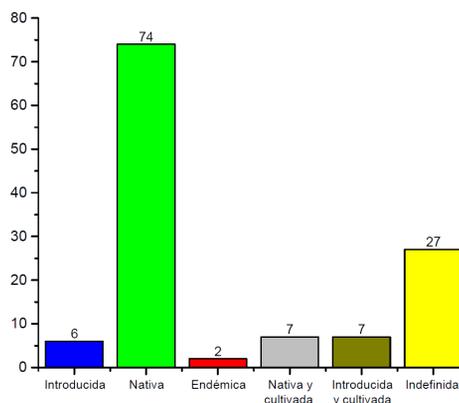
Se encontraron especies herbáceas, árboles y arbustos con el 36%, 29% y 22% respectivamente (Figura 3). Las especies herbáceas corresponden a zonas de mayor intervención (Jørgensen y León-Yáñez, 1999).



**Figura 3.** Distribución de especies vegetales de acuerdo a su patrón de desarrollo (hábito).

#### 4.1.4 Estado de conservación

Se registró 74 especies vegetales que se ubicaron como nativas (76,2%); 6 especies introducidas (6,2%); 7 introducidas y cultivadas (7,2%) 7 nativas y cultivadas (7,2%) además de 2 especies endémicas (2,05%) (Figura 4).



**Figura 4.** Componente biótico (especies vegetales) y su estatus.

Las especies cultivadas que se catastraron fueron: *Carica papaya* L. (papaya), *Inga edulis* Mart. (Guabilla), *Ipomoea batatas* (L.) Lam. (Camote silvestre), *Pourouma cecropiifolia* (Uvilla), *Renealmia alpinia* (Achira del monte), *Solanum quitoense* Lam. (Naranja-jilla) y *Bactris gasipaes* Kunth. (Palmito). Además, las especies nativas: *Paspalum saccharoides* Ness ex Trin (Yajoch irpa), *Sobralia rosea* Poepp. Endl (Orquídea), *Pourouma minor* Benoist (Chumico) y *Piper obliquum* Ruiz Pav (Matico liso). Igualmente se registró 13 especies vegetales introducidas e introducidas y cultivadas, 2 especies endémicas *Anthurium jaramilloi* y *Miconia dodsonii*, especies que se encuentran en categoría vulnerable y en peligro de extinción (León-Yáñez y col., 2011; IUCN, 2017) (Ver Tabla 5).

Tabla 4. Hábito de especies.

ESPECIE	HÁBITO	ESPECIE	HÁBITO	ESPECIE	HÁBITO
<i>Bactris</i> sp.	Árbol	<i>Ficus</i> sp.	Árbol	<i>Physalis</i> <i>rivinoide</i> s kunth & CD Bouché	Herbácea
<i>Ipomoea ramossissima</i> (Poir.) Choisy	Herbácea	<i>Floscopa</i> sp.	Herbácea	<i>Piper aduncum</i> L.	Arbusto
<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	Arbusto	<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P. Beauv.	Herbácea	<i>Piper obliquum</i> Ruiz & Pav.	Arbusto
<i>Actotis indicata</i>	Herbácea	<i>Hedychium coronarium</i> J. Koenig	Herbácea	<i>Piper pelatum</i>	Herbácea
<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	Árbol	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Arbusto	<i>Piper</i> sp. 1	Arbusto
<i>Aeschynomene americana</i> var. <i>glandulosa</i> (Poir. ex Lam.) Rudd	Sub-arbusto	<i>Heliconia orthotricha</i> L. Andersson	Herbácea	<i>Piper</i> sp. 2	Arbusto
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Herbácea	<i>Heliconia</i> sp.	Herbácea	<i>Piptocoma discolor</i>	Arbusto
<i>Anthurium jarrailloti</i>	Herbácea	<i>Himantibus succuba</i> Woodson	Árbol	<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	Árbol
<i>Apelandra nellii</i>	Herbácea	<i>Hypnis brevipes</i> Poir.	Herbácea	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Árbol
Asteraceae <i>indeterminada</i>	Herbácea	<i>Inga edulis</i> Mart.	Herbácea	<i>Pourouma minor</i> Benoit	Árbol
<i>Astrocaryum chambira</i> Burret	Árbol	<i>Inga leiocalycina</i> Benth.	Árbol	<i>Pourouma</i> sp.	Árbol
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Arbusto	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	Árbol	<i>Peritium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	Herbácea
<i>Baccharis trimeris</i> Pers.	Arbusto	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Trepadora	<i>Renelma alpina</i>	Herbácea
<i>Baccharis orinocensis</i> Karsten.	Árbol	<i>Ipomoea ramossissima</i> (Poir.) Choisy	Herbácea	<i>Renelma</i> sp.	Herbácea
<i>Besleria</i> aff. <i>barbata</i> (Poepp.) Hamst	Subarbusto	<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	Árbol	<i>Rhodospadha latifolia</i> Poepp.	Hemiepiñita
<i>Caladium stenuderthifolium</i> Engl.	Herbácea	<i>Leandra</i> cf. <i>Caqueña</i> Spruce	Arbusto	<i>Rubus niveus</i>	Arbusto
<i>Carica papaya</i> L.	Árbol	<i>Macrotelypteris torresiana</i>	Herbácea	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Arbusto
<i>Cecropia andina</i> Cuatrec.	Árbol	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Arbusto	<i>Sapium maritieri</i> Huber	Árbol
<i>Cecropia fasciata</i>	Árbol	<i>Marricaria recutita</i>	Herbácea	<i>Sicydium tamnifolium</i> (Kunth) Cogn.	Lianas
<i>Chelonanthus acutangulus</i> (Ruiz & Pav.) Gilg	Herbácea	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	Árbol	<i>Sida poeppigiana</i> (K. Schum.) Fryxell	Sub-arbusto
<i>Chelonanthus acutangulus</i> (Ruiz & Pav.) Gilg	Herbácea	<i>Merremia quinquefolia</i>	Herbácea	<i>Sobralia rosea</i> Poepp. & Endl.	Herbácea
<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E. Jarvis	Trepadora	<i>Miconia dadsonii</i>	Árbol	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	Árbol
<i>Citrus medica</i> L.	Arbusto	<i>Miconia</i> sp.	Arbusto	<i>Solanum quitense</i> Lam.	Arbusto
<i>Clitemia hirta</i>	Arbusto	<i>Mikania</i> sp.	Herbácea	<i>Solanum</i> sp.	Arbusto
<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott.	Herbácea	<i>Munozia hastifolia</i> (Poepp.) H. Rob. & Bretzell	Herbácea	<i>Sp. 1</i>	Herbácea
<i>Columnnea inaequalitera</i> Poepp.	Herbácea	<i>Musa x paradisiaca</i> L. (pro sp.)	Herbácea	<i>Sp. 3</i>	Árbol
<i>Costus lasius</i> Loes.	Herbácea	<i>Myriocarpa stipitata</i> Benth	Árbol	<i>Tessaria integrifolia</i> Ruiz & Pav.	Arbusto
<i>Costus</i> sp.	Herbácea	<i>Niphidium crassifolium</i>	Herbácea	<i>Tibouchina ciliaris</i> (Vent.) Cogn.	Arbusto
<i>Cyperus aggregatus</i>	Herbácea	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Arbusto	<i>Tibouchina ciliaris</i> (Vent.) Cogn.	Arbusto
<i>Desmodium</i> aff. <i>purpurei</i> Brandegee	Herbácea	<i>Paspalum saccharoides</i> Ness ex Trin.	Herbácea	<i>Ureva baccifera</i> (L.) Gaudich. /	Árbol
<i>Drymonia urecolata</i> Wiehler	Herbácea	<i>Pennisetum purpureum</i>	Herbácea	<i>Vernoniaanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	Árbol
<i>Epidendrum bracteatum</i> Barb. Rodr.	Herbácea	<i>Persea guianensis</i> Aubl.	Árbol	<i>Xanthosoma</i> aff. <i>pubescens</i> Poepp.	Herbácea
<i>Epidendrum calanthum</i>	Herbácea	<i>Phllocladon aff. asplundii</i>	Herbácea	<i>Zapoteca</i> sp.	Arbusto
<i>Epidendrum</i> sp.	Herbácea	<i>Croat &amp; M.L. Soares</i>	Herbácea	<i>Sp. 4</i>	Árbol
<i>Erythrina peruviana</i> Krukoff	Árbol	<i>Phllocladon ernestii</i> Engl.	Hemiepiñita	<i>Sp. 5</i>	Árbol
<i>Ficus</i> aff. <i>insipida</i> Willd	Árbol	<i>Phllocladon pedatum</i> (Hook.) Kunth	Herbácea	<i>Sp. 6</i>	Árbol
<i>Ficus americana</i> Aubl.	Árbol	<i>Physalis pubescens</i> L.	Herbácea		

## 5 Fauna del área de estudio

### 5.1 Avifauna

Se registró 42 especies de aves que se ubicaron en 13 órdenes y 22 familias (2.31%) del total de aves registradas en el Ecuador (MAE-SUIA, 2015). *Tyrannidae* (20%) y *Thraupidae* (15%) presentaron mayor abundancia (Figura 8).

## 6 Ubicación biogeográfica

Se registró 20 especies de aves categorizadas como comunes y 13 como poco comunes (Ridgely, Greenfield y Guerrero, 1998). La dominancia de especies

comunes sobre las poco comunes es un indicador del área perturbadas (Velásquez y col., 2003).

Con mayor abundancia se registró *Tyrannus melancholicus* (Tirano tropical), *Sicalis flaveola* (Semillero basto), *Ramphocelus carbo* (Tangara concha de vino), *Oryzoborus angolensis* (Semillero menor), *Myiozetetes similis* (Mosquero social), *Doliornis remseni* (Cotinga ventricastaña), y *Crotophaga ani* (Garrapatero piquiliso) (Figura 11). El número total de especies registradas en la zona fue de 42; la mayoría pertenece a la familia Tyrannidae. Un mayor porcentaje de especies se registró en el punto COFA-3; 49 sp. y en menor número en el punto COFA-5 19 sp. Esto se debe principalmente a que el área se encuentra intervenida por actividades mineras.

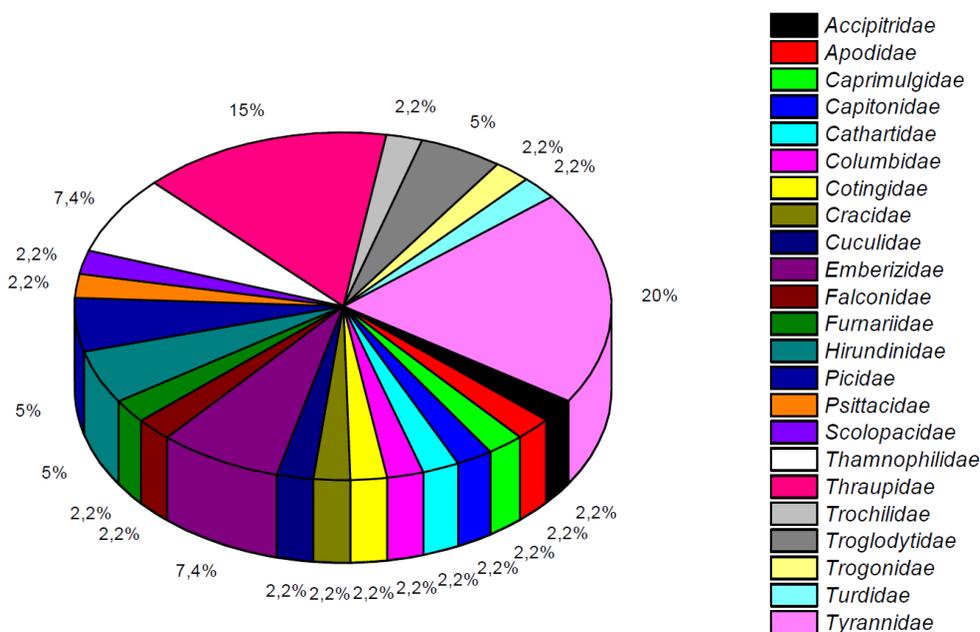


Figura 5. Porcentajes de aves presentes en el área.

La curva de acumulación de especies para avifauna es un indicador de la tasa a la que nuevas especies se pueden encontrar y cada unidad de esfuerzo consiste en puntos de muestreo realizados en horarios y lugares estratégicos. Se ha establecido el modelo exponencial negativo, para valorar la calidad del muestreo y colecta, obteniéndose un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9995, una pendiente de 0.0062 y un esfuerzo de muestreo del 87%, lo que nos indica un buen ajuste del modelo y un

muestreo completo y fiable con una buena calidad de inventario (Figura 6).

### 6.1 Estimación de la biodiversidad

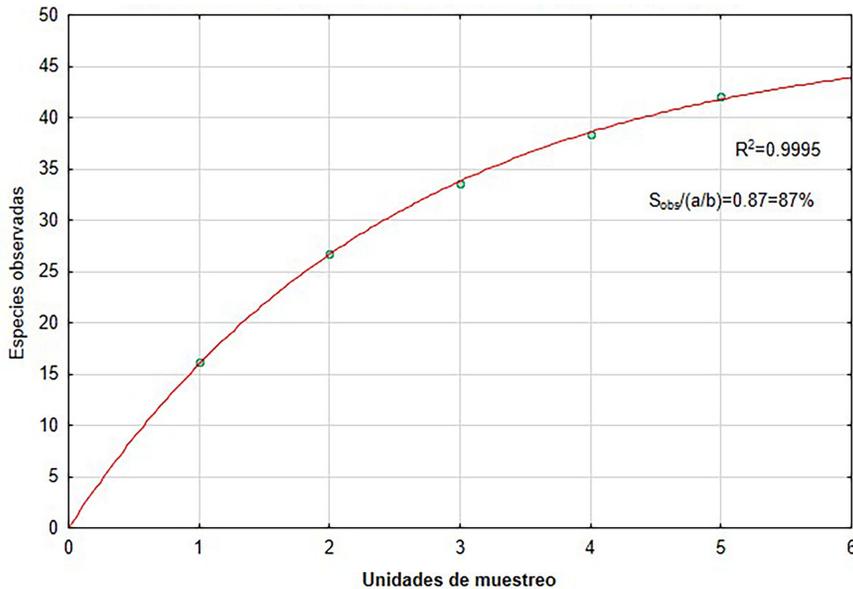
De acuerdo con el índice Shannon-Weaner el valor (3.1) para COFA-3; es un indicador de diversidad alta (Zamora, 2015). Mediante la comparación de valores observados y esperados (Índice de Pielou-J) (Moreno, 2001) se valoró la biodiversidad del área.

Los resultados se aproximan a (1) por lo que inferimos que las especies son abundantes en los diferentes puntos (Tabla 6).

**Tabla 5.** Especies introducidas y estatus de conservación según la IUCN.

Especie	Estatus (IUCN)	Catálogo: Plantas vasculares del Ecuador
<i>Pennisetum purpureum</i>	LC	Introducida
<i>Citrus medica</i> L.	NE	Introducida y cultivada
<i>Colacasia esculenta</i> (L.) Schott.	LC	Introducida y cultivada
<i>Hedychium coronarium</i> J. Koenig	-	Introducida
<i>Macrothelypteris torresiana</i>	NE	Introducida
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	-	Introducida y cultivada
<i>Matricaria recutita</i>	LC	Introducida y cultivada
<i>Musa x paradisiaca</i> L. (pro sp.)	NE	Introducida y cultivada
<i>Musa x paradisiaca</i> L. (pro sp.)	-	Introducida y cultivada
<i>Opuntia ficus-indica</i>	DD	Introducida
<i>Rubus niveus</i>	LC	Introducida
<i>Sacharum officinarum</i> L.	LC	Introducida y cultivada
<i>Urochloa aff. dictyoneura</i>	NE	Introducida

Nomenclatura: **LC**= Preocupación menor; **NE** =No Evaluada; **DD**= Datos Deficientes.



**Figura 6.** Curva de acumulación de especies de aves.

De acuerdo con el índice de Simpson no existen especies dominantes en los puntos de muestreo (Tabla 7).

## 6.2 Aspectos ecológicos

El gremio trófico se clasificó bajo 8 parámetros de acuerdo con el tipo de alimentación o condición (Al-

buja, 2011). El gremio trófico con mayor representatividad fue el insectívoro (23), el gremio incrementó su frecuencia cuanto más alejado estuvo de las poblaciones y áreas perturbadas (Canaday y Rivadeneira, 2001) (Figura 7).

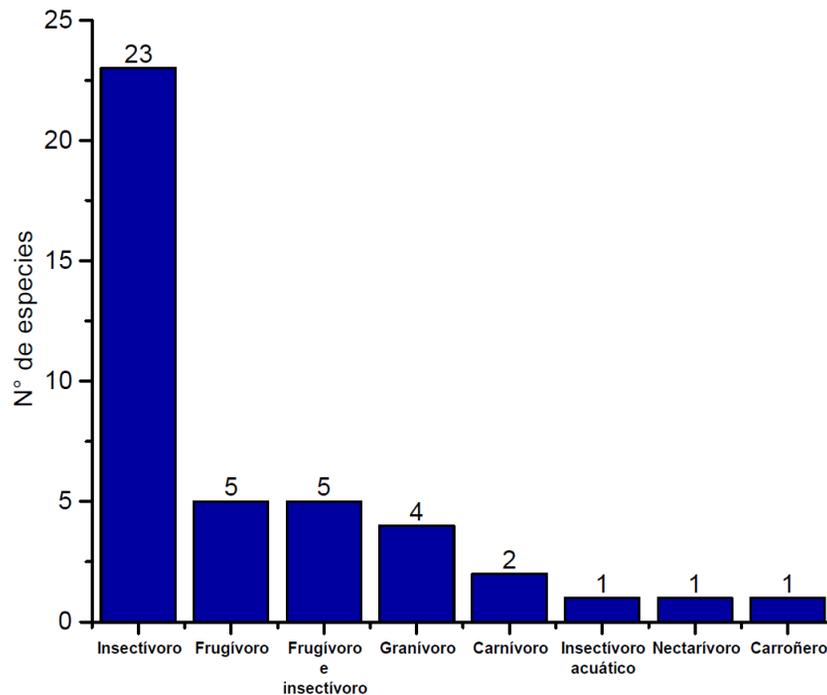
**Tabla 6.** Índice de diversidad-avifauna.

Áreas de muestreo	No de especies	No de individuos	Índice Shannon (H)	Equidad (j)	Ubicación
COFA1	20		1,59535	0,8904	Diversidad media
COFA2	37		2,36959	0,8979	Diversidad media
COFA3	49	173	3,05037	0,9477	Diversidad alta
COFA4	48		2,83833	0,9182	Diversidad media
COFA5	19		2,47912	0,9394	Diversidad media

Grupos de datos referentes a los índices de Shannon-Weaner y equidad.

**Tabla 7.** Cálculo del índice de dominancia de Simpson-Avifauna.

Puntos de muestreo	No de especies	Dominancia	Diversidad	Ubicación	Ubicación
COFA1	20	0,23	0,77	Baja dominancia	Diversidad media
COFA2	37	0,12	0,88	Baja dominancia	Diversidad alta
COFA3	49	0,06	0,94	Baja dominancia	Diversidad alta
COFA4	48	0,07	0,93	Baja dominancia	Diversidad alta
COFA5	19	0,10	0,90	Baja dominancia	Diversidad alta



**Figura 7.** Gremio trófico avifauna.

### 6.3 Especies sensibles e indicadoras

Las aves presentan diferente grado de sensibilidad frente a las alteraciones de su entorno (Stotz y col., 1996). Las especies con sensibilidad baja se registraron en mayor número (28 sp); sensibilidad media (13 sp) sensibilidad alta (1sp). La dominancia de especies con sensibilidad baja es un indicador de alteración del ecosistema.

### 6.4 Estado de conservación

La mayoría de especies se ubicaron en la categoría "preocupación menor" (LC) (40 especies); 2 especies en la categoría vulnerable *Patagioenas subvinacea*

(Paloma Rojiza) y *Doliornis remseni* (Cotinga ventricastaña). Las especies *Buteo magnirostris* (Gavilán Caminero), *Thalurania furcata* (Colibrí ninfa tijereta), *Amazona ochrocephala* (Lora amazona Coroniamarilla) y *Daptrius ater* (Caraca negra), son especies que no se encuentran en peligro de extinción, pero su comercio debe controlarse (CITES, 2010).

Además, se catastraron 3 especies de aves migratorias, *Buteo magnirostris* (Gavilán caminero), *Coragyps atratus* (Gallinazo negro) y *Actitis macularius* (Playero coleador) (Apéndice II), especies en estado de conservación desfavorable que requieren de acuerdos internacionales para su conservación (CMS, 2015) (Figura 8).

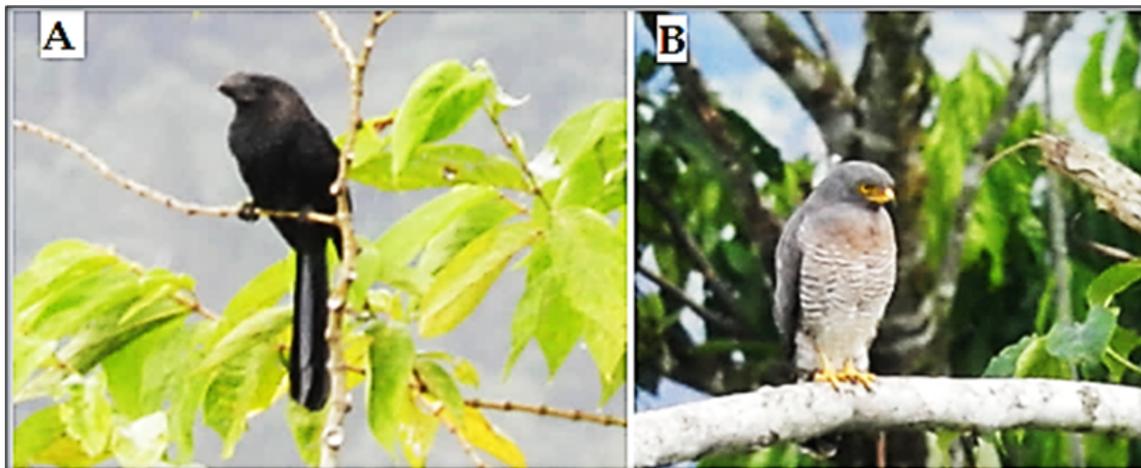


Figura 8. (A) Garrapatero piquiliso (*Crotophaga ani*). (B) Gavilán caminero (*Buteo magnirostris*).

## 7 Presencia de mamíferos

A través de encuestas se registró 16 especies de mamíferos (3,7% del total de mamíferos del Ecuador). El 100% de los encuestados afirmó conocer y haber tenido avistamientos de *Dasypus novemcinctus* (Armadillo de 9 bandas) y en menor porcentaje (2,2%) *Bradypus variegatus* (Perezoso) y *Leopardus tigrinus* (Tigrillo chico).

### 7.1 Registros por métodos indirectos

El índice de abundancia relativa resulta de dividir el número de observaciones para la longitud del re-

corrido (Zapata, Araguillin y Jorgenson, 2006). Se registró 8 especies de mamíferos en un recorrido de 1 250 metros (Tabla 8).

### 7.2 Estimación de la diversidad

Mediante muestreo indirecto se registró 8 especies de mamíferos, la abundancia relativa se determinó a través del número de huellas, los resultados evidencian un índice de diversidad bajo (1,50) de acuerdo con el índice Shannon-Wiener.

**Tabla 8.** Monitoreo por métodos indirectos.

ESPECIE	N	Abundancia (n/km)	Recorrido por especie (km)
<i>Didelphis marsupialis</i>	2	1,6	250
<i>Marmosa murina</i>	3	2,4	200
<i>Dasypus novemcinctus</i>	26	20,8	500
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	3	2,4	250
<i>Cuniculus paca</i>	4	3,2	250
<i>Platyrrhinus brachycephalus</i>	1	0,8	100
<i>Carollia brevicauda</i>	3	2,4	250
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	9	7,2	500
<b>TOTAL</b>	51	40,8	-

Grupos de datos: Abundancia relativa de mamíferos en la zona.

### 7.3 Estado de Conservación

La mayoría de las especies se encontraron en categoría de preocupación menor (LC) excepto *Cuniculus paca* (Guanta de tierras bajas); *Tayassu pecari* (Cerdo salvaje); *Mazama americana* (Venado Colorado) y *Leopardus tigrinus* (Tigrillo chico) que se ubican en las categorías: casi amenazada (NT), en peligro de extinción (EN), casi amenazada (NT) y vulnerable (VU) respectivamente (Cuesta y Tirira, 2011). La mayoría de las especies se encuentran en la categoría de preocupación menor, con excepción

de *Tayassu pecari* (Cerdo salvaje) y *Leopardus tigrinus* (Tigrillo chico) que están en la categoría vulnerable (VU) (IUCN, 2017).

Se registró 3 especies en el apéndice III. *Nasua nasua* (Cuchucho); *Eira barbara* (Cabeza de mate) y *Cuniculus paca* (Guanta de tierras bajas); 2 especies en el apéndice II, *Tayassu pecari* (Pecari de labio blanco) y *Bradypus variegatus* (Perezoso); y *Leopardus tigrinus* (Tigrillo chico) en el apéndice I (Especie de mayor amenaza) (CITES, 2017).

### 7.4 Análisis gremial trófico de mamíferos

Se valoró los cambios en hábitat y ecosistema, además de la forma en que las especies hacen uso de sus recursos a través del tiempo (Pérez-Irineo y Santos-Moreno, 2013). En el lugar se registró 6 gremios tróficos: Carnívoros (1); omnívoros (5); insectívoros (1); frugívoros (6); folívoros (1) y herbívoros (2). predominan los frugívoros y omnívoros (Segundo nivel trófico) (consumidores secundarios).

po gigante) (0,46%) fue la más abundante (Figura 14), seguido de *Hypsiboas lanciformis* (Rana arborícola) (0,19%), *Hypsiboas almendarizae* (Rana arborícola) (0,15%), *Bothrocophias microphthalmus* (Hoja podrida) (0,04%); las especies restantes representan el (0,02). De acuerdo con el índice de Shannon (1,70) la diversidad es media en el lugar de estudio (Figura 13).

## 8 Herpetofauna

Se registró 52 individuos (47 anfibios y 5 reptiles) 0,96% reptiles y 1,62% anfibios que se ubicaron en 7 familias, mayor abundancia presentó Bufonidae (46%), mientras que Hylidae el (40%); en menor porcentaje Leptodactylidae y Ranidae (2%). Los reptiles en su mayoría pertenecen a la familia Squamata, mayor abundancia presentó Viperidae (6%); mientras que Gekkonidae y Boidae el (2%). En cuanto a anfibios, *Rhinella marina* (Sa-

### 8.1 Estado de conservación

Preocupación reviste: *Hypsiboas almendarizae* (rana arborícola) que se encuentra en la categoría (casi amenazada) (NT). *Bothrocophias microphthalmus* (Hoja podrida) y *Boa constrictor* (Boa Mata caballo) en la categoría vulnerable (VU) (Carrillo, Altamirano y Ayala, 2005; CITES, 2017) (Tabla 10). De acuerdo a la UICN la mayoría de las especies se encuentran en la categoría "preocupación menor" (LC). *Hypsiboas almendarizae* es una especie endémica de acuerdo con la lista roja de anfibios del Ecuador (Coloma, 2005).

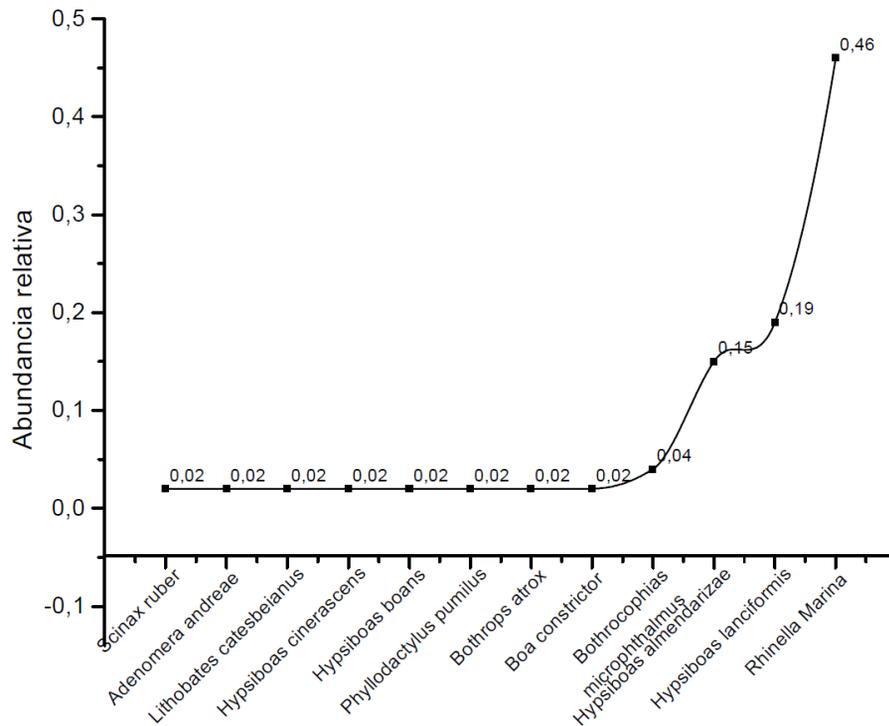


Figura 9. Abundancia-diversidad herpetofauna.

Tabla 9. Análisis gremial de mamíferos.

Especie	Gremio trófico	Actividad
<i>Didelphis marsupialis</i>	Om	Arbórea terrestre nocturna
<i>Marmosa murina</i>	Om	Arbórea nocturna
<i>Carollia brevicauda</i>	Fr	Forraje nocturno
<i>Platyrrhinus brachycephalus</i>	Fr	Nocturna
<i>Dasyus novemcinctus</i>	In	Terrestre nocturna
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	H	Terrestre nocturna
<i>Sciurus granatensis</i>	Fr	Arborícola diurna
<i>Cuniculus paca</i>	Fr	Forrajear nocturno
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Fr	Diurno
<i>Nasua nasua</i>	Om	Diurno
<i>Eira barbara</i>	Om	Arbóreos diurnos-crepuscular
<i>Mazama americana</i>	H	Diurnos con más frecuencia en la noche
<i>Ateles sp.</i>	Om	Diurnos
<i>Tayassu pecari</i>	Fr	Terrestre y gregarios diurnos
<i>Bradypus variegatus</i>	Fo	Diurnos y nocturnos arbóreos
<i>Leopardus tigrinus</i>	Cr	Nocturno-crepuscular

Nomenclatura: Carnívoro (Cr), Frugívoro (Fr), Insectívoro (In), Omnívoro (Om), folívora (Fo), Herbívoro (H).

Recopilado de: Vallejo Boada, (2014); Brito, Astua de Moraes, & Lew, (2015); Emmons y Feer, (1999); Tirira, (2007).

Tabla 10. Estado de conservación de las especies de Herpetofauna.

Especie	UICN (2017)	CITES (2017)	Lista roja de anfibios del Ecuador	Lista roja de reptiles del Ecuador
<i>Rhinella Marina</i>	LC	NA		
<i>Scinax ruber</i>	LC	NA		
<i>Adenomera andreae</i>	LC	NA		
<i>Lithobates catesbeianus</i>	LC	NA		
<i>Hypsiboas almendarizae</i>	NE	NA	NT	
<i>Hypsiboas lanciformis</i>	LC	NA		
<i>Hypsiboas cinerascens</i>	LC	NA	LC	
<i>Hypsiboas boans</i>	LC	NA	LC	
<i>Phyllodactylus pumilus</i>	DD			DD
<i>Bothrops atrox</i>	NE	NA		LC
<i>Bothrocophias microphthalmus</i>	NE	NA		VU
<i>Boa constrictor</i>	NE	Apéndice I		VU

Nomenclatura: DD = Datos Deficientes; LC = Preocupación menor; NT = Casi Amenazada; NE = No Evaluada; VU = Vulnerable



Figura 10. (A) *Rhinella Marina* (Sapo gigante), (B) *Hypsiboas boans* (Rana arborícola).

## 8.2 Especies sensibles e indicadoras

La condición “sensibilidad baja” es la más representativa (8 especies); sensibilidad media (3) y sensibilidad alta (1). Las especies indicadoras de ambientes perturbados son: *Rhinella marina* (Sapo gigante), *Scinax ruber* (S/n), *Hypsiboas lanciformis* (Rana arborícola), *Lithobates catesbeianus* (Rana Toro); *Bothrops atrox* (Equis); *Hypsiboas cinerascens* (Rana arborícola) y *Hypsiboas boans* (Rana arborícola) (IUCN, 2017).

## 9 Fauna Acuática

Se colectaron 36 macroinvertebrados acuáticos que se ubicaron en 4 órdenes, 8 familias y 10 géneros

(Figura 15). En la quebrada de Chinapintza se colectaron 12 individuos que integran 4 órdenes, 4 familias y 6 géneros. En el río Congüime se colectaron 13 individuos que se integran en 3 órdenes, 5 familias y 5 géneros y en la unión entre estos dos ríos se colectaron 11 individuos que integran 3 órdenes, 4 familias y 4 géneros (Figura 15).

El 42% pertenece a la orden *Ephemeroptera* y el 33% *Diptera* que a su vez representa ael mayor número de géneros en los puntos de muestreo (Figura 16). En las variables riqueza y abundancia no existe diferencia significativa en los puntos de muestreo, la baja abundancia y riqueza se debe a la contaminación evidente del agua debido a la actividad minera en la zona. (Tabla 11).



**Figura 11.** Fotos al estereomicroscopio: Macroinvertebrados (A) Orden *Díptera* -familia Chironomidae, los más abundantes en los puntos de muestreo y tolerantes a altos niveles de contaminación. (B) Orden *Coleoptera* -familia Elmidae -género *Cylloepus*. (C) Orden *Diptera*-familia Empididae. (D) Orden *Coleoptera*- familia Hydrophilidae. (E) Orden *Coleoptera*- familia Elmidae- género *Neoelmis*. (F) Orden *Ephemeroptera*- familia Baetidae- género *Paracloeodes*, son tolerantes a ciertos niveles de contaminación. (G) Orden *Diptera*- familia Psychodidae. (H) Orden *Trichoptera*- familia Hydropsichyidae- género *Smicridea*. (I) Orden *Ephemeroptera*- familia Leptohiphidae- género *Trichorytodes*, considerados como bioindicadores de la calidad de agua al igual que el orden *Trichoptera*.

**Tabla 11.** Riqueza y abundancia en cada punto de muestreo de macroinvertebrados.

	Quebrada Chinapintza	Río Congüime	Unión Chinapintza y Congüime
<b>Riqueza</b>	4	5	4
<b>Abundancia</b>	12	13	11

Riqueza = Familias; Abundancia = Individuos

## 9.1 Diversidad y abundancia por familia

Hubo dominancia de Baetidae y Chironomidae, consideradas tolerantes a ciertos niveles de contaminación (Mosquera, 2008). El mayor número se registró en el río Congüime. Es importante mencionar que Chironomidae se asocia a ambientes con bajos niveles de oxígeno y altos niveles de contaminación (Hahn y col., 2009).

## 9.2 Estimación de la diversidad

De acuerdo con el índice Shannon-Weaver, el lugar se encuentra en un rango de baja diversidad, debido principalmente a la contaminación del agua. El índice de dominancia de Simpson muestra valores medios, con la presencia de cierto número de individuos dominantes en la comunidad. De acuerdo con el índice Margalef en la zona la diversidad es baja, al igual que con el índice de uniformidad, los valores fueron medios y bajos (Tabla 12).

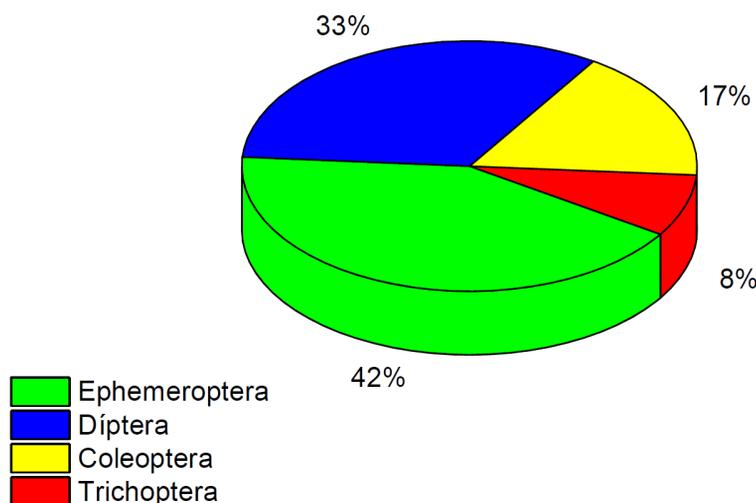


Figura 12. Total, porcentual de los órdenes de macro bentos presentes en los puntos de muestreo.

### 9.3 Índices de calidad del agua

Los valores del índice BMWP/Col en los 3 puntos de muestreo son 20%, 26% y 18% respectivamente, se ubican en la clase IV (Aguas muy contaminadas y con calidad crítica) (Zamora y Alba, 1996). En el cálculo ASPT se obtuvieron valores de 5, 5.2 y 4.5 respectivamente, al comparar con los índices BMWP/Col. (Pérez, 1999) (Tabla 13). El cálculo del índice Biótico Andino (ABI) muestra valores de 16, 20 y 15 respectivamente y de acuerdo con estos parámetros inferimos que la calidad del agua es mala con un rango entre 11 y 26 (Loayza, 2016) (Tabla 13).

Tabla 12. Índices de diversidad-Macroinvertebrados.

Índices	P1	P2	P3
Índice de Shannon-Weaver	1,27	0,90	1,04
Dominancia de Simpson	0,31	0,52	0,37
Diversidad de Margalef	3,22	3,90	4,02
Índice de uniformidad	0,35	0,24	0,30

## 10 Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue valorar el efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad del área de estudio, se estimó los posibles cambios en el

ecosistema, con relación a la fragmentación, abundancia, riqueza, dominancia y diversidad de especies. De acuerdo a los resultados podemos concluir que la flora del lugar es de nivel medio, aunque el nivel de dominancia de especies es bajo en todos los puntos de muestreo. En cuanto a fauna, el nivel es medio para avifauna, excepto en el punto COFA-3 que la diversidad es alta, se registraron un total de 42 especies de aves que se ubicaron en 22 familias, mayor abundancia presentó *Tyrannidae* y *Thraupidae*, especies consideradas de sensibilidad baja (28 sp). Se registró 16 especies de mamíferos, *Cuniculus paca*, *Tayassu pecari*, *Mazama americana* y *Leopardus tigrinus* son especies consideradas con alta amenaza, la abundancia relativa para estas especies es baja (1.50). En cuanto a herpetofauna, mayor abundancia presentó *Bufo* (46%) e *Hyla* (40%). Los reptiles en su mayoría pertenecen a la familia *Viperidae* (6%). *Rhinella marina* (sapo neotropical gigante o sapo marino) fue la especie más común de anfibio, en el lecho del río se identificó 36 macroinvertebrados que se ubicaron en 4 órdenes y 8 familias, predominan *Baetidae* y *Chironomidae*, especies consideradas tolerantes a la contaminación del agua.

Conclusión, El área de estudio mostró una diversidad media y dominio de especies con sensibilidad baja, la mayoría generalistas, con dominio del gremio frugívoro y omnívoro e indicadores de ambientes perturbados, para este caso de estudio debido a la actividad minera, la expansión agrícola, ganadera y la deforestación.

**Tabla 13.** Índices BMWP/Col., ASPT y ABI para cada punto de muestreo.

<b>RIO CHINAPINTZA</b>				
<b>ÍNDICE</b>	<b>VALOR</b>	<b>RANGO</b>	<b>CALIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
BMWP/Col	20	16 - 35	Critica	Aguas muy contaminadas
ASPT	5	0-10		
ABI	16	01/11/26	Mala	-
<b>RIO CONGÜIME</b>				
BMWP/Col	26	16 - 35	Critica	Aguas muy contaminadas
ASPT	5,2	0-10		
ABI	20	01/11/26	Mala	-
<b>INTERSECCIÓN DE LOS RÍOS</b>				
BMWP/Col	18	16 - 35	Critica	Aguas muy contaminadas
ASPT	4,5	0-10		
ABI	15	01/11/26	Mala	-

BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party/ modificado por Colombia);  
ASPT (Average Score per Taxon); ABI (Índices biótico andino).

## Referencias

- Albuja, L. (2011). *Fauna de Guiyero, Parque Nacional Yasuní*. Escuela Politécnica Nacional-EcoFondo.
- Alexa, I. (2010). *Biodiversidad y factores que lo determinan*.
- Arévalo, J. (2001). *Manual de campo para el monitoreo de mamíferos terrestres en áreas de conservación*. Asociación de conservacionistas de Monteverde.
- Arias, R. y col. (2012). «Evaluación de la biodiversidad en cinco comunidades Kichwa de la zona de colonización de la alta Amazonía ecuatoriana». En: *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 1.3, 157-172. Online:https://bit.ly/3GA9dub.
- Balderrama, J. y col. (2005). *Técnicas de Colecta y Censo de Fauna*. Museo Americano de Historia Natural.
- Bispo P. and Oliveira, L., L. Bini y K. Sousa (2006). «Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures». En: *Brazilian Journal of Biology* 66, 611-622. Online:https://bit.ly/3KvzniC.
- CITES (2010). *Listados actualizados de las especies de Fauna y Flora*. CITES.
- (2017). *CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES*.
- CMS (2015). *Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres*. Inf. téc. CMS. España.
- Campo, A. y V. Duval (2014a). «Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural: Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)». En: *Anales de Geografía* 34.2, 25-42. Online:https://bit.ly/3mX4IDn.
- (2014b). «Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural: Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)». En: 34.2, 25-42. Online:https://bit.ly/3nVhT7K.
- Canaday, C. y J. Rivadeneyra (2001). «Initial effects of a petroleum operation on Amazonian birds: terrestrial insectivores retreat». En: *Biodiversity & Conservation* 10, 567-595. Online:https://bit.ly/3oJV3AB.
- Carrera, C. y K. Fierro (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia.
- Carrillo, E., M. Altamirano y F. Ayala (2005). *Lista Roja de los Reptiles del Ecuador*. Fundación Novum Milenium, UICN-Sur, UICN-Comité Ecuatoriano, Ministerio de Educación y Cultura.
- Coloma, L.A. (2005). *Anfibios de Ecuador*. Quito: Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Cuesta, F. y D. Tirira (2011). *Libro rojo de los Mamíferos del Ecuador*. 2a. Fundación Mamíferos y Conservación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador.

- Equipo MMSD América del Sur (2002). *Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur*. Equipo MMSD América del Sur.
- Hahn, C. y col. (2009). «Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia». En: *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural* 13.2, 89-105. Online: <https://bit.ly/3Hef88e>.
- IUCN (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- Jørgensen, P. y S. León-Yáñez (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Vol. 75. Missouri Botanical Garden Press St. Louis.
- León-Yáñez, S. y col. (2011). «LIBRO ROJO DE LAS PLANTAS ENDÉMICAS DEL ECUADOR». En: *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*.
- Loayza, R. (2016). «Macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua». Online: <https://bit.ly/3Lspbt8>.
- MAE-SUIA (2015). *Ministerio del Ambiente-Sistema único de información ambiental*.
- MAE (2015). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Gobierno de Ecuador*. Ministerio del Ambiente.
- Moreno, Claudia E (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y tesis SEA.
- Mosquera, D. (2008). «Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos». En: *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 1.20. Online: <https://bit.ly/3L9Jl9F>.
- Myers, N. y col. (2000). «Biodiversity hotspots for conservation priorities». En: *Nature* 403.6772, 853-858. Online: <https://go.nature.com/2Gnztdw>.
- Pérez-Irineo, G. y A. Santos-Moreno (2013). «Riqueza de especies y gremios tróficos de mamíferos carnívoros en una selva alta del sureste de México». En: *Therya* 4.3, 551-564. Online: <https://n9.cl/lomj5>.
- Pérez, G. (1999). «Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua». En: *Academia Colombiana de Ciencia* 23.88, 375-387. Online: <https://n9.cl/t5zuq>.
- Ridgely, R., P. Greenfield y M. Guerrero (1998). *Una lista anotada de las Aves del Ecuador Continental*. Fundación Ornitológica del Ecuador, CECIA.
- Shannon, C. y W. Weaver (1949). *Amazonía ecuatoriana bajo presión*. University of Illinois Press.
- Stotz, D. y col. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press.
- Toro, H. (2006). «Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA)». En: *Reunión Subregional de Representantes y Directores de Centro del Cono Sur y Area Andina*. OPS, págs. 1-20.
- Velásquez, A. y col. (2003). «Lista anotada de las aves de los humedales de la parte alta del Departamento de Caqueta». En: *MEMORIAS: Manejo de Fauna Silvestre en Amazonía y Latinoamérica*, págs. 320-329.
- Yáñez, M., J. Reyes y P. Meza (2007). «Análisis de diversidad de la herpetofauna en el área de Guayllabamba. Distrito Metropolitano de Quito». Online: <https://bit.ly/3AuZ4vg>.
- Zamora, C. y J. Alba (1996). «Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods». En: *Journal of the North American Benthological Society* 15.3, 332-352. Online: <https://bit.ly/3Lwodfa>.
- Zamora, H. (2015). «Macroinvertebrados acuáticos registrados durante la época de lluvias en tres ríos del piedemonte llanero de Colombia». En: *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 7.2, 139-147. Online: <https://n9.cl/553n7>.
- Zapata, G., E. Araguillín y J. Jorgenson (2006). «Caracterización de la comunidad de mamíferos no voladores en las estribaciones orientales de la cordillera del Kutukú, Amazonia ecuatoriana». En: *Mastozoología neotropical* 13.2, 227-238. Online: <https://n9.cl/k58v0>.



## PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE CRÍAS TILAPIA *Oreochromis niloticus*: REVISIÓN

### REPRODUCTIVE PARAMETERS IN THE FINGERLING PRODUCTION OF TILAPIA *Oreochromis niloticus*: REVIEW

Leonardo Reyes-Trigueros<sup>1</sup>, María del Carmen Monroy-Dosta<sup>2</sup>, Erika  
Torres-Ochoa<sup>1</sup>, Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez<sup>3</sup> y Luis Daniel  
Espinosa-Chaurand<sup>\*4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías. Carretera al sur Km 5.5. Colonia El Mezquitito. C.P. 23080. La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>2</sup>Unidad Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento El Hombre y su Ambiente. CP. 04960, Ciudad de México, México.

<sup>3</sup>CONACYT. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Av. de las Garzas 10, Col. El panteón, C.P. 52005, Lerma de Villada, Estado de México, México.

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Ciudad del Conocimiento. Cd. Industrial. Av. Emilio M. González, C.P., 63173. Tepic, Nayarit, México.

\*Autor para correspondencia: [lespinosa@cibnor.mx](mailto:lespinosa@cibnor.mx)

Manuscrito recibido el 16 de agosto de 2022. Aceptado, tras revisión, el 19 de octubre de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

#### Resumen

La acuicultura contribuye de manera importante a la fuente de alimento destinado al consumo humano. La tilapia *Oreochromis niloticus* es uno de los peces principales de la producción acuícola, por lo que las fases de su reproducción son vitales para asegurar la calidad y cantidad de organismos disponibles para los sistemas de producción. Los parámetros reproductivos en actividades acuícolas de peces, como la fertilidad, fecundidad, diámetro de huevos, índice gonadosomático, tasa de supervivencia en larvas y alevines, entre otros, son de relevancia para una producción económicamente rentable y sostenible, y estos pueden variar según la dieta, condiciones ambientales, edad, características genéticas de los peces o la calidad del agua. Por lo anterior, este documento tiene como objetivo identificar los parámetros reproductivos que tengan una influencia en la producción de crías de tilapia presentar una descripción general de forma sencilla los diferentes parámetros reproductivos involucrados y de consideración en actividades de producción acuícola de crías de tilapia. Se realizó una búsqueda de la información en los últimos 20 años incorporada en diversas bases de datos especializadas. En esta investigación se recopila la información a la actualidad sobre los parámetros reproductivos en tilapia, y los resultados indican que no existe un parámetro reproductivo más importante que otro, ya que es un cúmulo de factores y sinergia que intervienen en la reproducción, por lo que resulta necesario establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción. El conocimiento de los parámetros reproductivos de la tilapia puede ayudar a disminuir los costos

de producción para establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción.

**Palabras clave:** Reproducción, producción de crías, fertilidad, fecundidad, alevines.

---

### Abstract

Aquaculture contributes significantly to the food source for human consumption. Tilapia *Oreochromis niloticus* is one of the main fish in aquaculture production, so its reproduction phases are vital to ensure the quality and quantity of organisms available for production systems. The reproductive parameters in fish aquaculture activities, such as fertility, fecundity, egg diameter, gonadosomatic index, survival rate in larvae and fingerlings, among others, are relevant for an economically profitable and sustainable production, and these can vary according to the diet, environmental conditions, age, genetic characteristics of the fish or the quality of the water. Therefore, this document aims to identify the reproductive parameters that influence on the production of fingerlings tilapia to present a general description in a simple way of the different reproductive parameters involved in aquaculture production activities of fingerlings tilapia. A search of the information in the last 20 years incorporated in various specialized databases was carried out. In this research, information is compiled to date on the reproductive parameters in tilapia, the results indicate that there is no more important reproductive parameter than another, since it is a cluster of factors and synergy that intervene in reproduction, hence it is necessary to establish clear management plans and research in the production systems to improve and enhance their production. Knowing the reproductive parameters of tilapia can help reduce production costs, thus it is necessary to establish clear management plans and research in production systems to improve and enhance their production.

**Keywords:** Reproduction, fingerlings production, fertility, fecundity, fingerlings.

---

Forma sugerida de citar: Reyes-Trigueros, L., Monroy-Dosta, M., Torres-Ochoa, E., Cortés-Sánchez, A. y Espinosa-Chaurand, L. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 38(2):124-137. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.09>.

---

IDs Orcid:

Leonardo Reyes-Trigueros: <http://orcid.org/0000-0003-3218-4417>  
María del Carmen Monroy-Dosta: <http://orcid.org/0000-0002-1856-0511>  
Erika Torres-Ochoa: <http://orcid.org/0000-0001-5252-7187>  
Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0002-1254-8941>  
Luis Daniel Espinosa-Chaurand: <http://orcid.org/0000-0002-0587-5549>

## 1 Introducción

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) en los últimos años se ha convertido en México en una especie de gran importancia económica; en el 2018 se reportó una producción por encima de 168 mil toneladas de peso vivo (CONAPESCA, 2018). La tilapia es un organismo favorable para la acuicultura debido a sus características, como su amplio intervalo de tolerancia a las variaciones ambientales, su fácil reproducción y su posibilidad de cultivarse (El-Sayed, 2016). El cultivo de tilapia puede y ha sido la respuesta ante la producción de alimentos de alta calidad a bajo costo a nivel rural.

El comportamiento reproductivo de estos peces lo diferencia de otros, pues en general la actividad reproductiva de las tilapias del género *Oreochromis* se lleva a cabo durante todo el año si las condiciones ambientales lo permiten, mostrando una reproducción precoz (Vega-Villasante y col., 2009), ya que la maduración sexual ocurre a tallas por debajo de la talla comercial de 250 g aproximadamente, entre 50 a 100 g (El-Sayed, 2016). Se observan diferencias de crecimiento entre macho y hembra, ya que el macho presenta mayor tasa de crecimiento y mayor eficiencia en la tasa de conversión alimenticia. Por tal motivo, la aplicación de tratamientos hormonales a alevines recién eclosionados ha permitido optimizar los rendimientos de biomasa obtenidos a escala comercial.

A nivel práctico no es recomendable subestimar la importancia de los estímulos ambientales sobre la reproducción de la tilapia, como el fotoperiodo, la temperatura, la calidad del agua y una buena nutrición (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). El éxito reproductivo en términos de fertilidad, porcentaje de larvas obtenidas, tasa de crecimiento, supervivencia, resistencia a enfermedades y forma del pez adulto están determinados por las características genéticas de las especies (Perea-Ganchou y col., 2017). Por lo que para el éxito productivo es de suma importancia el determinar y conocer los parámetros reproductivos que posiblemente interfieran en la producción de crías de tilapia *O. niloticus*.

Por lo anterior, el presente documento se enfoca en brindar a partir de una búsqueda exhaustiva y análisis de la información generada en los últimos 20 años, los parámetros reproductivos que tengan

influencia en la producción de crías de tilapia, describiendo de manera general y sencilla los parámetros involucrados y de consideración en actividades de producción de crías de tilapia. De tal forma que contribuya a una orientación de base científica para productores acuícolas, académicos, organismos gubernamentales y público general interesado en el emprendimiento de actividades acuícolas en fases de reproducción, y definir en un futuro estrategias controladas para el éxito de obtención de crías de esta especie acuícola.

## 2 Método

Se realizó una investigación descriptivo bibliográfica con búsqueda de la información generada en los últimos 20 años incorporada en diversas bases de datos especializadas, como Web of Science, Redalyc, ELSEVIER, SciELO, ACS Publications, Dialnet, Scince.gov, así como en los sitios web de instancias e institutos gubernamentales dentro del ámbito acuícola como la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA) y el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) de México, y la Organización mundial para la agricultura y alimentación de las naciones unidas (FAO). Se utilizaron como palabras clave de búsqueda: tilapia, tilapia del nilo, *Oreochromis*, reproducción, parámetros reproductivos, reproducción en tilapia, características de la tilapia, fisiología de la reproducción, etc., en idioma español e inglés. Se recopilaron alrededor de 300 documentos de los que se realizó un primer filtrado, quedando 174 documentos de información relacionada o complementaria, los cuales fueron nuevamente filtrados para los parámetros específicos de esta revisión al número dentro de los años seleccionados, resultando en 40.

## 3 Características de importancia de la tilapia

La tilapia es un pez originario de África, actualmente distribuido en América, Sudeste Asiático, algunos países de Europa e incluso en Australia. Pertenecen a un grupo de peces de Jordania, Israel y África; de momento estas fueron dispersadas, transportadas y adaptadas por casi todas las otras regiones del mundo; fue tal su éxito en el cultivo que rápidamente fueron introducidas en las regiones

tropicales y subtropicales de diversos países (Zimmermann, 2005). En México, la tilapia fue introducida en 1964 proveniente de los Estados Unidos de América, la cual fue reproducida hasta presentarse en casi todas las zonas del país (INAPESCA, 2018). Se ha vuelto una de las especies más cultivadas a nivel mundial por su tolerancia a las variaciones ambientales, lo que le ha permitido desarrollarse en aguas poco oxigenadas, dulce o salada.

Tiene un crecimiento rápido, alta capacidad reproductiva y adaptación para vivir en condiciones de cautiverio, así como en altas densidades de cultivo, además de brindar una carne de excelente calidad nutricional, buen sabor, poca espina y de precio accesible (Oso, Ayodele y Fagbuaro, 2006; Vega-Villasante y col., 2009).

Normalmente habita en lugares donde la temperatura puede oscilar entre los 31 a 36°C, lo que es ideal para la crianza de esta especie (INAPESCA, 2018; FAO, 2022). Es posible desarrollar su cultivo en intervalos de 20 hasta 30°C, pero en temperaturas menor a 15°C o superiores a los 40°C puede dejar de desarrollarse o hasta morir (Saavedra Martínez, 2006; FAO, 2022). Otro de los factores que influyen en la supervivencia es el pH, el cual puede ser óptimo para la especie si se encuentra en un intervalo de valor de siete y ocho; si este valor se encuentra a condiciones de pH iguales o menores de cinco, se genera un ambiente perjudicial para estos peces (INAPESCA, 2018).

En cuanto al oxígeno disuelto en agua, los valores óptimos se encuentran en un intervalo de cinco a seis mg/L, mientras que entre dos y tres mg/l pudiera afectar gravemente a su crecimiento; y valores iguales o menores de uno son críticos que pueden causar la muerte. Mientras que para la turbidez se recomienda mantener una visibilidad a los 30 cm de profundidad (Saavedra Martínez, 2006).

Su crecimiento es acelerado llegando a 500-680g en seis a nueve meses según el sistema de cultivo utilizado (Noriega-Salazar y col., 2020; FAO, 2022). A nivel mundial, es uno de los peces más estudiados, tanto en su ciclo de vida como en su tipo de nutrición, hábitos alimenticios, tipo de reproducción, resistencia a enfermedades, así como su manejo, lo que facilita su proliferación y manipulación en los sistemas de cultivo (Saavedra Martínez, 2006; FAO, 2022). Las tilapias del género *Oreochromis* tienen una

dieta omnívora, lo que hace posible que ingieran desde algas hasta pequeños organismos acuáticos, pasando por raíces, zooplancton, insectos, bacterias, entre otras cosas (Vega-Villasante y col., 2009).

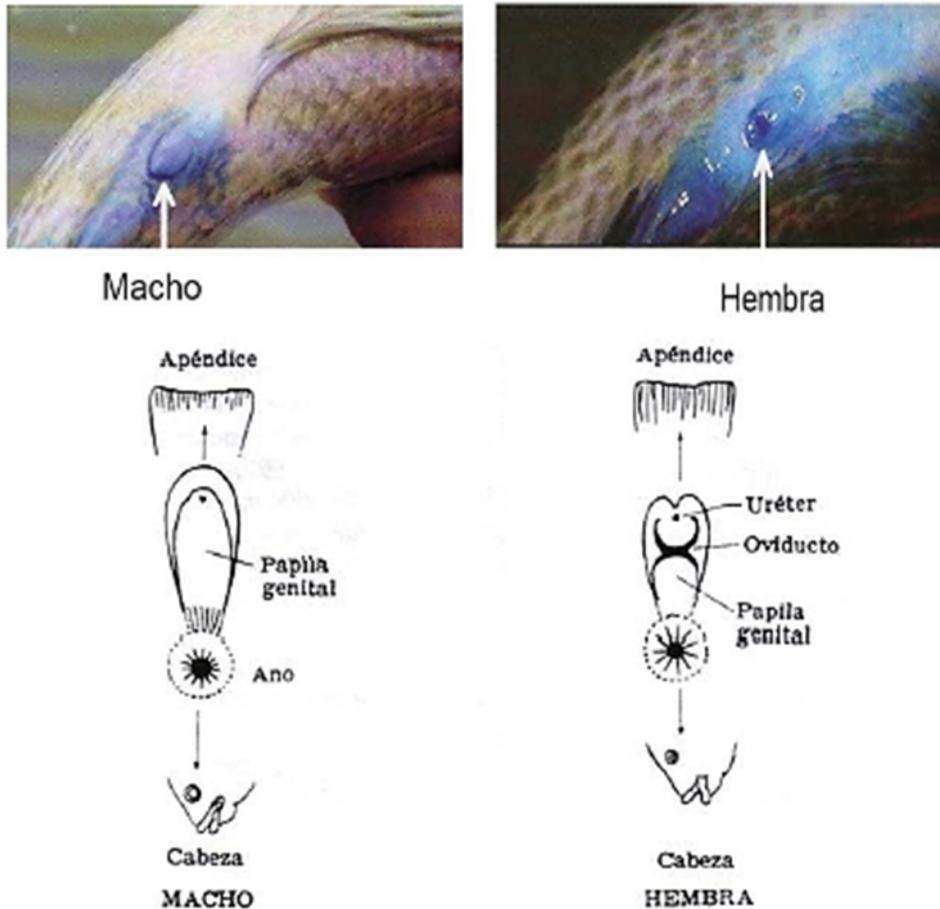
Al contar con branquiespinas se facilita también el proceso de filtrado, lo que permite ingerir el alimento (Nasrin y col., 2021). Al engullir sus alimentos estos deben pasar por la faringe del pez, en ese lugar son triturados por los dientes faríngeos, para que después se pueda seguir con el proceso de digestión (Yem y col., 2020). El tipo de alimentación en los cultivos pueden ser muy variados, ya que la tilapia puede ser alimentada por insumos muy versátiles, alcanzando rendimientos anuales de entre 5 toneladas/ha o más (FAO, 2022).

## 4 Aspectos y parámetros reproductivos

### 4.1 Caracteres reproductivos de la tilapia de *O. niloticus*

En cuanto al dimorfismo sexual los machos presentan dos orificios ubicados en la zona caudal que se componen del ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres orificios cerca de la zona caudal, estos serían el ano, el poro genital y el orificio excretor de la orina u orificio urinario (Hussain, 2004; Saavedra Martínez, 2006). En los machos su orificio urogenital es un punto diminuto, y en las hembras su orificio urinario es microscópico; una buena forma de diferenciar los géneros sexuales de las tilapias consiste en saber identificar en la hembra el poro genital, el cual se encuentra ubicado en una hendidura, posicionada de una manera perpendicular al eje del cuerpo (Saavedra Martínez, 2006) (Figura 1).

La madurez sexual se ha identificado a una edad de cinco a seis meses, y aunque esto también está relacionado con el peso se sabe que la madurez sexual en tilapias puede ser alcanzada desde los 30g, en un intervalo de dos a cuatro meses, siempre que las condiciones ambientales sean favorables. En el caso particular de las hembras una vez alcanzadas la talla para su madurez pueden realizar desoves de ocho a 12 veces por año, siempre que la temperatura y demás condiciones lo permitan (INAPESCA, 2018).



**Figura 1.** Características morfológicas externas del dimorfismo sexual de *O. niloticus* (Huet, 1998; Saavedra Martínez, 2006).

El desove generalmente comienza cuando la temperatura alcanza aproximadamente los 24°C, sin embargo, la reproducción en ambientes naturales se lleva a cabo cuando el macho primero establece un área y crea un hoyo en forma de cráter para implementar su nido. Una vez logrado esto se dedica a vigilar el nido, hasta que la hembra llega a desovar, para que el macho fertilice los huevos puestos por la hembra, y una vez que estos han sido fertilizados por el macho, la hembra coloca los huevecillos dentro de su boca (incubación bucal) para después marcharse con ellos (Vega-Villasante y col., 2009).

La hembra mantiene en su boca los huevecillos para incubarlos hasta que después de una o dos semanas aproximadamente estos eclosionan (INAPESCA, 2018). Una vez que las crías salen de

los huevecillos pueden salir de la boca de la madre, aunque si se ven amenazados por algún peligro, estos tienden a entrar nuevamente (INAPESCA, 2018; FAO, 2022).

El número, volumen y tamaño de huevos que puede llegar a desovar una hembra depende del tamaño de la madre. Se estima que una hembra con un peso de hasta 100g podrá desovar un aproximado de 100 huevos, pero si su peso aumenta en un intervalo de 600 hasta los 1000g, el número de huevos que puede desovar aumentaría de 1000 a 1500 (Perdomo y col., 2020; FAO, 2022). En condiciones de cultivo la reproducción no difiere, los machos pueden alcanzar su madurez sexual entre los cuatro a seis meses, mientras que las hembras entre los tres y cinco meses.

**Tabla 1.** Estudios de Parámetros reproductivos de tilapia (*O. niloticus*) y su relación con las variables ambientales, edad de los peces, Fecundidad absoluta (Fa), Fecundidad relativa (Rf), Oxígeno disuelto (OD), Chlorophyll a (Chl a), Peso de las Gónadas (Pg), Peso Total del Cuerpo (Ptc) y índice gonadosomático (GSI).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Aportación
Costa y Carvalho (2012)	1-GSI	1-Efecto de variables fisicoquímicas y ambientales. 2.-Correlación de Spearman para detectar relaciones con las variables fisicoquímicas medidas	1-Los valores de GSI estaban relacionados positivamente con el pH, OD, conductividad, transparencia del agua y con Chl a. Los valores de GSI presentaron una respuesta al ciclo hidrológico en el embalse, con un retraso de dos meses para los aumentos y disminuciones de los valores.
Massako y col. (2015)	1-Frecuencia de desove 2-Número de huevos por desove	1-Verificación in situ una vez por semana y modelo estadístico que arrojaba los huevos/hembra, según las edades de las hembras (1, 2 y 3 años). 2-Volumetría.	1-La frecuencia de desove fue mayor en hembras de 3 años, con un total de 3,49; mientras que, las hembras de 2 años solo tuvieron un valor de 0,80 en el sitio 2, y de 1,53 en el sitio 1. 2-Las hembras de 1 año con menor número de huevos (13,435 y 16,105 huevos) que las de 2 años (43,395 y 24,650 huevos).
Abarike y Ampofo-Yeboah (2016)	1-GSI 2-Desarrollo de Gónadas 3-Fecundidad	1-Se realizó la siguiente fórmula: $GSI = Pg / Ptc * 100$ . 2-Observación directa. 3- Se calculó la Fecundidad vs la longitud del cuerpo utilizando la relación Fecundidad-Longitud Total	1-El GSI más alto se registró a mayor temperatura. 2-Solo el 20% de las hembras fue cargada, y se identificaron las siguientes etapas en su ovada: -Inmaduro (blanco) = 7,14% enero 2007, Madurando (amarillo) = 7,14% marzo 2007, Maduro (verde profundo) = 50% abril 2007, Gastado (Rojo, flácido) = 35,7% marzo 2007. 3-0% de fecundidad en los meses frías (nov-feb). 4.-La correlación entre fecundidad vs longitud corporal fue mayor que la correlación fecundidad vs peso corporal; la fecundidad media fue de 173 ovocitos.
Siëfo y col. (2018)	1-Fecundidad 2-GSI	1-Fa: Número de ovocitos en ovarios. 1-Fr: Relación entre la fecundidad absoluta y el peso corporal total de la muestra. 2-GSI: Relación entre el peso de las gónadas y el peso corporal eviscerado.	1-La fecundidad absoluta promedio fue 412 y osciló entre 174 y 593. La fecundidad relativa osciló entre 3 y 9 ovocitos por gramo de peso corporal, con una media de 6 ovocitos / g. 2-El porcentaje más elevado de GSI para hembras ocurrió entre los meses más cálidos (abril y julio).
Teame, Zebib y Meresa (2018)	1-Tamaño de primera madurez 2-GSI 3-Fecundidad	1-Observación directa 2-Se calculó como el porcentaje del peso de las gónadas con respecto al peso total del pescado 3-Conteo directo y análisis estadístico	1-El macho sexualmente maduro más pequeño midió 14cm, y la hembra midió 12,5cm. La madurez sexual en machos (50%) fue a una talla de 15cm, y en hembras a una talla de 14cm. 2-Machos y hembras siguieron casi la misma tendencia; los machos tuvieron valores promedio más altos en el mes de julio y las hembras en agosto. Se registraron dos picos de valores de GSI en hembras durante los meses de febrero y agosto, lo que indica que las hembras se pueden reproducir más de una vez al año 3-Se estimó para 30 hembras con una talla total de 14cm hasta 37cm, y con un peso de 78,8 a 711g. El número total de huevos osciló entre 399 y 2129, la fecundidad osciló 104 a 709 huevos correspondientes a peces con tallas de 12,5 a 20,9cm. La fecundidad osciló entre 243 a 847 huevos por pez.
Tessemá y col. (2019)	1-Fecundidad 2-GSI	1-Fa se determinó gravimétrica y estadísticamente con ANOVA de 2 vías 2-Relación talla-peso de los peces	1-La Fa promedio fue de 217 huevos/pez y se correlacionó positivamente con la longitud total, el peso total y el peso de las gónadas. 2-Los valores de GSI de machos y hembras fueron más altos en abril y más bajos en febrero. El valor promedio más alto en hembras fue de 2,6 en abril, y de 0,7 para machos en el mismo mes

**Tabla 2.** Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*) y su relación con las características genéticas, Número Relativo de Huevos (NRH), Índice de desove (ID, Fecundidad absoluta (Fa) y Fecundidad relativa (Rf).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Resultados
Quóc y col. (2013)	1-Fr 2-Tasa de fertilización	1-Se utilizaron hembras de la generación 12 de la estirpe GIFT de tilapia en el delta del Mekong de Vietnam, donde fueron repartidas en 4 experimentos nombrados como "FAM" (Familia), "MM" (Múltiples Machos y Múltiples Hembras), "SM-1" (Un solo macho y Múltiples hembras) con una repetición llamada "SM-2" 2-Fr se calculó mediante el número total de huevos por hembra/Peso corporal de las hembras desovadas 3-La Tasa de Fertilización se calculó como $100 \times \frac{\text{número total de huevos fertilizados por hembra}}{\text{número total de huevos por hembra}}$	1-Las hembras en MM y SM-1 en promedio tuvieron los valores más altos de Fr 2-En general, la tasa de fertilización fue buena, oscilando entre 77 y 87%.
Bizarro y col. (2019)	1-GSI	1-Se utilizaron 150 alevines de <i>O. niloticus</i> GIFT expuestos a diferentes intensidades lumínicas. 1-El GSI se calculó mediante el peso de las gónadas/el peso corporal*100	1-El GSI no tuvo mucha variación con respecto al fotoperiodo
Silva y col. (2020)	1-Fa y Fr 2-ID 3-Tasa de eclosión 4-NRH	1-Se utilizaron tilapias de la variación "Aqua América" y tilapias "GIFT", realizando una cruce entre ellas, para originar 4 experimentos con las siguientes tilapias: Aqua América no endogámica, Aqua América endogámica, GIFT y Aqua América×GIFT 2-Fa se calculó con el número de huevos por desove, mientras que Fr se calculó con el número de huevos por desove/g peso de la hembra 3-El ID se calculó con el peso total de huevos por desove en g / peso de la hembra en $g \times 100 \%$ 4-La Tasa de eclosión se calculó con número de larvas eclosionadas en la muestra / número total de huevos y larvas en la muestra] $\times 100 \%$ 5-El NRH se calculó con el número de huevos/g de huevos	1-Los valores más altos de Fa se encontraron en el grupo genético Aqua América×GIFT, teniendo un valor de 7084,3; mientras que el grupo genético con el valor más bajo se encontró en GIFT, teniendo un valor de 2581,1. Los valores de Fr más altos se encontraron en el grupo genético Aqua América×GIFT, teniendo un valor de 5,4; y el valor más bajo se encontró en el grupo genético GIFT, obteniendo un valor de 2,2 2-El valor más alto y bajo de ID fueron 3,0 y 0,9 respectivamente, y se encontraron en los grupos genéticos de Aqua América×GIFT y Aqua América endogámica, respectivamente 3-El valor más alto y bajo de Tasa de eclosión fue de 99,2 y 93,0 respectivamente, perteneciendo a los grupos genéticos Aqua América no endogámica y Aqua América×GIFT, respectivamente 4-El valor más alto y bajo de NRH fue de 247,6 y 168,8 respectivamente, y se encontraron en los grupos genéticos de Aqua América no endogámica y Aqua América×GIFT. 5-La Fa, Fr, ID y la tasa de eclosión no difirieron significativamente entre los grupos genéticos

## 4.2 Evaluación reproductiva

La reproducción es un mecanismo que utilizan los seres vivos para mantener la prevalencia de su especie, cada organismo tiene sus respectivas estrategias de reproducción, y su éxito depende de los

rasgos reproductivos de cada individuo, los cuales están estipulados por la genética que cada uno de ellos. En el caso particular de los peces en cultivo, la reproducción está definida principalmente por las condiciones ambientales locales e infraestructura disponible (FAO, 2022).

**Tabla 3.** Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*), Peso Total de Huevos por Hembra (PTHH), Número de Huevos por Gramo (NHG), Índice de desove (ID), Supervivencia Durante el Período Lecitotrófico (SPDL), Peso Corporal (PC), Fecundidad absoluta (Fa) y Fecundidad relativa (Rf).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Dieta	Método	Aportación
Moraes y col. (2014)	1-Fa y Fr 2-Diámetro de huevo 3-Capacidad de supervivencia de las larvas en ayunas	5 raciones con proteína cruda a 32, 34, 36, 38 y 40%, uno por cada respectivo tratamiento	1-Para calcular el Fa se contó el número de huevos por desove, y para la Fr se contó el número total de huevos por gramo de peso corporal de la hembra 2-Se midieron 100 huevos de cada tratamiento, utilizando un microscopio estereoscópico con ocular micrométrico. 3-Se recolectaron 2000 larvas de 3 días por tratamiento para evaluar el efecto de las raciones suministradas a los reproductores en el tiempo de supervivencia de las crías en ayunas.	1-Los valores de Fa y Fr más altos se encontraron en la dieta de 38% de proteína cruda, y los más bajos en la dieta de 32%. 2-Los valores de diámetro de huevo más altos se encontraron en la dieta de 38% de proteína cruda, y los más bajos en la dieta de 32%. 3-El valor más alto de la capacidad de supervivencia de larvas en ayunas estuvo en la dieta con 38% de proteína cruda, mientras que el valor más bajo se encontró en la dieta con 32% de proteína cruda
Mehrim, Khalil y Hassan (2015)	1-Fa y Fr 2-Número de huevos	8 tratamientos con una hidrolevadura de marca comercial con 0, 5, 10 y 15g de hidrolevadura/kg dieta, de machos y hembras.	1-Fa se calculó utilizando la siguiente ecuación: $Fa = PTHH (g) * NHG$ , y Fr se calculó usando la siguiente ecuación: $Fr = Fa / PC (g)$ . 2- El número de huevos se contó por gramo de huevos y luego se relacionó con el peso del ovario o el peso corporal de los peces.	1-El Fa y el Fr fue más alto en el tratamiento con ración basal + 10 g de hidrolevadura/kg dieta para hembras, teniendo un valor de $3416,6 \pm 97,95$ y $20,6 \pm 1,13$ respectivamente. 2-El número de huevos de igual manera fue más alto en el tratamiento con ración basal + 10 g de hidrolevadura/kg dieta con un valor de $325,00 \pm 14,43$ , mientras que el valor más bajo fue de $250,00 \pm 28,86$ en el tratamiento de ración basal + 15g de hidrolevadura/kg dieta.

La fecundidad en peces es uno de los datos más importantes para su reproducción en cautiverio, ya que con esta información es posible determinar la cantidad de huevos que una hembra puede producir, es decir, se emplea para calcular el potencial reproductor de una población de peces y la supervivencia desde el huevo hasta el reclutamiento; mientras que la fertilidad ayuda a conocer cuántos de los huevos producidos pueden llegar a desarrollarse y ser un cría, por lo tanto, la fertilidad es la capacidad

de las hembras y los machos para poder concebir crías viables (FAO, 2022; Zimmermann, 2005).

Otro dato importante en la reproducción de peces es la tasa de eclosión, con lo que es posible conocer el potencial que tienen los reproductores para producir huevos viables, en sí, la tasa de eclosión hace referencia a cuantos de los huevos producidos y fertilizados pueden llegar a eclosionar, ya que muchas veces los huevos pueden ser afectados por di-

versas variables, comprometiendo su viabilidad, lo que impide la eclosión (Anene y Okorie, 2008; Aba-rike y Ampofo-Yeboah, 2016).

**Tabla 4.** Continuación de la Tabla 3. Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Dieta	Método	Aportación
Orlando y col. (2017)	1-Fa y Fr 2-ID	5 dietas con diferentes niveles de energía digestible (3200, 3400, 3600, 3800 y 4000 kcal/kg)	1-Fr se calculó con el número de huevos por gramo de peso de la hembra, y Fa se calculó con el número total de huevos por desove. 2-El ID se calculó con el peso de desove por gramo de peso de la hembra.	1-Los valores de Fa fueron más altos con la dieta de 4000 kcal/kg teniendo un valor de 449,32±13,48, y el valor más bajo se encontró en la dieta de 3400kcal/kg con un valor de 348,50±10,00. En Fr el valor más alto estuvo en la dieta con 4000kcal/kg con un valor de 6,57±0,23, mientras que el valor más bajo se encontró en la dieta con 3400kcal/kg, y tuvo un valor de 5,10±0,15. 2-El valor más alto de ID se encontró en la dieta con 4000kcal/kg y el más bajo en la dieta con 3400kcal/kg, los valores fueron 9,43±1,23 y 5,48±0,35, respectivamente.
Sarmiento y col. (2018)	1-Fa y Fr 2-SDPL 3-Tasa de eclosión 4-Producción media de huevos por hembra	Se implementaron dietas con concentraciones de suplementación de vitamina C a0, 261, 599 y 942 mg/kg de dieta.	1-Fa se calculó con el número de huevos en el desove, Fr se calculó con el número de huevos/peso de la hembra(g). 2-El SDPL se calculó con el número total de larvas después de 120 h/número de larvas después de la eclosión*100 3-La Tasa de eclosión se calculó con el número de larvas eclosionadas/número total de huevos*100 4- La producción media de huevos por hembra se calculó con el número de huevos por lote/número de hembras desovadas.	1-El valor más alto de Fa se encontró en la dieta con 942 mg/kg de dieta y tuvo un valor de 892,7±352,19, mientras que el valor más bajo se encontró en el control (0 mg/kg de dieta) con un valor de 622,6±192,18. El valor más alto de Fr se encontró en la dieta con 599 mg/kg de dieta, y tuvo un valor de 10,09±2,93, mientras que el valor más bajo se encontró en el control, y tuvo un valor de 3,61±1,56.2-El SPDL tuvo el valor más alto en la dieta con 599 mg/kg de dieta 3-El valor más alto de tasa de eclosión correspondió a la dieta de 942 mg/kg de dieta 4-La producción media de huevos por hembra tuvo un valor más alto en la concentración de 599 mg/kg de dieta.

Dentro de los grandes retos en la acuicultura es poder controlar de manera eficaz la reproducción, ya que muchas veces este proceso fisiológico tiene un carácter estacional marcado, el cual es interpretado por sistemas sensoriales específicos que culminan en una cascada hormonal mediado por

parte del sistema endocrino (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). La meta es que la reproducción se de en el lugar y en el momento más favorable para la supervivencia de la progenie, pero en casi todos los casos donde la reproducción que se da en un sistema artificial tiende a ser aleatorio por la falta

de control de algún componente (Navas, 2009). Los principales inconvenientes a los que se enfrentan en este proceso son los cambios de las condiciones ambientales naturales del que provienen o para lo cual están programados y no son tan controlables en los sistemas de producción.

Una de las alternativas para conocer las condiciones en las que se lleva a cabo la reproducción en peces son las evaluaciones reproductivas, esto se refiere a tratar de entender los requerimientos medioambientales y biológicos de los peces, mediante estudios y experimentos para garantizar su sana reproducción, y así generar un número óptimo de gametos viables que promuevan la fertilización para que la embriogénesis pueda ser lograda, culminando así en la eclosión de los huevos que darán origen a la progenie (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). Estas tienen un gran número de aplicaciones que deben considerar no solo la parte reproductiva, sino también la parte nutricional para evitar enfermedades o malformaciones que se pudieran dar por una desnutrición que participe de manera directa o indirecta en los procesos de reproducción, desarrollo y supervivencia (Navas, 2009).

En las evaluaciones reproductivas se consideran principalmente los factores físicos y químicos que limitan su desarrollo, como la alimentación, el número de individuos que debe haber en una población para evitar el estrés ocasionado por una alta densidad de siembra, la calidad del agua, la inocuidad de cultivo; también se deben considerar los factores biológicos como la fisiología del pez, su comportamiento en relación a individuos de su misma especie o de una especie diferentes, entre otros (Elgaml y col., 2019).

Dentro de la reproducción de una especie se debe considerar su valor comercial o de conservación, ya que satisfacer los requerimientos que un pez necesita para lograr la reproducción puede ocasionar una disminución en la ganancia y/o se tiene que tener una proyección de la inversión que se necesita y asegurar la rentabilidad del cultivo. Esto se puede estimar relacionando las cualidades de los peces como la fertilidad, fecundidad, tasa de supervivencia de larvas y alevines, así como el número de huevos por desove, lo que puede dar una estimación del número de crías que se pudieran originar después de la reproducción de los peces; así como la talla

estimada que estos pudieran alcanzar, logrando garantizar un nivel de producción óptimo según los objetivos económicos estipulados para el cultivo, lo que podría impulsar que se incrementen las ganancias.

En cuando al aspecto de conservación, la evaluación reproductiva pudiera impactar de una manera benéfica para rescatar a una especie en peligro de extinción o bajo categoría de conservación especial, y al hacer una evaluación reproductiva se puede ayudar a las proyecciones para lograr los objetivos (Mair y col., 1997; Anene y Okorie, 2008; Peña y col., 2010; Alvarenga y col., 2017).

### 4.3 Panorama de las evaluaciones y estudios de los parámetros reproductivos

Se han realizado investigaciones sobre aspectos reproductivos como la fecundidad, la tasa de supervivencia, el número y tamaño de huevos por puesta, así como el índice gonadosomático (GSI, por sus siglas en inglés) entre otros, en los cuales se encuentran variables ambientales o la edad (Tabla 1), las cualidades genéticas (Tabla 2), la dieta (Tablas 3 y 4) o la calidad del agua (Tabla 5).

Para poder garantizar una buena producción de tilapia es necesario conocer las funciones reproductivas de los peces, para ello es ineludible saber qué variables fisicoquímicas y biológicas afectan a su reproducción. En México y el mundo los productores acuícolas se ven limitados en tecnología y conocimiento para poder regular estas variables, y así poder optimizar la reproducción (Alvarenga y col., 2017).

Los parámetros reproductivos de *O. niloticus* cambian según las variables a las que están expuestas, y dependiendo de la magnitud de la variable los parámetros reproductivos pueden verse afectados de una manera negativa o positiva. Un ejemplo es la edad, donde según lo reportado por Massako y col. (2015) las hembras de 3 años tuvieron una mayor frecuencia de desove que las de 2 años; esto difiere un poco según lo reportado por Tsadik Getinet (2008), el cual menciona que la vida media de los reproductores en tilapias puede ser de hasta 3 años, por lo que se esperaría que entre más viejos fueran los reproductores los parámetros reproductivos irían en decadencia, pero no es así.

**Tabla 5.** Estudios en parámetros reproductivos en tilapia (*O. niloticus*) y su relación con la calidad del agua, Fecundidad absoluta (Fa), Fecundidad relativa (Rf) y índice gonadosomático (ID).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Resultados
Zulfahmi y col. (2018)	1-GSI 2-Fa y Fr	1-Exposición a concentraciones de Efluente de fabricación de aceite de palma (Control= 0 mg/L, A= 1,565 mg/L, B= 2,347 mg/L y C= 3,130 mg/L). 2-El GSI se calculó con el peso de las gónadas/el total de peso corporal*100 3-Fa se calculó con el número parcial de huevos en gónadas/peso parcial de las gónadas*peso de las gónadas. Fr se calculó con el peso corporal/número total de los huevos en las gónadas	1-Los valores medios más altos de GSI se encontraron en el tratamiento B(6,007±2,78%). Los valores de GSI tendieron a aumentar en los tratamientos A y B en comparación con el tratamiento control, luego disminuyeron en el tratamiento C (2,446±0,46%). No hubo diferencias significativas entre los valores de GSI para el control del tratamiento, el tratamiento A y el tratamiento B. 2-El promedio más alto del valor de Fa se obtuvo en el tratamiento A(520±254 huevos), mientras que el valor más bajo fue en el tratamiento B(307±57 huevos). Aunque el valor de Fa para el tratamiento C fue más alto que el del tratamiento B; sin embargo, el tratamiento C tiene una Fr más baja que el tratamiento B. La exposición a Efluente de fabricación de aceite de palma no reveló diferencias significativas en Fa y Fr.

En cuanto a su relación con la nutrición, los reportes indican que una alimentación nutritiva y bien balanceada favorece en gran medida las cualidades reproductivas en la tilapia y a su vez mejora la salud, previniendo algunas enfermedades, aunque un exceso de nutrientes en las dietas pudiera reducir los parámetros reproductivos, esto tiene sentido ya que (Chong, Ishak y Hashim, 2004) menciona que las dietas con alto contenido de proteínas pueden ser benéficas para los procesos relacionados con la reproducción de los peces, siempre que este se encuentre bien balanceado.

A su vez, un gran número de huevos no siempre quiere decir un mayor número de peces, ya que la fecundidad y fertilidad, así como la tasa de eclosión dependen también de las características genéticas (Sun y col., 2009). La selección artificial ha demos-

trado ser una pieza clave para mejorar la reproducción en los peces, así como aspectos relacionados con la producción acuícola; sin embargo, esto no siempre puede ser infalible, ya que como menciona Camero-Escobar y Calderón-Calderón (2018), la implementación de nuevas tecnologías sin supervisión, como lo es la selección artificial, pudiera tener efectos negativos en la descendencia de los peces y en detrimento de los sistemas de producción.

Tener una buena calidad de agua es parte fundamental en la reproducción de la tilapia, más en muchas ocasiones las fuentes donde se obtiene el agua para el cultivo de peces se ven comprometidas por contaminantes que afectan tanto la salud, así como su reproducción, por eso es importante tener una buena calidad de agua libre de contaminantes (El-gaml y col., 2019), ya que este es uno de los recursos

fundamentales en la acuicultura, de manera que si se cuenta con un buen suministro de agua limpia se puede evitar la pérdida de peces por contaminantes o alguna otra sustancia que pudiera contener el agua, y así se vea comprometida su calidad (Gerbron y col., 2014).

## 5 Conclusiones

El conocimiento de los parámetros reproductivos de la tilapia puede ayudar a disminuir los costos de producción y aunque no existe como tal un parámetro reproductivo más importante que otro pues se trata de un cúmulo de factores y sinergia que intervienen en la reproducción, es necesario establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción. La evaluación de los parámetros reproductivos de la tilapia *O. niloticus* puede ayudar a disminuir los gastos de producción al momento de invertir en un cultivo, ya que al tener conocimiento de los requerimientos de la especie se puede obtener un mejor resultado en el producto de esta fase. Se sugiere realizar mayores investigaciones para evaluar los parámetros reproductivos, pues aún no se tiene el suficiente respaldo, datos duros y la interacción de las variables que intervienen en el proceso.

## Referencias

- Abarike, E. y A. Ampofo-Yeboah (2016). «Reproductive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) in the Golinga reservoir in Ghana». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 4.5, 279-283. Online: <https://bit.ly/41xMmI2>.
- Alvarenga, É. Ramos de y col. (2017). «Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia». En: *Aquaculture Research* 48.12, 5965-5972. Online: <https://bit.ly/3Lm47TZ>.
- Anene, A. y P. Okorie (2008). «Some aspects of the reproductive biology of *Tilapia mariae* (Boulenger 1901) in a small lake in southeastern Nigeria». En: *African Journal of Biotechnology* 7.14, 2478-2482. Online: <https://acortar.link/YKQqCt>.
- Bizarro, Y. Saldanha y col. (2019). «Photoperiodic effects in blood glucose, cortisol, hematological parameters and reproductive indexes of GIFT lineage reversed male tilapia». En: *Bioscience Journal* 35.6, 1915-1922. Online: <https://acortar.link/SNd54J>.
- CONAPESCA (2018). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018*. Inf. téc. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Camero-Escobar, G. y H. Calderón-Calderón (2018). «Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para la producción de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en el departamento del Huila, Colombia». En: *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* 9.1, 19-31. Online: <https://acortar.link/yAYwr9>.
- Carrillo, M., S. Zanuy y M. Bayarri (2009). «El control ambiental de la reproducción de los peces con especial referencia al control del ciclo sexual, de la pubertad y de la precocidad». En: *Publicaciones científicas y tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura*. Cap. La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura, págs. 173-233.
- Chong, A., Z. Ishak S. and Osman y R. Hashim (2004). «Effect of dietary protein level on the reproductive performance of female swordtails *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae)». En: *Aquaculture* 234.1-4, 381-392. Online: <https://bit.ly/3V7qAsm>.
- Costa, J. y E. Carvalho (2012). «Reproduction, food dynamics and exploitation level of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from artisanal fisheries in Barra Bonita Reservoir, Brazil». En: *Revista de biologia tropical* 60.2, 721-734. Online: <https://acortar.link/B9VSQX>.
- El-Sayed, A. (2016). *Tilapia culture*. CAB Int. Oxfordshire, UK. Online: <https://acortar.link/zinHtL>.
- Elgaml, S. y col. (2019). «Effects of heavy metal pollutants on the reproduction of Nile tilapia». En: *Int j Fish Aquat* 7.5, 542-547. Online: <https://bit.ly/3oDKsqI>.
- FAO (2022). *Oreochromis niloticus*.
- Gerbron, M. y col. (2014). «Evidence of altered fertility in female roach (*Rutilus rutilus*) from the River Seine (France)». En: *Environmental pollution* 191, 58-62. Online: <https://acortar.link/WVWajE>.
- Huet, M. (1998). *Tratado de piscicultura*. Mundi-Prensa.

- Hussain, M.G. (2004). *Farming of tilapia, Breeding Plans, Mass Seed Production and Aquaculture Techniques*. Inf. téc. Bangladesh Fisheries Research Institute, Bangladesh, India. Online: <https://acortar.link/eZnleQ>.
- INAPESCA (2018). *Acuicultura tilapia*.
- Mair, G. y col. (1997). «Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus*». En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54.2, 396-404. Online: <https://acortar.link/SeNd0c>.
- Massako, G. y col. (2015). «Reproduction performance of female Nile tilapia under different environments and age classes». En: *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 37, 221-226. Online: <https://acortar.link/ja9Iud>.
- Mehrim, A., F. Khalil y M. Hassan (2015). «Hydroyeast Aquaculture® as a reproductive enhancer agent for the adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)». En: *Fish Physiology and Biochemistry* 41, 371-381. Online: <https://acortar.link/WSJY9O>.
- Moraes, M. y col. (2014). «Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters». En: *Animal Reproduction Science* 150.1-2, 62-69. Online: <https://acortar.link/Sz8g5H>.
- Nasrin S. and Rahman, M. y col. (2021). «Effect of feeding frequency on the growth of GIFT (*Oreochromis niloticus*)». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 9.2, 98-107. Online: <https://acortar.link/v7ruUM>.
- Navas, J. (2009). «La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura». En: *Publicaciones científicas y tecnológicas de la Fundación Observatorio Espanol de Acuicultura*. Cap. Capitulo 8. Los perturbadores endocrinos y sus posibles efectos en la reproducción de peces cultivados, págs. 531-580.
- Noriega-Salazar, A. y col. (2020). «Crecimiento y sobrevivencia de juveniles de tilapia roja con dietas suplementadas de vitaminas C y E». En: *Revista Ciencia UNEMI* 13.34, 16-27. Online: <https://acortar.link/lkyePL>.
- Orlando, T.M. y col. (2017). «Reproductive performance of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with different digestible energy levels». En: *Revista Brasileira de Zootecnia* 46, 1-7. Online: <https://acortar.link/EfiWUC>.
- Oso, J., I. Ayodele y O. Fagbuaro (2006). «Food and feeding habits of *Oreochromis niloticus* (L.) and *Sarotherodon galilaeus* (L.) in a tropical reservoir». En: *World Journal of Zoology* 1.2, 118-121. Online: <https://acortar.link/Ap2Zpl>.
- Peña, E. y col. (2010). «Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico». En: *Revista de biología tropical* 58.4, 1577-1586. Online: <https://acortar.link/6vYvD6>.
- Perdomo, D. y col. (2020). «Influencia del tamaño, la variedad y la proporción de sexos en la producción de huevos de tilapia (*Oreochromis* spp) en un sistema tropical intensivo al aire libre». En: 31.4, e19037. Online: <https://acortar.link/vZr0nP>.
- Perea-Ganchou, F. y col. (2017). «Factores que afectan el desempeño reproductivo de tilapias del género *Oreochromis* en la zona baja del estado Trujillo, Venezuela». En: *Revista Científica* 27.2, 78-86. Online: <https://acortar.link/tIxIQP>.
- Quóc, T. y col. (2013). «Genetic parameters for reproductive traits in female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): II. Fecundity and fertility». En: *Aquaculture* 416-417, 72-77. Online: <https://acortar.link/x4lds4>.
- Saavedra Martínez, M. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Online: <https://acortar.link/gac8mw0>. USAID-CIDEA.
- Sarmento, N. y col. (2018). «Reproductive efficiency and egg and larvae quality of Nile tilapia fed different levels of vitamin C». En: *Aquaculture* 482, 96-102. Online: <https://acortar.link/zD8Dqr>.
- Sièfo, G. y col. (2018). «Some reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758) at Pele reservoir, Nakanbé River Basin, Burkina Faso». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6.4, 124-130. Online: <https://acortar.link/UEDLWs>.
- Silva, A. y col. (2020). «Reproductive traits in different Nile tilapia genetic groups». En: *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 72, 1797-1804. Online: <https://acortar.link/qT5A95>.
- Sun, C. y col. (2009). «Comparison between a sire model and an animal model for genetic evaluation of fertility traits in Danish Holstein population». En: *Journal of Dairy Science* 92.8, 4063-4071. Online: <https://acortar.link/v6pJ3q>.
- Teame, T., H. Zebib y T. Meresa (2018). «Observations on the biology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., in Tekeze Reservoir, Northern Ethiopia». En: *International Journal of Fisheries and*

- Aquaculture* 10.7, 86-94. Online:<https://acortar.link/InIM0K>.
- Tessema, A. y col. (2019). «Length-weight relationship, condition factor and some reproductive aspects of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Lake Hayq, Ethiopia». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 7.5, 555-561. Online:<https://acortar.link/ak7Tga>.
- Tsadik Getinet, G. (2008). «Effects of maternal age on fecundity, spawning interval, and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)» En: *Journal of the World Aquaculture Society* 39.5, 671-677. Online:<https://acortar.link/zEylZE>.
- Vega-Villasante, F. y col. (2009). *Acuicultura de tilapia a pequeña escala para autoconsumo de familias rurales y periurbanas de la costa del Pacífico*. Universidad de Guadalajara.
- Yem, I. y col. (2020). «Food habit and growth pattern of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* in Wase Dam, Nigeria». En: *Int. J. Fish. Aqua. Stud.* 4, 257-260. Online:<https://acortar.link/1EqatL>.
- Zimmermann, S. (2005). «Reproducción de los peces en el trópico». En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cap. Reproducción de la tilapia, págs. 147-164.
- Zulfahmi, I. y col. (2018). «Reproductive performance and gonad histopathology of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) exposed to palm oil mill effluent». En: *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44.4, 327-332. Online:<https://acortar.link/nOZhYm>.



# PREVALENCIA Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A BRUCELOSIS BOVINA EN GANADERÍAS LECHERAS DE LA PROVINCIA DEL AZUAY-ECUADOR

## PREVALENCE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH BOVINE BRUCELLOSIS IN DAIRY FARMS IN THE PROVINCE OF AZUAY-ECUADOR

Omar Santiago Andrade Guzmán<sup>1</sup>, Andrea Elizabeth Vintimilla Rojas<sup>1</sup>,  
Mateo Damián López Espinoza<sup>2</sup>, Guillermo Emilio Guevara Riera<sup>3</sup> y Sergio  
Emiro Rivera Pirela<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología, Carrera de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, calle Diego de Tapia y Av. 12 de Octubre, Cuenca-Ecuador.

<sup>2</sup>Laboratorio de Geomática, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, calle Diego de Tapia y Av. 12 de Octubre, Cuenca-Ecuador.

<sup>3</sup>Departamento de Estadística, Carrera de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, calle Diego de Tapia y Av. 12 de Octubre, Cuenca-Ecuador.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Zulia, Maracaibo-Venezuela.

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

Manuscrito recibido el 22 de septiembre de 2021. Aceptado, tras revisión, el 11 de abril de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

### Resumen

Se desconoce el estatus sanitario de ganaderías que no están dentro del programa oficial de control de Brucelosis en la provincia del Azuay, pudiendo existir zonas con mayor frecuencia de rebaños seropositivos. Este trabajo pretende determinar la prevalencia y factores de riesgo asociados a brucelosis bovina en predios lecheros. Se llevó a cabo un estudio epidemiológico en 436 fincas, para lo cual se tomaron muestras de leche de productores en centros de acopio, camiones recolectores y hatos. Se usó una encuesta georeferenciada a fin de recopilar información del manejo de las ganaderías. La leche se analizó mediante ELISA-indirecto, 37 fincas resultaron seropositivas, obteniendo una prevalencia de 8,5%. Los porcentajes de seropositividad fueron: Cuenca (14,84%), Girón (23,07%), Nabón (8,21%), Oña (11,53%), San Fernando (33,33%), Sevilla de Oro (7,14%), Sigsig (4,16%). Se realizaron las pruebas Rosa de Bengala y ELISA-competitivo a bovinos que aportaron al pool de leche en 34 ganaderías, estableciéndose una concordancia del 100% de ELISA-indirecto para detectar fincas seronegativas. En el análisis de regresión logística se determinó una asociación significativa ( $P < 0,05$ ) entre la seropositividad y factores como: ubicación geográfica, extensión de la finca, sistema de explotación, presencia de otras especies domésticas, eliminación de restos placentarios, sistema de reproducción, teniendo una mayor probabilidad de seropositividad las ganaderías que presentaron abortos ( $OR = 2,71$ ), problemas de celo ( $OR = 2,09$ ), nacimiento de terneros débiles ( $OR=3,24$ ) y manejo extensivo ( $OR = 3,67$ ). Estos hallazgos constituyen evidencia serológica que *Brucella spp.* circula en ganaderías de la zona.

**Palabras clave:** Prevalencia, brucelosis, ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas, factores de riesgo.

---

### Abstract

The health of herds that are not within the official Brucellosis control program in the province of Azuay is unknown, and there may be areas with a higher frequency of seropositive herds. This paper aims to determine the prevalence and risk factors associated with bovine brucellosis in dairy farms. An epidemiological study was carried out in 436 farms, for which milk samples were taken from producers in collection centers, collecting trucks and herds. A georeferenced survey was used to collect information on the management of the herds. The milk was analyzed by indirect-ELISA, and thirty-seven farms were seropositive, obtaining a prevalence of 8,5%. The percentages of seropositivity were: Cuenca (14.84%), Girón (23.07%), Nabón (8.21%), Oña (11.53%), San Fernando (33.33%), Sevilla de Oro (7.14%), Sigsig (4.16%). The Rose Bengal and competitive ELISA tests were performed on bovines that contributed to the milk pool in 34 herds, establishing a 100% concordance of indirect ELISA to detect seronegative farms. In the logistic regression analysis, a significant association ( $P < 0,05$ ) was determined between seropositivity and factors such as: geographic location, extension of the farm, exploitation system, presence of other domestic species, elimination of placental remains, reproduction system, having a higher probability of seropositivity in herds that presented abortions ( $OR = 2,71$ ), estrus problems ( $OR = 2,09$ ), birth of weak calves ( $OR = 3,24$ ) and extensive management ( $OR = 3,67$ ). These findings constitute serological evidence that *Brucella spp.* circulates in farms in the area.

**Keywords:** Prevalence, brucellosis, enzyme linked immunosorbent assay, risk factors.

---

Forma sugerida de citar: Andrade Guzmán, O., Vintimilla Rojas, A., López Espinoza, M., Guevara Riera, G. y Rivera Pirela, S. (2023). Prevalencia y factores de riesgo asociados a brucelosis bovina en ganaderías lecheras de la provincia del Azuay-Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):138-151. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.10>.

---

IDs Orcid:

Omar Santiago Andrade Guzmán: <http://orcid.org/0000-0003-0045-7513>

Andrea Elizabeth Vintimilla Rojas: <http://orcid.org/0000-0002-4144-9205>

Mateo Damián López Espinoza: <http://orcid.org/0000-0002-6996-8701>

Guillermo Emilio Guevara Riera: <http://orcid.org/0000-0003-3832-9090>

Sergio Emiro Rivera Pirela: <http://orcid.org/0000-0001-9120-1497>

## 1 Introducción

La brucelosis es una enfermedad bacteriana zoonótica causada por varias especies del género *Brucella spp.* que infecta animales domésticos y de vida silvestre (Ledwaba y col., 2019), afectando al sistema reproductivo, ocasionando abortos, crías débiles y produciendo pérdidas económicas debido al sacrificio de animales infectados y el impedimento para el comercio (Assenga y col., 2015). Los síntomas de brucelosis en humanos son fiebre, fatiga, artralgia, dolor muscular y sudoración en ocasiones produciendo estados de incapacidad física (Zheng y col., 2018).

Hasta la fecha se conocen 12 especies de las cuales *B. abortus* afecta a bovinos, *B. mellitensis* produce abortos en cabras, *B. suis* infecta a cerdos, *B. canis* es específica en caninos, *B. ovis* contagia a ovejas, *B. neotomae* se ha reportado en ratas (Suárez-Esquível y col., 2017); dos especies *B. pinnipedialis* y *B. ceti* fueron aisladas en mamíferos marinos (Kroese y col., 2018); *B. microti* se ha identificado en una variedad de animales como topillos, jabalíes; *B. papionis* se ha descrito como hospedador a los babuinos, *B. vulpis* en zorros rojos; *B. inopatia* se ha aislado en humanos aunque no se ha identificado el reservorio animal (Leclercq, Cloeckert y Zygmunt, 2020), la capacidad zoonótica se expresa con mayor fuerza en *B. mellitensis*, pero *B. abortus* también es responsable de la brucelosis en personas (Awah-Ndukum y col., 2018).

La transmisión a humanos ocurre por el consumo de leche, productos lácteos infectados, inhalación de partículas en aerosol y contacto directo con tejidos de animales enfermos (Dal y col., 2019). Las fuentes de infección para los animales incluyen materiales abortados, secreciones vaginales, leche, semen, consumo de agua, alimentos contaminados, y la infección en terneros puede darse a través del útero y por calostro (Ogugua y col., 2018). Una estrecha relación entre la fauna silvestre y el ganado brindarían oportunidades para la transmisión y la persistencia de la brucelosis en estas poblaciones (Godfroid y col., 2013). Algunos estudios sugieren que la bacteria puede circular entre varias especies silvestres susceptibles, manteniéndose así permanentemente en los ecosistemas (Aruho y col., 2021).

Las infecciones declaradas por la Organización

Internacional de Epizootias (OIE) como enfermedades zoonóticas ameritan medidas de prevención, diagnóstico y control. Por tal motivo es necesario identificar factores de riesgo asociados a la patogénesis de la infección por *Brucella spp.* en los diferentes sistemas de manejo de las ganaderías responsables de la propagación de la enfermedad, permitiendo así una gestión eficaz para su manejo y control (OIE, 2018).

La brucelosis es una de las zoonosis de mayor importancia, altamente difundida en Latinoamérica. Argentina reporta una prevalencia de 19,7% a nivel de rebaños (Aznar y col., 2015); Uruguay 0,02% (Baruch y col., 2020); Colombia 22% (Cárdenas, Melo y Casal, 2018). Es difícil establecer datos oficiales de prevalencia en Ecuador por haber sido sub-notificada ante la OIE. Sin embargo, se han reportado estudios sobre la presencia de anticuerpos contra *Brucella spp.*, que varían entre regiones, incluso dentro de ellas. Un estudio a nivel nacional en el año 1979 refiere una seroprevalencia en la región Sierra Norte de 1,97 a 10,62%, en región Costa 4,2 a 10,62% y en la región Sierra Sur de 1,3 a 2,6%. Otro estudio reporta una prevalencia del 6% (Salguero, 2011; Román-Cárdenas y Luna-Herrera, 2017). En los últimos años, algunos trabajos permiten actualizar el nivel de seroprevalencia de esta enfermedad, con una variabilidad significativa que va de 1,80-12% en todo el país (Zambrano, Pérez y Rodríguez, 2016).

Es necesario comprender la epidemiología de la brucelosis en otras regiones del país donde no se realiza vigilancia serológica como requisito, previo a implementar programas de control y determinar las zonas de mayor prevalencia de la enfermedad. Existen varias pruebas para el diagnóstico en sangre o leche. Actualmente, las prescritas para el comercio internacional de ganado son: Rosa de Bengala (RBT), Aglutinación en placa taponada (BPAT), ELISA-I (ELISA-indirecto), ELISA-C (ELISA-competitivo), Fijación del complemento (CFT) y Fluorescencia polarizada (FP) (Vhoko y col., 2018).

Un paso inicial hacia la formulación de programas apropiados de control de la brucelosis a nivel local sería la georeferenciación del estado de infección de algunas zonas lecheras que permita cuantificar la enfermedad a nivel de fincas y generar

evidencia epidemiológica de la endemidad de la bacteria.

El objetivo principal de este estudio fue estimar la prevalencia de Brucelosis bovina en ganaderías de la provincia del Azuay, mediante la técnica de ELISA-I en muestras de leche. Igualmente, evaluar los factores asociados que pudieran predisponer a la aparición de la enfermedad, tales como: presencia de abortos, incremento de intervalos entre partos, nacimiento de crías débiles, asistencia veterinaria, ausencia de vacunación, tamaño del rebaño, entre otros, relacionados con la patogénesis y signos de la brucelosis (Akinseye y col., 2016; Mugizi y col., 2015).

## **2 Materiales y Métodos**

### **2.1 Área de estudio**

Esta investigación se realizó en los cantones Cuenca, Santa Isabel, Gualaceo, Paute, Sigsig, Sevilla de Oro, Girón, San Fernando, Pucará, Oña, Nabón, El Pan y Chordeleg, pertenecientes a la provincia del Azuay, ubicada en la región austral del Ecuador, con una extensión aproximada de 8.639  $km^2$ . Existen dos zonas diferenciadas: el Este comprendido por los Andes orientales y el Oeste que constituye la región Costanera. El clima es variable debido a la altura, desde cálido hasta frío, por la presencia del macizo de los Andes y la vegetación subtropical. Al Occidente, la provincia se encuentra climatológicamente fragmentada en diversos sectores. Además, a causa de su ubicación, cada zona climática presenta sólo dos estaciones definidas: húmeda y seca. En el Occidente la temperatura oscila entre los 20°C y 33°C, mientras que en la zona andina, ésta suele estar entre los 10°C y 28°C (Cárdenas y Murillo, 2018).

### **2.2 Población en estudio**

Consistió en unidades productivas agropecuarias (UPAS) dedicadas a la producción de leche sin importar el tamaño, las cuales, al momento del estudio incluían vacas en lactancia. La raza Holstein Friesen fue predominante (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2019). El tamaño de los rebaños varió desde 5 hasta 120 animales; el sistema de manejo abarcó un amplio rango, desde ganaderías extensas tecnificadas mayores a 50 has, medianas entre 5 a 50

has y fincas pequeñas con un manejo extensivo tradicional con poca tecnología, menores a 5 has. Para el propósito de esta investigación, las zonas de producción lechera se definieron por la mayor concentración de granjas que suministran esta materia prima (Ortega y col., 2017).

### **2.3 Diseño del estudio**

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal comprendido entre los años 2019-2020. La unidad de análisis lo constituyen muestras de leche obtenidas en centros de acopio, vehículos de recolección y directamente en ganaderías. Para calcular el número de fincas a muestrear se usó el programa epidemiológico Win Epi (De Blas, Ruiz-Zarzuela y Vallejo, 2006). Se tomó como población total las 15 784 unidades de producción (UPAS), que constan en el programa de control y erradicación de Fiebre Aftosa en el Azuay (Agrocalidad, 2019), al no haber estudios previos en esta zona de la prevalencia de la brucelosis se partió de una prevalencia esperada del 50%, un error estimado del 5%, y un nivel de confianza de 95%. El programa arrojó una cifra de 376 fincas a muestrear, sin embargo, se tuvo acceso en total a 436 ganaderías.

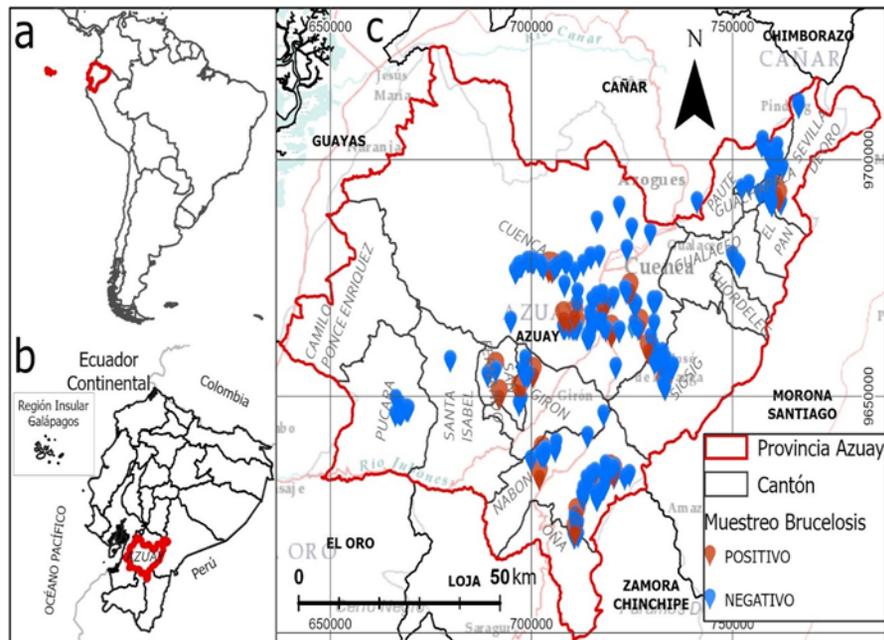
Para determinar el número de UPAS a estudiar en cada cantón se utilizó un muestreo proporcional, la selección de las fincas se realizó de manera aleatoria, según la accesibilidad a la zona, distancia, tiempo para llegar a las ganaderías, disponibilidad de recursos, predisposición de los productores, centros de acopio y transportistas con mayor factibilidad de participar en esta investigación. Se realizó una encuesta georeferenciada a cada propietario utilizando el software Survey 123 ArcGis, instalados en dispositivos móviles. Ninguna de las ganaderías reportó contar con un programa de vacunación contra brucelosis.

### **2.4 Encuesta georeferenciada**

Se realizó una encuesta georeferenciada cuyas preguntas se elaboraron para obtener información sobre la condición sanitaria de los animales, y el manejo de las fincas en base a literatura existente (Cárdenas y col., 2019) con el objetivo de determinar los posibles factores de riesgo de sufrir brucelosis tomando en cuenta: el manejo reproductivo, reemplazo de animales, procedencia de agua de bebida,

presencia de animales domésticos susceptibles, sistema de explotación, conocimiento de la enfermedad, problemas reproductivos, presencia de abortos, manejo de desechos después del parto o abortos

(Cárdenas y col., 2019). El consentimiento informado para la administración del cuestionario y la recolección de muestras se obtuvo verbalmente de los propietarios antes del muestreo y la entrevista.



**Figura 1.** Ubicación del Ecuador en Sur América b) Ubicación del proyecto a nivel Nacional c) Distribución de cantones con ganaderías seropositivas en la provincia del Azuay.

## 2.5 Análisis de muestras de leche mediante ELISA indirecto

Las muestras fueron tomadas en envases estériles en una cantidad de 100 ml. Los envases fueron transportados refrigerados al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, donde fueron almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Para identificar la presencia de anticuerpos a *Brucella spp.* se usó el kit de ELISA-I (Innovate Diagnostic, Francia), para ello previamente se centrifugaron las muestras de leche a 8 000 rpm durante 10 minutos para separar el lacto suero de la grasa. Se utilizó una placa con 96 pocillos impregnada con el LPS de *Brucella abortus*; se distribuyeron 100  $\mu\text{l}$  de control negativo y control positivo por duplicado y posteriormente se agregaron 100  $\mu\text{l}$  de las muestras en los pocillos restantes. Se selló la placa y se incubó a  $21^{\circ}\text{C}$  durante 45 minutos, posteriormente se enjuagó cada pocillo con 300  $\mu\text{l}$  de solución de lavado por tres veces. Se agre-

garon 100  $\mu\text{l}$  de conjugado (anti IgG de rumiante marcado con una peroxidasa), se incubó a  $21^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos, se repitió el proceso de lavado y posteriormente se adicionaron 100  $\mu\text{l}$  de solución de revelado (tetrametilbencidina) a todos los pozos, se volvió a incubar la placa durante 15 minutos a una temperatura de  $21^{\circ}\text{C}$  y finalmente se añadieron 100  $\mu\text{l}$  de solución de parada para detener la reacción.

Los valores de densidad óptica (DO) de las muestras (m) y controles se leyeron a 450 nm (longitud de onda), mediante un lector de placas ELISA (Biotek 800TS, USA). Se usaron controles positivos (cp) y controles negativos (cn) para validar la prueba. Se calculó el porcentaje de inhibición (PI) utilizando la Ecuación 1. Una muestra se consideró como positiva cuando su PI fue mayor a 50%.

$$PI = \frac{DO_m - DO_{cn}}{DO_{cp} - DO_{cn}} \times 100 \quad (1)$$

## 2.6 Serología para identificación de animales seropositivos

Se tuvo acceso a 34 ganaderías para realizar las pruebas RBT y ELISA-C a todas las vacas que aportaron al pool de leche, para confirmar individualmente la presencia de animales seropositivos. Para ello se tomaron 9 ml de sangre de la región coccígea en tubos al vacío sin anticoagulante, los cuales fueron transportados al laboratorio a una temperatura de 8°C. Se realizó la centrifugación a 8 000 rpm (Dynaclay Adams, USA), durante 10 minutos, para extraer el suero sanguíneo a ser almacenado en tubos eppendorf y congelado a -20°C.

## 2.7 Rosa de Bengala

A los sueros extraídos de sangre periférica obtenida sin anticoagulante se les realizó la prueba RBT (Innovate Diagnostics, Francia), según el manual de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). Se utilizó una placa de vidrio cuadrada, se mezclaron 40  $\mu$ l del reactivo con la misma cantidad de suero a analizar, se agitó la lámina ligeramente durante 4 minutos. La aparición de aglutinación dentro de un minuto se puntuó como 4+ (++++), entre 1 y 4 min se puntuó 1+ a 3+ (+, ++, +++) según los diferentes grados de aglutinación, la ausencia de aglutinación en 4 minutos se consideró negativa.

## 2.8 ELISA-C como prueba confirmatoria

Se utilizó el kit ELISA-C (Svanova, Suecia) para confirmar la presencia de animales seropositivos a *Brucella spp.* El ensayo se realizó adicionando 45  $\mu$ l de solución de dilución en todos los pocillos para luego incorporar 5  $\mu$ l de controles positivos, débiles y negativos por duplicado, así como 5  $\mu$ l de solución de dilución como control de conjugado; posteriormente se añadieron 5  $\mu$ l de las muestras. Seguidamente se agregaron 50  $\mu$ l de la solución anticuerpos monoclonales de ratón (mAb) prediluidos, específicos de un epítipo común del O-polisacárido liso de molécula de LPS, tanto en los pocillos controles y muestras. Se selló la placa y se agitó durante 5 minutos, ulteriormente se incubó durante 30 minutos a 20°C. Culminada la incubación, se enjuagó la placa 4 veces con la solución PBS-Tween Buffer, inmediatamente se añadieron 100  $\mu$ l en cada pocillo de solución de conjugado (anticuerpo de cabra contra IgG de ratón unido a peroxidasa de rábano

picante, HRP) y se incubó a 20°C durante 30 minutos.

Se repitió el proceso de lavado y posterior a esto se agregaron 100  $\mu$ l de sustrato (peroxidasa de hidrógeno y el cromógeno ABTS). Se incubó a 20°C durante 10 minutos y la reacción se detuvo adicionando 50  $\mu$ l de la solución de parada (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Viveros, 2019). La microplaca se leyó a 450 nm con un espectrofotómetro (Biotek 800TS, USA), calculándose para cada muestra el porcentaje de inhibición (PI) de acuerdo a la Ecuación 2.

$$PI = \frac{DO_m - DO_{cn}}{DO_{cp} - DO_{cn}} \times 10 \quad (2)$$

Donde  $DO_m$ ,  $DO_{cp}$ ,  $DO_{cn}$  son las lecturas de las densidades ópticas para las muestras, el control positivo y el control negativo, respectivamente. Las muestras se clasificaron como positivas si los títulos de anticuerpos registraban un  $PI \geq 30\%$ , definido por el proveedor. Además, el hecho de que  $DO_{cp} > 0,350$  y  $DO_{cp}/DO_{cn} > 3$ , confirmó que la prueba funcionó correctamente.

## 2.9 Análisis estadístico

Los análisis se realizaron utilizando el software Infostat versión 2020 (Di Rienzo y col., 2020). Se calculó la frecuencia absoluta y relativa de fincas seropositivas a anticuerpos en muestras de leche contra la infección por *Brucella spp.* Se utilizó la prueba Chi-cuadrado para analizar si existía asociación entre cada uno de los factores de riesgo y la seropositividad, y se investigó la influencia de los factores mediante el modelo de regresión logística. Se realizaron cuadros de doble entrada para efectuar los cálculos de Odds Ratio a fin de estimar el riesgo relativo de que ocurra un evento. El intervalo de confianza fue 95% para el logaritmo de la razón de probabilidades como 1,96 errores estándar a ambos lados de la estimación, además del valor  $P$  en cada caso, el cual establece la significación estadística cuando  $P \leq 0,05$ .

## 3 Resultados

### 3.1 Seroprevalencia de brucelosis bovina a nivel de fincas

Se encontraron anticuerpos a *Brucella spp.* en 37 muestras de leche de un total de 436 fincas analiza-

das (Figura 1), arrojando una prevalencia del 8,5%. El porcentaje de seropositividad más bajo se presentó en el cantón Sigsig, con 4,16% y el más alto en San Fernando con 33,33%. No se encontró seropositividad en las muestras procedentes de los otros seis cantones, por lo que se registran sin valores los intervalos de confianza (-) (Tabla 1).

### 3.2 Confirmación de animales seropositivos en fincas positivas y negativas a ELISA-I en leche

Se realizó en 34 fincas las pruebas serológicas con RBT y ELISA -C a las vacas que aportaron al pool de leche para comprobar la presencia de animales seropositivos, coincidiendo en un 100% el diagnóstico negativo con ELISA-I en muestras de leche de 20 fincas al no detectar animales seropositivos, y en 14 ganaderías cuyas muestras de leche resultaron positivas, solo 12 de estas presentaron vacas con anticuerpos (Tabla 2).

## 4 Factores de riesgo para la presencia de la infección

La regresión logística reveló que los abortos, la ubicación geográfica, extensión de la finca, el sistema de explotación, la presencia de otras especies domésticas en la finca, problemas de celo, eliminación de restos placentarios, el nacimiento de terneros débiles y el sistema de reproducción se asociaron de manera significativa con la seropositividad a brucelosis ( $P < 0,05$ ), siendo los rebaños que presentaron abortos los que mostraron mayores riesgos de contraer la enfermedad ( $OR = 2,71$ ). Así también, las ganaderías cuyos animales presentaron problemas de repetición de celo tendrían mayor probabilidad de infectarse ( $OR = 2,09$ ). El nacimiento de terneros débiles igualmente fue un factor asociado a una mayor predisposición ( $OR = 3,24$ ).

La asociación con factores tales como la asistencia veterinaria, existencia de un área de parición, las fuentes de agua, animales de reemplazo, raza, y la presencia de retención placentaria no mostraron diferencia significativas ( $P < 0,05$ ) (Tabla 3).

**Tabla 1.** Porcentaje de ganaderías seropositivas a brucelosis según cantones.

Cantón	Fincas analizadas	Fincas seropositivas	% Positividad	95 % IC Límite inferior	95 % IC Límite superior
Cuenca	128	19,00	14,84	8,65	20,95
El Pan	49	0,00	0,00	-	-
Girón	13	3,00	23,07	0,19	46,00
Guachapala	15	0,00	0,00	-	-
Gualaceo	4,00	0,00	0,00	-	-
Nabón	73	6,00	8,21	1,90	14,50
Oña	26	3,00	11,53	0,00	23,00
Paute	19	0,00	0,00	-	-
Pucará	26	0,00	0,00	-	-
San Fernando	6,00	2,00	33,33	0,00	71,00
Santa Isabel	1,00	0,00	0,00	-	-
Sevilla de Oro	28	2,00	7,14	0,00	16,00
Sigsig	48	2,00	4,16	0,00	9,00
<b>TOTAL</b>	<b>436</b>	<b>37,00</b>	<b>8,50</b>	<b>5,00</b>	<b>10,00</b>

## 5 Discusión

La presencia de anticuerpos a *Brucella spp.* en muestras de leche mediante ELISA-I y confirmado con la existencia de animales seropositivos en RBT y ELISA-C sugiere una alta exposición de los hatos ganaderos del Azuay a la bacteria, lo cual ha sido descrito previamente, acompañado de la identificación de cepas de *Brucella abortus* en bovinos, así como en humanos, en varias regiones de Ecuador (Ron-Román y col., 2014; Rodríguez-Hidalgo y col., 2015).

La excelente correlación entre las pruebas ELISA-I en leche, RBT y ELISA-C en suero sanguíneo indican una alta sensibilidad de ELISA-I para diagnosticar fincas positivas a brucelosis con 100% de especificidad. Solo en dos fincas positivas en leche con ELISA-I no se encontraron animales positivos a RBT o ELISA-C, posiblemente debido al movimiento de estos al rejo de secado o descarte por problemas reproductivos al momento del muestreo individual, o a la negativa de algunos propietarios para la toma de muestras en hembras gestantes. Una reacción cruzada antigénica con otras infecciones bacterianas (*Yersinia spp.*, *Salmonella spp.*, *Streptococcus spp.*, *E. coli*) podrían conducir a resultados falsos positivos en el diagnóstico serológico (Bonfini y col., 2018), aunque según Nielsen y col. (2004), eso es poco probable debido a la alta especificidad de las pruebas serológicas para brucelosis en leche.

La prevalencia de la brucelosis puede variar de-

pendiendo de las zonas de estudio, influenciada por diferentes prácticas de manejo, procedencia de animales de reemplazo, sistema de explotación, mayor permanencia de la bacteria por variaciones en el clima, entre otros factores. *Brucella spp.* es muy susceptible a la luz solar y al calor, sobreviviendo unas pocas horas en los meses cálidos y secos, mientras que en verano pueden sobrevivir en suelo húmedo durante aproximadamente 7 días (Matope y col., 2010), pudiendo prevalecer en áreas endémicas por la amplia gama de hospedadores susceptible, capaces de transmitir la enfermedad (Ducrotoy y col., 2017; Musallam y col., 2019).

En cantones con mayor prevalencia de fincas afectadas, tales como: San Fernando, Girón, Cuenca, la brucelosis podría deberse al sistema de manejo, principalmente debido a la mezcla de animales procedentes de diferentes rebaños dentro de la misma zona geográfica (Craighead y col., 2018), por ser lugares con mayor cantidad de ganaderías lecheras y poseer un importante comercio de bovinos. En las encuestas epidemiológicas, la mayoría de productores manifestaron desconocer los síntomas de la enfermedad, hubo ausencia de monitoreo serológico mediante análisis de laboratorio y nulo descarte de animales infectados que comúnmente son comercializados, diseminando así la enfermedad. En zonas detectadas con baja prevalencia como los cantones Paute, El Pan, Guachapala, Gualaceo, Pucará, Santa Isabel, existen bajas tasas de transmisión posiblemente debido a factores agroecológicos que restringen el contacto entre los rebaños.

**Tabla 2.** Resultados con ELISA-I, RBT, y ELISA-C en 34 ganaderías según su ubicación geográfica.

Cantón	Animales seropositivos					Animales seropositivos				
	Fincas positivas en leche	Fincas con animales seropositivos	Animales muestreados	RBT	ELISA-C	Fincas negativas en leche	Fincas con animales seropositivos	Animales muestreados	RBT	ELISA-C
Cuenca	6	6	236	29	28	10	0	239	0	0
Santa Isabel	–	–	–	–	–	1	0	24	0	0
Girón	2	2	145	31	31	2	0	41	0	0
Sevilla de Oro	–	–	–	–	–	2	0	36	0	0
Oña	1	1	31	1	1	3	0	64	0	0
San Fernando	2	2	50	3	3	–	–	–	–	–
Nabón	1	–	18	0	0	1	0	14	0	0
Sigsig	2	1	16	1	1	–	–	–	–	–
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>496</b>	<b>65</b>	<b>64</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>418</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Los valores de prevalencia obtenidos en este estudio (8,5%) son menores a los encontrados por Mainato y Vallecillo (2017), en la provincia vecina

del Cañar (13,63%), donde refieren una mayor presencia de fincas seropositivas en los cantones de Biblián y Cañar. Un estudio epidemiológico de Bru-

celosis a nivel nacional (Carbonero y col., 2018) incluye a la provincia del Azuay con una prevalencia a nivel de rebaño menor al 10%; Pichincha 37,5%; Santo Domingo 26,8%; Tungurahua 25,3% y Zamora con 4,8%. Por otro lado, Poulsen y col. (2014), en un estudio para determinar la prevalencia en dos provincias del Norte del Ecuador, refieren un valor de 7,2%. Estas variaciones a nivel país podrían deberse a las técnicas de muestreo, interpretación de las pruebas, reactivos utilizados, número de animales muestreados.

Dentro de los factores de riesgo, el tamaño de la finca fue un factor significativo asociado a una mayor seroprevalencia a brucelosis, debido probablemente a problemas de higiene, producto de una alta densidad animal en sistemas de producción extensiva. Berhe, Belihu y Asfaw (2007), manifiestan un riesgo de seropositividad de 8,5 y 4,3 veces mayor en hatos grandes y medianos, respectivamente, en comparación con rebaños pequeños, ya que en estos disminuye el riesgo de contacto con animales de otras manadas. Del mismo modo McDermott y Arimi (2002) declaran que, en sistemas extensivos, el tamaño de los rebaños, el mestizaje común con otros animales y el encuentro en puntos comunes de pastoreo y abrevadero incrementan el riesgo de contagio de la enfermedad.

Un historial de abortos o mortinatos se asoció con la seropositividad a brucelosis. Los fetos abortados y secreciones uterinas proporcionan un suministro constante de la bacteria manteniendo la transmisión de nuevas infecciones (Sanchez y col., 2020). También se reveló una asociación con problemas de celo en los animales, lo cual coincide con varios autores (Asgedom, Damena y Duguma, 2016), quienes identificaron también un aumento en el número de servicios por parto cuando el ganado presentaba problemas reproductivos debidos a la brucelosis, que afecta al tracto genital, conduciendo a una infección uterina y una tasa pobre en concepción.

En relación al sistema de explotación, existen resultados similares a los reportados en este trabajo, donde el manejo tradicional facilitaría la propagación de la enfermedad debido al poco control de movimiento de los animales (Fero y col., 2020). Sin embargo, Kumar y col. (2016), mencionan que la transmisión horizontal de la enfermedad en gran-

jas organizadas se relacionaría con el hacinamiento, alta densidad de animales y malas prácticas higiénicas como la eliminación inadecuada de fetos abortados, membranas fetales, secreciones vaginales, que ayudan a la propagación de la infección.

La regresión logística asoció la eliminación inadecuada de la placenta y fetos como un factor predisponente para la transmisión de la infección, esto debido a que millones de *Brucellas* se excretan durante el parto normal o abortos de vacas infectadas, las cuales, teniendo un medio adecuado de temperatura, luz solar y pH, pueden mantener la infectividad durante varios meses (Sussex, 2016). De igual manera, John y col. (2010), indican que los propietarios de hatos que eliminaban de manera inadecuada residuos biológicos luego de partos, abortos o retenciones placentarias fueron más propensos a tener al menos un animal seropositivo cuando se comparó con aquellos que eliminaron correctamente estos materiales.

Si bien en este trabajo, la asociación con la introducción de animales con estatus sanitario desconocido en el rejo no tuvo un efecto significativo, el porcentaje de animales positivos aumenta cuando se introducen animales de otras fincas. Kanouté y col. (2017) determinan una mayor probabilidad de observar rebaños positivos a *Brucella* cuando ingresan semovientes sin análisis en áreas endémicas. Destacan la necesidad monitorear a los bovinos antes de ingresar a la granja, e igualmente promover el reemplazo con animales provenientes de fincas libres de brucelosis.

Según la encuesta epidemiológica en la mayoría de las zonas evaluadas los productores desconocían la existencia de programas preventivos de inmunización contra brucelosis, por lo cual se puede inferir que la presencia de animales seropositivos se debió al contacto con *Brucellas* de campo y no a reacciones post vacunales. Dorneles, Sriranganathan y Lage (2015) señalan que la vacunación es una estrategia determinante para programas de control y erradicación de brucelosis. De igual forma, Pascual y col. (2018), manifiestan que los programas de erradicación deben incluir pruebas de diagnóstico, descarte de animales infectados y la incorporación de la vacunación, la cual ha demostrado reducir infecciones y abortos en los animales.

**Tabla 3.** Factores de riesgo asociados a brucelosis bovina.

Factor	Variable	N° fincas positivas	Seropositividad ELISA-I%	Odd ratio	95% IC	Valor P
Abortos	Si	58(10)	17,24	2,71	1,25 - 5,86	0,001
	No	378(27)	7,14	0,37	0,17 - 0,80	
Cantón	Cuenca	127(19)	14,96			0,001
	El Pan	49(0)	0			
	Girón	13(3)	23,07			
	Guachapala	15(0)	0			
	Gualaceo	4(0)	0			
	Nabón	73(6)	8,21			
	Oña	26(3)	11,53	-	-	
	Paute	19(0)	0			
	Pucará	26(0)	0			
	San Fernando	6(2)	33,33			
	Santa Isabel	1(0)	0			
	Sevilla de Oro	28(2)	7,14			
Sigsig	46(2)	4,34				
Extensión de la finca	Grande	208(25)	12,01			0,0043
	Grande 2	44(6)	13,64	-	-	
	Mediana	78(0)	0			
	Pequeña	106(6)	5,66			
Sistema de explotación	Extensivo	196(27)	13,78	3,67	1,76 - 7,69	0,0003
	Soguelo	240(10)	4,17	0,27	0,13 - 0,57	
Presencia de especies domésticas	Can, ovi, equi	256(17)	6,64			0,01
	Por, equi, ovi	19(2)	11,11			
	Can, por, equi, ovi	48(3)	6,25	-	-	
	Otros	49(7)	14,29			
Problemas de celo	Si	95(13)	13,68	2,09	1,03 - 4,25	0,03
	No	341(24)	7,04	0,48	0,24 - 0,97	
Eliminación de restos placentarios	Entierra, basura, quema	103(15)	14,56			0,03
	Consume mismo animal / otros animales	164(12)	7,32	-	-	
	Deja en el lugar	169(10)	5,92			
Nacimiento de terneros débiles	Si	45(9)	20	3,24	1,44 - 7,28	0,0034
	No	391(28)	7,16	0,31	0,14 - 0,69	
Sistema de reproducción	MN (toro propio/prestado)	333(20)	6			0,0001
	IA	78(16)	20,51	-	-	
	MN / IA	25(1)	4			
Asistencia veterinaria	Si	140(10)	7,14	1,3	0,62 - 2,74	0,48
	No	296(27)	9,12	0,77	0,37 - 1,61	
Área de parición	Corrales	13(0)	7,69			0,26
	Potrero	423(37)	8,74	-	-	
Fuentes de agua	Acequia, río, pozo	398(37)	9,3			0,14
	Agua potable	27(0)	0	-	-	
	AP, río, acequias, pozo	11(0)	0			
Animales de reemplazo	Propios de la finca	352(25)	7,1			0,18
	PR y fincas cercanas	60(9)	15			
	Fuera de provincia	6(1)	16,67	-	-	
	PR y fuera de provincia	18(2)	11,11			
Raza	Holstein	321(24)	7,48			0,5
	Mestiza	69(7)	10,14	-	-	
	Brown Swiss	20(2)	10			
	Jersey	26(4)	15,38			
Retención placentaria	Si	74(8)	10,81	1,39	0,62 - 3,12	0,43
	No	362(29)	8,01	0,72	0,32 - 1,61	

CAN= caninos; OVI= ovinos; POR= porcinos; EQUI= equinos; MN= monta natural; IA= Inseminación artificial; AP= agua potable; PR= propios de la finca.

Olsen y Stoffregen (2005) han comprobado que, el porcentaje de reactores en rebaños infectados es menor en los animales vacunados en comparación con animales no vacunados. Según sus datos, al usar dosis completa de la cepa 19 en terneros y al evaluar la protección en bovinos de hasta 9 años de edad estimaron que aproximadamente 65-75% de todos los animales vacunados estaban completamente protegidos durante su vida útil productiva. Sin duda, la alta prevalencia de brucelosis detectada en la zona está relacionada, además, con la ausencia de vacunación.

El sistema de reproducción también puede influir en la infección por *Brucella spp.* sobre todo a través del contacto sexual con rebaños vecinos o mediante el intercambio de toros provenientes de granjas infectadas (Nardi y col., 2017). La raza y las fuentes de agua no demostraron en este estudio ser factores que predisponen a la infección. Aunque otros factores de manejo no considerados pudieran influir, nuestros hallazgos concuerdan con la epidemiología general de la brucelosis bovina observadas en otras partes del mundo (Franc, Häslér y Arenas-Gamboa, 2018; Hull y Schumaker, 2018), entendiéndose que la alta prevalencia de esta enfermedad representa un importante problema de salud pública y animal en Ecuador.

## 6 Conclusiones

Este estudio proporciona evidencia serológica de la presencia de brucelosis en hatos lecheros con diferentes niveles de seropositividad en la provincia del Azuay, con una prevalencia elevada (8,5%), asociada a factores de riesgo involucrados en la patogénesis de la enfermedad y responsables de su propagación. La prueba ELISA-I en leche es una herramienta diagnóstica útil para identificar ganaderías positivas a brucelosis con altísima especificidad, reduciendo el tiempo de muestreo y costo, y pudiendo analizar eficazmente un número mayor de fincas a la vez. Es necesario realizar serovigilancia en las ganaderías a fin de comprender la distribución espacial de la enfermedad en el país, previo a implementar programas de control y sensibilizar a la población sobre la transmisión zoonótica de la brucelosis.

## Aprobación ética

Todos los procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo con la práctica experimental y los estándares internacionales para el bienestar animal.

## Agradecimientos

Este estudio fue financiado gracias a la XVIII convocatoria de proyectos de investigación, realizado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca, Ecuador.

## Referencias

- Agrocalidad (2019). *Programa de Erradicación de Fiebre Aftosa, I Fase*. Inf. téc. Jefatura de Sanidad Agropecuaria Azuay.
- Akinseye, V. y col. (2016). «Sero-epidemiological survey and risk factors associated with bovine brucellosis among slaughtered cattle in Nigeria». En: *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 83.1, 1-7. Online: <https://bit.ly/3LQAZG2>.
- Aruho, R. y col. (2021). «A serological survey of brucellosis in wildlife in four major National Parks of Uganda». En: *BMC Veterinary Research* 17.1, 1-10. Online: <https://bit.ly/40bOWTr>.
- Asgedom, H., D. Damena y R. Duguma (2016). «Seroprevalence of bovine brucellosis and associated risk factors in and around Alage district, Ethiopia». En: *Springerplus* 5, 1-8. Online: <https://bit.ly/3FOELvP>.
- Assenga, J. y col. (2015). «Epidemiology of *Brucella* infection in the human, livestock and wildlife interface in the Katavi-Rukwa ecosystem, Tanzania». En: *BMC veterinary research* 11, 1-11. Online: <https://bit.ly/3nlZRLu>.
- Awah-Ndukum, J. y col. (2018). «Seroprevalence and Associated Risk Factors of Brucellosis among Indigenous Cattle in the Adamawa and North Regions of Cameroon». En: *Veterinary Medicine International*.
- Aznar, M. y col. (2015). «Prevalence and spatial distribution of bovine brucellosis in San Luis and La Pampa, Argentina». En: *BMC Veterinary Research* 11.1, 1-7. Online: <https://bit.ly/40bRa5f>.

- Baruch, J. y col. (2020). «Analytic Sensitivity of an ELISA Test on Pooled Sera Samples for Detection of Bovine Brucellosis in Eradication Stages in Uruguay». En: *Frontiers in Veterinary Science* 7, 178. Online: <https://bit.ly/3FIQpIM>.
- Berhe, G., K. Belihu e Y. Asfaw (2007). «Seroepidemiological investigation of bovine brucellosis in the extensive cattle production system of Tigray region of Ethiopia». En: *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine* 5.2, 65. Online: <https://bit.ly/40cJyzq>.
- Bonfini, B. y col. (2018). «Cross-reactivity in serological tests for brucellosis: a comparison of immune response of *Escherichia coli* O157: H7 and *Yersinia enterocolitica* O: 9 vs *Brucella* spp». En: *Vet Ital* 54.2, 107-114. Online: <https://bit.ly/3G5RKcK>.
- Carbonero, A. y col. (2018). «Seroprevalence and risk factors associated with *Brucella* seropositivity in dairy and mixed cattle herds from Ecuador». En: *Tropical animal health and production* 50, 197-203. Online: <https://bit.ly/40vkZ0C>.
- Cárdenas, C. y M. Murillo (2018). «Calidad Bacteriológica de la leche cruda en ganaderías de la provincia del Azuay». Tesis de mtría. Universidad de Cuenca.
- Cárdenas, L., O. Melo y J. Casal (2018). «Evolution of bovine brucellosis in Colombia over a 7-year period (2006-2012)». En: *Tropical animal health and production* 50, 19-27. Online: <https://bit.ly/3G42KXT>.
- Cárdenas, L. y col. (2019). «Risk factors for new bovine brucellosis infections in Colombian herds». En: *BMC Veterinary Research* 15, 1-8. Online: <https://bit.ly/3Ky3QOd>.
- Craighead, L. y col. (2018). «Brucellosis in West and Central Africa: A review of the current situation in a changing landscape of dairy cattle systems». En: *Acta tropica* 179, 96-108. Online: <https://bit.ly/40F6RC1>.
- Dal, T. y col. (2019). «Comparison of multiplex real-time polymerase chain reaction with serological tests and culture for diagnosing human brucellosis». En: *Journal of Infection and Public Health* 12.3, 337-342. Online: <https://bit.ly/3UcbvFt>.
- De Blas, I, I Ruiz-Zarzuela y A Vallejo (2006). «WinEpi: Working in epidemiology. An online epidemiological tool». En: *ISVEE 11: Proceedings of the 11th Symposium of the International Society for Veterinary Epidemiology and Economics*.
- Di Rienzo, J.A. y col. (2020). *InfoStat versión 2020*. Inf. téc. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Online: <http://www.infostat.com.ar>.
- Dorneles, E., N. Sriranganathan y A. Lage (2015). «Recent advances in *Brucella abortus* vaccines». En: *Veterinary research* 46.1, 1-10. Online: <https://bit.ly/3U6W6GI>.
- Ducrotoy, M. y col. (2017). «Brucellosis in Sub-Saharan Africa: Current challenges for management, diagnosis and control». En: *Acta tropica* 165, 179-193. Online: <https://bit.ly/3MhYWGx>.
- Fero, E. y col. (2020). «The seroprevalence of brucellosis and molecular characterization of *Brucella* species circulating in the beef cattle herds in Albania». En: *PloS one* 15.3, e0229741. Online: <https://bit.ly/40IYntH>.
- Franc K.and Krecek, R., B. Häsler y A. Arenas-Gamboa (2018). «Brucellosis remains a neglected disease in the developing world: a call for interdisciplinary action». En: *BMC public health* 18.1, 1-9. Online: <https://bit.ly/40NZ19y>.
- Godfroid, J. y col. (2013). «Brucellosis in terrestrial wildlife». En: *Revue Scientifique et Technique. Office International des Epizooties* 32.1, 27-42. Online: <https://bit.ly/3UbHCoC>.
- Hull, N. y B. Schumaker (2018). «Comparisons of brucellosis between human and veterinary medicine». En: *Infection ecology & epidemiology* 8.1, 1500846. Online: <https://bit.ly/3Zlbytu>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2019). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC-2019*.
- John, K. y col. (2010). «Quantifying risk factors for human brucellosis in rural northern Tanzania». En: *PloS one* 5.4, e9968. Online: <https://bit.ly/3UdPwxU>.
- Kanouté, Y. y col. (2017). «Epidemiology of brucellosis, Q fever and Rift Valley fever at the human and livestock interface in northern Côte d'Ivoire». En: *Acta tropica* 165, 66-75. Online: <https://bit.ly/435rxVy>.
- Kroese, M. y col. (2018). «*Brucella pinnipedialis* in grey seals (*Halichoerus grypus*) and harbor seals (*Phoca vitulina*) in the Netherlands». En: *Journal of wildlife diseases* 54.3, 439-449. Online: <https://bit.ly/411IDTr>.
- Kumar, A. y col. (2016). «Seroprevalence and risk factors associated with bovine brucellosis in western Uttar Pradesh, India». En: *Indian jour-*

- nal of animal sciences 86.2, 131-135. Online: <https://bit.ly/3zxcMx9>.
- Leclercq, S., A. Cloeckert y M. Zygmunt (2020). «Taxonomic organization of the family Brucellaceae based on a phylogenomic approach». En: *Frontiers in Microbiology* 10, 3083. Online: <https://bit.ly/3GiJaXY>.
- Ledwaba, M. y col. (2019). «Molecular characterization of Brucella species from Zimbabwe». En: *PLOS Neglected Tropical Diseases* 13.5, e0007311. Online: <https://bit.ly/3MsDoXE>.
- Mainato, S. y A. Vallecillo (2017). «Seroprevalencia de la brucelosis bovina en la provincia del Cañar, Ecuador». En: *Maskana* 8, 25-28. Online: <https://bit.ly/3KdWuye>.
- Matope, G. y col. (2010). «Herd-level factors for Brucella seropositivity in cattle reared in smallholder dairy farms of Zimbabwe». En: *Preventive Veterinary Medicine* 94.3-4, 213-221. Online: <https://bit.ly/3KyFrIy>.
- McDermott, J. y S. Arimi (2002). «Brucellosis in sub-Saharan Africa: epidemiology, control and impact». En: *Veterinary microbiology* 90.1-4, 111-134. Online: <https://bit.ly/3zFy63q>.
- Mugizi D. and Boqvist, S. y col. (2015). «Prevalence of and factors associated with Brucella seropositivity in cattle in urban and peri-urban Gulu and Soroti towns of Uganda». En: *Journal of Veterinary Medical Science* 77.5, 557-564. Online: <https://bit.ly/40LTbVU>.
- Musallam, I. y col. (2019). «Brucellosis in dairy herds: A public health concern in the milk supply chains of West and Central Africa». En: *Acta tropica* 197, 105042. Online: <https://bit.ly/3KCjfNN>.
- Nardi, G. y col. (2017). «Performance of microbiological, serological, molecular, and modified seminal plasma methods in the diagnosis of Brucella abortus in semen and serum of bovine bulls». En: *Biologicals* 48, 6-9. Online: <https://bit.ly/40IGM5i>.
- Nielsen, K. y col. (2004). «Serological relationship between cattle exposed to Brucella abortus, Yersinia enterocolitica O: 9 and Escherichia coli O157: H7». En: *Veterinary microbiology* 100.1-2, 25-30. Online: <https://bit.ly/418YWwR>.
- OIE (2018). *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. World Organization for Animal Health.
- Ogugua, A. y col. (2018). «Prevalence and risk factors associated with bovine brucellosis in herds under extensive production system in south-western Nigeria». En: *Tropical animal health and production* 50, 1573-1582. Online: <https://bit.ly/416zU1a>.
- Olsen, S. y W. Stoffregen (2005). «Essential role of vaccines in brucellosis control and eradication programs for livestock». En: *Expert review of vaccines* 4.6, 915-928. Online: <https://bit.ly/3MjqATs>.
- Ortega, V. y col. (2017). «Caracterización productiva de las ganaderías en los cantones occidentales de la provincia del Azuay». En: *Maskana* 8, 145-147. Online: <https://bit.ly/4182Gic>.
- Pascual, D. y col. (2018). «Alternative strategies for vaccination to brucellosis». En: *Microbes and infection* 20.9-10, 599-605. Online: <https://bit.ly/3Ke4XS1>.
- Poulsen, K. y col. (2014). «Brucellosis in dairy cattle and goats in northern Ecuador». En: *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 90.4, 712. Online: <https://bit.ly/414gha4>.
- Rodríguez-Hidalgo, R. y col. (2015). «Circulating strains of Brucella abortus in cattle in Santo Domingo de los Tsáchilas Province–Ecuador». En: *Frontiers in Public Health* 3, 45. Online: <https://bit.ly/3m8noQb>.
- Román-Cárdenas, F. y J. Luna-Herrera (2017). «Revisión actualizada de la epidemiología de Brucellosis (Brucella abortus, Brucella mellitensis, Brucella suis, Brucella canis) en el Ecuador y el mundo». En: *Centro de Biotecnología* 6.1, 82-93. Online: <https://bit.ly/3ZGYWTy>.
- Ron-Román, J. y col. (2014). «Human brucellosis in northwest Ecuador: typifying Brucella spp., seroprevalence, and associated risk factors». En: *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 14.2, 124-133. Online: <https://bit.ly/3KjgKyf>.
- Salguero, A. (2011). «Determinación De La Prevalencia Serológica De Brucelosis En Bovinos De Las Provincias De Carchi, Esmeraldas E Imbabura Y Análisis De Factores De Riesgo». Tesis de maestría. Universidad Central del Ecuador.
- Sanchez, J. y col. (2020). «Seroprevalence of abortus diseases that commit the bovine reproductive efficiency in two dairy areas of chiapas». En: *ESPACIO I+D, INOVACIÓN MÁS DESARROLLO* 10.
- Suárez-Esquivel, M. y col. (2017). «Brucella neotomae infection in humans, Costa Rica». En: *Emerging Infectious Diseases* 23.6, 997-1000. Online: <https://bit.ly/3UiJITS>.

- Sussex, West (2016). *Veterinary Microbiology*. World Organization for Animal Health.
- Vhoko, K. y col. (2018). «Estimating the prevalence of Brucellosis in cattle in Zimbabwe from samples submitted to the Central Veterinary Laboratory between 2010 and 2014». En: *Vet Ital* 54.1, 21-27. Online:<https://n9.cl/q8pak>.
- Viveros, J. (2019). «Prevalencia y factores de riesgo de la brucelosis bovina en ganaderías de Imbabura que proveen leche a Floralp S.A.» Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Zambrano, M., M. Pérez y X. Rodríguez (2016). «Brucelosis Bovina en la Provincia Manabí, Ecuador: Estudio de los Factores de Riesgo». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27.3, 607-617. Online:<https://n9.cl/3wzbe>.
- Zheng, R. y col. (2018). «A systematic review and meta-analysis of epidemiology and clinical manifestations of human brucellosis in China». En: *BioMed research international* 2018. Online:<https://bit.ly/3KGWeJG>.

## 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



*"El último abrazo del sol"*  
*Eulogio Washington Luna Lozano (2023)*

**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](mailto:srector@ups.edu.ec)

Web: [www.ups.edu.ec](http://www.ups.edu.ec)