

## 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 48 años de experiencia en Ecuador.

La Granja tiene presencia en 96 bases de datos internacionales, plataformas de evaluación de revistas, directorios selectivos, portales especializados, catálogos hemerográficos, como: SCOPUS, 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 Ithenticate 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 contar con el primer veredicto, es de 4 a 8 semanas. Una vez consignados, los revisores, a su vez, también deben cumplir unas normativas de revisores y el código ético de revisores.

## Antiplagio

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

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



37  
Nº. 1

# LA GRANJA 37

REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Núm. (1)

LA GRANJA

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

Quiralidad en las ciencias naturales: un acercamiento a distintas escalas

Actividad antiinflamatoria in-vivo de aceites esenciales de *Cannabis Sativa L.* y *Baccharis latifolia*

Cebos para *Anastrepha fraterculus* con proteína hidrolizada pretratados con Radiación Gamma

Restauración geomorfológica sobre depósitos de relaves en la concesión minera de Río Blanco, Ecuador

Las grandes corporaciones agroindustriales y la agricultura contractual: Aproximaciones teóricas

**La Granja Revista de Ciencias de la Vida • Volumen 37 • Número 1 • marzo 2023 - febrero 2023.** Revista semestral de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador. Publicación internacional bilingüe dedicada a estudios relacionados con ciencias ambientales, de la tierra, agropecuarias, biológicas, y sus líneas transversales de conocimiento. Las ideas y opiniones expresadas en las colaboraciones son de exclusiva responsabilidad de los autores y autoras.

## EQUIPO EDITORIAL

### Consejo Editorial (Editorial Board)

#### Editores en Jefe (Editors-in-Chief)

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

#### Editor Asociado (Associate Editor)

Dr. Sabino Armenise, Universidad Rey Juan Carlos, España  
Dr. Tony Viloria, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador  
Dr. Ernesto Delgado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

#### Coeditor Internacional en inglés

(International coeditor in English)  
Dr. Lorenzo Guerrini, Università di Firenze, Italia

#### Coeditor Internacional en portugués

(International Coeditor in Portuguese)  
Dra. Rocio Elizabeth Contero Callay, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

### Consejo 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  
Dr. 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 Erasó, 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  
Prof. 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 Camajuani, 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 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  
MSc. 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 EDITOR REVISTA CÁTEDRA UNESCO  
MSc. David Armendáriz González EDITOR WEB  
Dr. Angel Torres-Toukoumidis EDITOR GENERAL

### Consejo Técnico (Technical Board)

Lcda. Soledad Aguilar (Técnica Marcalyc)  
Lcdo. Christian Arpi (Coordinador Community Managers)  
Fís. Luis Gualco (Maquetador)  
Ing. Mariana Luna (Asistente editorial)  
MSc. Danny Vargas (Asistente editorial)

### 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 N24-22 y Wilson  
Bloque A, UPS Quito, Ecuador  
Casilla 17-12-719  
Teléfonos: (593-2) 3962800 ext. 2638  
Correo electrónico: editorial@abyayala.org.ec

### Fotografía Portada (Cover photo)

“Colores después de la tormenta”  
Autor: Luis Felipe Gualco.

# LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Volumen 37, Número 1, marzo 2023 – agosto 2023

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 | UPS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR

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

### BASES DE DATOS INTERNACIONALES SELECTIVAS



### PLATAFORMAS DE EVALUACIÓN DE REVISTAS



### DIRECTORIOS SELECTIVOS



### HEMEROTECAS SELECTIVAS



### BUSCADORES DE LITERATURA CIENTÍFICA OPEN ACCESS



POLÍTICAS DE COPYRIGHT DE LAS EDITORIALES Y AUTOARCHIVO



OTRAS BASES DE DATOS BIBLIOGRÁFICAS



CATÁLOGO DE BIBLIOTECAS INTERNACIONALES UNIVERSITARIAS





Universidad  
de Navarra

MUHLENBERG  
COLLEGE

FRANKLIN & MARSHALL  
COLLEGE



TYNDALE  
UNIVERSITY COLLEGE & SEMINARY



THE UNIVERSITY of NORTH CAROLINA  
GREENSBORO



UNC CHARLOTTE

## LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

### Consejo 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> .....	6
<b>Artículos Científicos</b>	
CIENCIAS QUÍMICAS	
<b>Quiralidad en las ciencias naturales: un acercamiento a distintas escalas</b> .....	8
Fernanda C. Franco-Rodríguez, Humberto González-Morales, Alejandro Heredia-Barbero, Lilia Montoya y Yasmin Reyes-Medina.	
PRODUCTOS NATURALES	
<b>Actividad antiinflamatoria <i>in-vivo</i> de una formulación tópica con principios activos de aceites esenciales de <i>Cannabis sativa</i> L. (cañamo) y <i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz &amp; Pav) per. (chilca)</b> .....	23
Paco Noriega, Tatiana Idrobo, Mishell Pintag, Diego Vinueza y Christian Larenas.	
BIOTECNOLOGÍA	
<b>Capacidad hospedante de tres especies de Solanáceas de la Sección Lasiocarpa al nematodo agallador de la raíz <i>Meloidogyne incognita</i></b> .....	34
Patricio Castro-Quezada, Luis Pacheco-Atariguana y Lourdes Díaz-Granda.	
DESARROLLO SOSTENIBLE	
<b>Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al Cambio Climático Global: el caso de la Comuna Santa Clara de San Millán, DM Quito.</b>	44
Daniel Pacheco-Peña, Luis Lema-Quinga, y Patricio Yáñez-Moreta.	
<b>Las grandes corporaciones agroindustriales y la agricultura contractual: Aproximaciones teóricas</b> .....	58
Christian Rafael Orozco Suárez.	
CIENCIAS VETERINARIAS	
<b>Caracterización de Neumonías en alpacas (<i>Vicugna pacos</i>) en comunidades altoandinas de Huancavelica, Perú</b> .....	75
Victor Carhuapoma Delacruz, Nicasio Valencia Mamani, Rufino Paucar-Chanca, William Salas Contreras y Siever Morales-Cauti.	
CIENCIAS AGRONÓMICAS	
<b>Respuesta del cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) a la aplicación de abonos orgánicos en el municipio Pamplona, Norte de Santander</b> .....	86
Ana Francisca González-Pedraza, Armando José Méndez Ortega y Víctor Rafael Quesada Vergara.	
<b>Cebos para <i>Anastrepha fraterculus</i> con proteína hidrolizada de subproductos agroindustriales pretratados con radiación gamma</b> .....	102
Marco Vinicio Sinche Serra, Gonzalo Rafael Jácome Camacho, Juan Patricio Castillo Domínguez, María Belén Constante Pila y Cristhian Patricio Castro Valencia.	
<b>Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo convencional del arroz (<i>Oriza sativa</i> L.) bajo riego</b> .....	117
Daniel Trigos-Becerril, Nelino Florida-Rofner y Alex Rengifo-Rojas.	
CIENCIAS GEOGRÁFICAS	
<b>Restauración geomorfológica sobre depósitos de relaves: Caso de estudio aplicado a la concesión minera Río Blanco, Ecuador</b> .....	130
Raúl Andrés Moreno Farfán.	
<b>Normas para autores</b> .....	142

Estimadas y estimados lectores:

Alguna vez, el sabio Rumi dijo que ser una lámpara o una escalera para ayudar a otros a ser vistos, era el objetivo del alma. Siguiendo este objetivo, en este número tenemos el agrado de presentar novedosos artículos de nuestra selección que seguramente disfrutarán.

El primer artículo viene desde México en donde Yasmín Reyes y su equipo de investigadores del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, del Centro Universitario de la Costa y de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, nos presentan una fascinante revisión bibliográfica respecto a la Quiralidad, y sus características dentro de los sistemas vivos.

A continuación, Paco Noriega y su equipo de investigadores de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo nos presentan su estudio sobre la actividad antiinflamatoria sobre organismos vivos del Cannabis (*Cannabis sativa*) y de la Chilca (*Baccharis latifolia*), investigación que seguro tendrá un interesante potencial farmacéutico.

Por otro lado, sabemos que la actividad minera es un tema delicado y de actualidad, con riesgos asociados en cada fase, como una estrategia para minimizarlos, Raúl Andrés Moreno Farfán, desde la Universidad Complutense de Madrid, nos muestra un estudio de restauración geomorfológica sobre espacios degradados, que pueda minimizar el impacto ambiental y reducir posibles conflictos sociales asociados a esta actividad.

En el marco de las ciencias agropecuarias se plantean propuestas novedosas para el tratamiento de plagas. En este caso, Marco Vinicio Sinche Serra y su equipo del Departamento de Ciencias Nu-

cleares de la Escuela Politécnica Nacional muestran propuestas económicas de cebos irradiados con radiación gamma, que puedan controlar la población de la mosca de la fruta en el Ecuador. Asimismo, desde la Universidad de Cuenca del Ecuador, Patricio Castro Quezada y su equipo, nos muestran cómo diferentes tipos de Solanáceas toleran la presencia del nematodo del nudo de la raíz *Meloidogyne incognita*, para plantear estrategias de manejo de estas plagas en función del tipo de cultivo.

Asimismo, Ana Francisca González Pedraza y su equipo de investigadores de la Universidad de Pamplona nos muestra el efecto del uso de diferentes fertilizantes orgánicos sobre cultivos de arveja, uno de los tantos cultivos que soportan una gran cantidad de agroquímicos. En este contexto, Daniel Trigos-Becerril y su equipo de investigadores de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Perú nos presentan su investigación sobre los efectos de estos compuestos en diferentes suelos de cultivos de arroz.

Por otro lado, dentro del área del desarrollo sostenible, Patricio Pacheco Peña y su equipo de investigadores de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Universidad Internacional del Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, nos muestran ideas para la cogestión entre actores comunitarios y públicos del valioso recurso del agua, como una herramienta de adaptación a escenarios contemporáneos de Cambio Climático Global. Dentro de la misma temática, Christian Orozco, investigador de la Universidad Central, analiza la agricultura contractual y sus interacciones con las grandes corporaciones desde diferentes corrientes de pensamiento como la francesa, la anglosajona y la latinoamericana.



Finalmente, desde las ciencias veterinarias, Víctor Carhuapoma y su equipo de investigadores de la Universidad Nacional de Huancavelica y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos del Perú nos muestran la caracterización de bacterias que causan neumonía en alpacas, para ello utilizaron

cuerpos post-mortem de neonatos provenientes de comunidades altoandinas de Huancavelica.

Estamos seguros de que estos artículos serán de interés e impacto en sus investigaciones.

Cordialmente,






Dr. Ignacio de los Ríos Carmedano  
Universidad Politécnica de Madrid  
Editor en jefe

Dra. Sheila Serrano Vincenti  
Universidad Politécnica Salesiana  
Editora en jefe



# QUIRALIDAD EN LAS CIENCIAS NATURALES: UN ACERCAMIENTO A DISTINTAS ESCALAS

## CHIRALITY IN NATURAL SCIENCES: AN APPROACH AT DIFFERENT SCALES

Fernanda C. Franco-Rodríguez<sup>1</sup> , Humberto González-Morales<sup>2</sup> , Alejandro  
Heredia-Barbero<sup>1</sup> , Lilia Montoya<sup>3</sup>  y Yasmin Reyes-Medina\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Laboratorio de Evolución Química de Radiaciones y Radioquímica, Instituto de Ciencias Nucleares-Universidad Nacional Autónoma de México. Código Postal 04510, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Código Postal 48280, Puerto Vallarta, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Código Postal 62209, Cuernavaca, México.

\*Autor para correspondencia: [yasmin.reyes@correo.nucleares.unam.mx](mailto:yasmin.reyes@correo.nucleares.unam.mx)

Manuscrito recibido el 27 de julio de 2021. Aceptado, tras revisión, el 20 de octubre de 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022.  
Publicado el 1 de marzo de 2023.

### Resumen

Los términos derecha e izquierda son aplicables más allá de la cotidianidad humana y los seres vivos. Los dedos de la mano derecha tienen una disposición respecto al centro de la mano, que no es idéntica o superponible a aquella de la mano izquierda. Ambas variantes son versiones simétricas, pero no idénticas. El arreglo espacial puede observarse no solo en objetos, sino también en trayectorias. Por ejemplo, en las trayectorias del vuelo de los murciélagos. En el presente artículo se definen algunos ejemplos de la condición de quiralidad en distintos niveles de organización y se mencionan algunos de los recientes avances en el tema. Entender el origen de la asimetría quiral encontrada en partículas, moléculas, y macromoléculas, permite inferir preguntas vigentes como la evolución química, el origen de la vida, y aspectos relacionados con la evolución y el desarrollo de los seres vivos, entre otras.

**Palabras clave:** Quiralidad, simetría, enantiómeros, actividad óptica, biomoléculas.

### Abstract

The terms right and left are applicable beyond everyday life and living beings. The fingers on the right hand are arranged in relation to the center of the hand, which is not identical or superimposable to that of the left hand. Both variants are symmetrical versions, but not identical. The spatial arrangement can be observed not only in objects, but also in trajectories. For example, in the bats' flight trajectories. In this article some examples of the chirality condition at different organization levels are defined and some of the recent advances on the subject are mentioned. Understanding the origin of chiral asymmetry found in particles, molecules, and macromolecules, allows us to infer current

questions such as chemical evolution, the origin of life, and aspects related to evolution and the development of living beings, among others.

**Keywords:** Chirality, symmetry, enantiomers, optical activity, biomolecules.

---

Forma sugerida de citar: Franco-Rodríguez, F., González-Morales, H., Heredia-Barbero, A., Montoya, L. y Reyes-Medina, Y. (2023). Quiralidad en las ciencias naturales: un acercamiento a distintas escalas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 37(1):8-22. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.01>.

---

IDs Orcid:

Fernanda C. Franco-Rodríguez: <http://orcid.org/0000-0001-8367-0007>

Humberto González-Morales: <http://orcid.org/0000-0002-0066-809X>

Alejandro Heredia-Barbero: <http://orcid.org/0000-0002-3887-610X>

Lilia Montoya: <http://orcid.org/0000-0002-4195-9571>

Yasmin Reyes-Medina: <http://orcid.org/0000-0002-2211-475X>

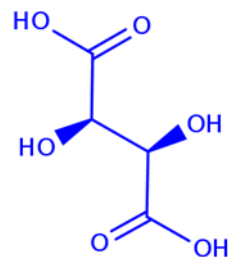
## 1 Introducción

La quiralidad es un tema poco explorado y de gran interés a distintos niveles. Por ello, se ideó un contenido que adecuara, condensara y reflejara correctamente la información que la ciencia ha reportado. Los temas tratados a continuación son poco conocidos en distintas comunidades, y se cree que pueda servir para adentrarse en este tema tan fascinante. La relevancia de la quiralidad radica principalmente en que se trata de un sistema complejo y dinámico tanto en la ciencia como en el arte. Esta visión permitió analizar el fenómeno a distintas escalas mediante la trayectoria de otros trabajos, conformando así un estudio histórico y actual. Aparentemente, a grosso modo, la información existente sobre la quiralidad a distintos niveles es escasa y que este tipo de análisis es importante para tener una mejor comprensión sobre el tema.

## 2 Antecedentes Históricos

En la historia de la quiralidad se debe mencionar que en 1815 Jean Baptiste Biot puso luz polarizada en soluciones de distintos compuestos orgánicos, notando su desvío al estilo de las manos, es decir, un desvío hacia la izquierda y un desvío hacia la derecha. Él le llamó "actividad óptica". Luego, los experimentos de Luis Pasteur en 1848 con monocristales de ácido tartárico (Figura 1) fueron determinantes porque se tuvo en la mano un conjunto de cristales quirales (Suh y col., 1997). En los años 50 se hallaron las fuerzas débiles que son una de las fuerzas fundamentales de nuestro universo. Este descubrimiento trajo consigo una respuesta que es a la vez pregunta: esta fuerza fundamental también presenta asimetría, favoreciendo la interacción con partículas izquierdas (StackExchange, 2020). El posible origen de este comportamiento es que las partículas, moléculas y todo en nuestra realidad se comportan como hélices (que son casi sinónimo de quiralidad) al ordenarse en el espacio de esta forma. Digamos, una hélice es la representación más fiable de la quiralidad. Podríamos decir con otras palabras que esto no se sabe. Pero la posible interacción de los campos magnéticos a nivel atómico puede ser la respuesta. A continuación, se muestra una molécula de ácido tartárico (Figura 1), un compuesto químico utilizado por Luis Pasteur y su esposa Marie Laurent donde se vio por primera vez la simetría

quiral. Fue este el comienzo de la caracterización estructural especular en la química.



**Figura 1.** Versión *L* con número CAS 87-69-4 y estructura condensada  $[CH(OH)COOH]_2$  del ácido tartárico ( $C_4H_6O_6$  y peso molecular 150.088). La versión *D* tiene un número CAS 147-71-7 y una estructura condensada  $HOC(O)CH(OH)CH(OH)C(O)OH$ .

## 3 En la Física

La física indica que la izquierda y derecha, por ejemplo, en la entropía de la segunda ley de la termodinámica, son casi iguales en sus propiedades, pero los rayos cósmicos ofrecen datos que pueden contradecir la paridad entre configuraciones izquierdas y derechas en el universo. Los rayos cósmicos se cree que se originan en el Sol, en las estrellas o en agujeros negros (Kohler, 2020) y pueden ionizar a las moléculas orgánicas, causando reactividad química no siempre útil para los sistemas vivos. Cuando una partícula está cargada y tiene giro sobre su propio eje y alrededor de un núcleo, produce un campo magnético. Entonces, el campo magnético es un comportamiento debido al movimiento de una partícula cargada. Si este movimiento se detiene, el campo magnético también se desvanece. Las ecuaciones de Maxwell juntan los conceptos de electricidad y magnetismo como las dos caras de una misma moneda (Beléndez, 2008). ¿Por qué hablar de radiación cósmica?, porque cuando esta radiación interactúa con algunos átomos, forma muones y electrones que interactúan preferentemente con moléculas de cierta quiralidad, lo que favorece su síntesis. De forma parcial, esto explicaría la pérdida de la paridad en estas moléculas, aunque no explique por qué los sistemas vivos no respetamos molecularmente esta paridad (Figura 2).

La segunda ley de la termodinámica tampoco respeta la simetría, porque indica que los sistemas

tienden a estabilizarse o condicionarse a las características del medio que, a final de cuentas, son las condiciones del universo donde toda la realidad existe. El fin último de todo es el desorden y la entrega a las condiciones de nuestro universo. Las fuerzas débiles también tienden a favorecer la asimetría. De forma histórica, la polarización de la luz ha sido identificada desde hace siglos en muchas culturas. Este fenómeno se llama “polarización”, porque la luz al ser pasada por un monocristal de espato de Islandia, que es calcita, un carbonato de calcio, genera dos puntos o “polos” (Craig y Thirunamachandran, 1999). Los trilobites tenían ojos compuestos de este carbonato de cal-

cio (Farace y Aznar, 2011). Un acoplamiento preferencial a uno de los polos por parte de un átomo o una parte de la molécula sería la respuesta (Craig y Thirunamachandran, 1999). Esta respuesta sobre el acoplamiento de las partículas fundamentales con radiaciones y la posible selección molecular en la misma evolución molecular del universo podrían traer consigo respuestas, otros acoplamientos (Torres-Silva, 2008) y la selección molecular asimétrica en el fenómeno más complejo que ha visto nuestro universo: la vida. El experimento de Wu donde se viola la paridad por las fuerzas débiles (Wu y col., 1957) es el equivalente al que pertenecemos nosotros como máquinas complejas quirales.



**Figura 2.** Colonia del murciélago *Nyctinomops laticaudatus* en vuelo. Los murciélagos salen de las cuevas con un vuelo helicoidal y en sentido contrario a las manecillas del reloj, resultado de una “convención social” (Gardner, 1985). (Crédito de la imagen: M. Zozaya Naturalista, bajo permiso CC BY NC).

## 4 En los sistemas biológicos

### 4.1 Microorganismos

Desde hace aproximadamente 3000 millones de años, los procariontes han vivido en biopelículas bacterianas (Nazar, 2007). Esta capacidad de formar colectivos cooperativos sirve a una importante estrategia de supervivencia cuando las bacterias están expuestas a condiciones variables y adversas (Fin-

kelshtein y col., 2017); así mismo, presentan grandes ventajas de protección frente a perturbaciones medioambientales, por ejemplo, la humedad, el pH, y la temperatura (Nazar, 2007), y una resistencia de 1000 a 1500 veces mayor a antibióticos (Gohil y col., 2018).

Cuando se forman biofilms, las bacterias pueden utilizar señales químicas coordinadas para comunicarse entre ellas; esta interrelación funcio-

na mediante mensajeros: pequeñas moléculas que permiten a las bacterias percibir la población existente y responder ante diferentes condiciones ambientales cambiantes. A este mecanismo de comunicación se le llama "quórum sensing". Las bacterias Gram negativas emplean moléculas acil-homoserina-lactonas, mientras que en las Gram positivas prevalecen los oligopéptidos modificados (Nazar, 2007).

La formación de colonias elaboradas y enrevesadas con geometrías quirales y/o fractales puede verse en diferentes especies, tales como *Bacillus subtilis*, que utiliza flagelos (Ingham y Jacob, 2008) y *Paenibacillus vortex* que, además, posee motilidad social avanzada empleando señalización quimiotáctica. *P. vortex* forma enjambres con miles de bacterias con grupos líderes llamadas vórtices que giran cooperativamente, así, el vórtice se expande en tamaño y se mueve hacia afuera, dejando un rastro y originando a colonias enrevesadas con formas quirales o fractales (Finkelshtein y col., 2017), aunque la base biológica de la formación no está bien comprendida actualmente (Ingham y Jacob, 2008).

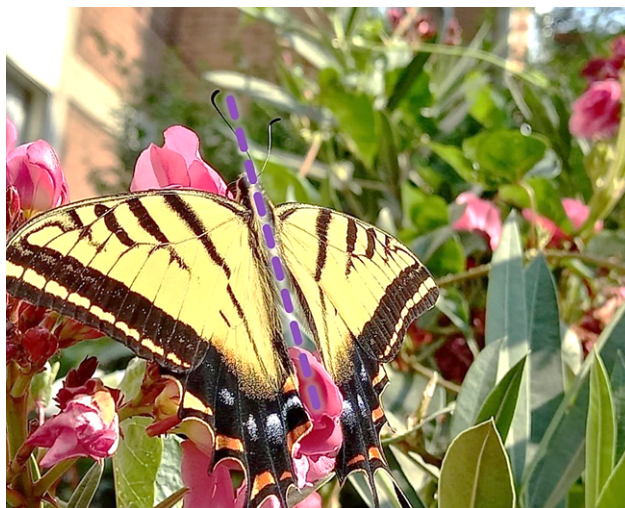
## 4.2 Macroorganismos

La expresión de la quiralidad en los sistemas biológicos resulta ser una cualidad inherente a todos ellos. La quiralidad puede manifestarse no solo en sistemas microscópicos (ya que la mayoría de las moléculas de los seres vivos son quirales), sino también macroscópicamente, tales ejemplos serían los casos de las alas de las mariposas (Figura 3) o las conchas helicoidales de distintos moluscos (Nieto-Ortega, 2014). Esto mismo sucede en el caso de plantas trepadoras que se enrollan en forma de hélices sobre distintos tipos de plantas, como árboles o arbustos, así como en diversos materiales como estacas; la forma de hacerlo es dextrógiro (hacia la derecha), como en el caso del dondiego de día, aunque también existen aquellas que lo hacen mediante un giro levógiro (hacia la izquierda), como es el caso de la madreSelva (Pérez Benítez y Arroyo Carmona, 2018). Citando el ejemplo de los humanos, que son estructuralmente quirales, podemos encontrar el hígado a la derecha del centro y el corazón hacia la izquierda, mostrando así quiralidad funcional (Hegstrom y Kondepudi, 1990).

Aunque no hay ninguna razón para decir que una imagen especular es mejor que la otra, en la naturaleza se presenta cierta predominancia por un tipo de quiralidad sobre otro (Hegstrom y Kondepudi, 1990). Por ejemplo, la quiralidad funcional es la preferencia de un organismo por utilizar una de sus extremidades más que la otra, un ejemplo de esto sería que los humanos utilizan más una mano que la otra para realizar diversas actividades (Barrera-Calva, Pineda-Ledezma y Barrera-Mera, 2012).

Muchas especies utilizan el hemisferio derecho del cerebro para reaccionar de forma rápida ante condiciones novedosas, por otro lado, utilizan el hemisferio izquierdo para controlar respuestas que tienen otras alternativas como respuesta a ellas, categorizando así sus posibilidades donde de forma ordinaria las funciones hemisféricas tienen una participación de complementariedad funcional (Barrera-Calva, Pineda-Ledezma y Barrera-Mera, 2012). En los humanos, el hemisferio izquierdo se encarga de la vocalización comunicativa (incluyendo el movimiento de la lengua, la mandíbula, la lengua y los músculos labiales). Sin embargo, esto no es exclusivo de los humanos, también se ha visto que los grillos y las aves poseen esta propiedad quiral (Barrera-Calva, Pineda-Ledezma y Barrera-Mera, 2012).

En el caso típico de los Gasterópodos se puede observar un ejemplo clásico de quiralidad, esto se debe a la dirección en la que se enrollan: dextral (en sentido de las manecillas del reloj o diestro) y sinistral (zurdo) (Schilthuizen y Davison, 2005), también conocido como levógiro. Esta quiralidad es originada en el desarrollo temprano (Vargas y Zardoya, 2015). En la tercera división del desarrollo larvario, cuando el embrión pasa de cuatro a ocho células, los moluscos sufren una segmentación en espiral, es decir, los planos larvarios se orientan de manera oblicua respecto al eje polar del oocito. Cuando se definen los patrones de división temprana y el sentido en que se orienta, las asimetrías corporales consecuentes están determinadas, es decir, si la división ocurre en el sentido de las manecillas del reloj estaremos hablando de un organismo dextral, en contraparte, si el caso es antihorario entonces el organismo será levógiro o sinistral (Vargas y Zardoya, 2015).



**Figura 3.** Mariposa “Mariposa Cometa Xochiquetzal”; se señala el plano de simetría bilateral (Crédito de la imagen: N. Pacheco-Coronel Naturalista, bajo permiso CC BY NC). La quiralidad se presenta cuando existe uno o más elementos quirales, por ejemplo, un eje quiral, plano o centro.

En la anatomía interna, los órganos internos difieren en levógiros y dextrógiros, ya que dependiendo de cuál sea el caso los órganos internos se reducen del lado hacia donde se ocurre el giro (Vargas y Zardoya, 2015). En ciertas especies estas asimetrías corporales pueden impedir que exista cópula entre una misma especie, porque los genitales también se invierten respecto a individuos con la quiralidad opuesta (Schilthuizen y Davison, 2005). Por ello, los organismos que tienen una quiralidad opuesta a la mayoría de los que viven en una población tendrán problemas para encontrar pareja.

Entre organismos dominados por quiralidad dextrógira, los individuos levógiros parecen existir debido sólo al resultado de mutaciones, con frecuencias muy bajas (de uno de cada ciento a uno de cada mil), aunque esto puede variar con la especie, llegando inclusive a especies donde los individuos levógiros y dextrógiros muestran una proporción similar, como es el caso del caracol *Liguus poeyanus* (Hegstrom y Kondepudi, 1990).

Adicionalmente, se han descrito genes que se expresan exclusivamente de un lado del cuerpo y que determinan algunas de las asimetrías de los gasterópodos. En el ejemplo de un organismo dextrógira, el lado derecho del cuerpo del organismo expresaría genes dependientes de la quiralidad, su expresión se relacionaría con la formación de célu-

las productoras de concha, con un mayor ritmo en el lado derecho, o en el caso de los levógiros en el lado izquierdo. Si se anula la actuación asimétrica de estos genes se obtienen conchas completamente simétricas (Vargas y Zardoya, 2015). Cabe destacar que los genes que regulan el desarrollo de las asimetrías corporales (levógiro y dextrógiro) también actúan en otros deuterostomos y vertebrados, por ello, parecería posible que esta cascada de genes estuviera presente en un antepasado común de los moluscos y deuterostomos, siendo este el que estableciera tales asimetrías corporales (Vargas y Zardoya, 2015).

En las pocas especies que se ha caracterizado la quiralidad, esta está determinada por un solo locus genético con herencia retrasada, lo que significa que el factor de herencia que controla la orientación es materno (Schilthuizen y Davison, 2005).

## 5 Estructuras Celulares

### 5.1 Membrana

Las membranas biológicas se componen de una doble capa o bicapa de lípidos (generalmente fosfolípidos), estos últimos contienen cuatro secciones: dos cadenas de ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol y este a su vez a un fosfato; en el otro extremo del fosfato se pueden encontrar moléculas

las como colina, serina, inosina, etanolamina, entre otras (Figura 4b). La estructura de la membrana es una característica que sigue siendo trascendental para explicar la diversidad de los seres vivos. Los microbiólogos Otto Kandler y Mark Wheelis sustentaron en 1990 un sistema de clasificación de los seres vivos en tres dominios (Archaea, Bacteria y Eukarya), utilizando a la composición de la membrana como uno de los principales sustentos (Woese, Kandler y Wheelis, 1990). Aunque Woese ya había desarrollado el uso de secuencias para clasificar a los seres vivos, desde la década de los 70 hizo falta más contexto para convencer a la comunidad con su sistema de clasificación. En la descripción de 1990 se contemplan tres rasgos para diferenciar a los dominios: estructura celular (procarionte, eucarionte), tipo de unión ácido graso a glicerol (éter, éster) y tipo de rRNA (18S rRNA, 16S rRNA) (Woese, Kandler y Wheelis, 1990).

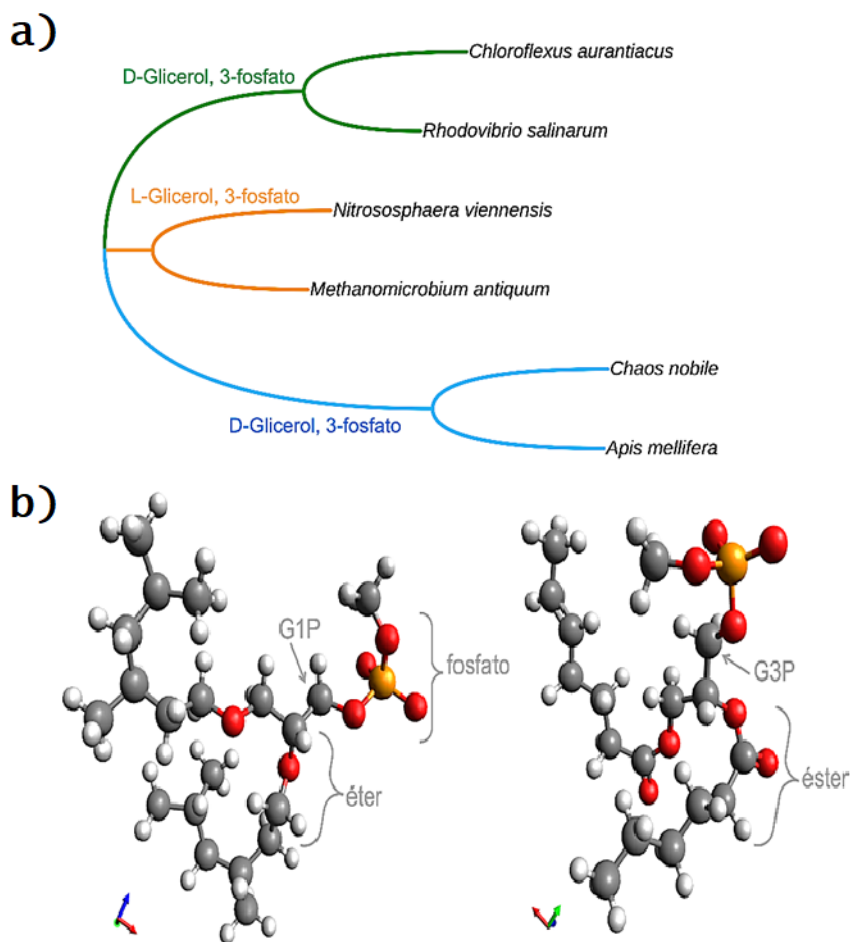
Hasta este punto la homoquiralidad no se aprecia en la membrana, pero de cerca se reconoce que el glicerol presenta dos configuraciones: glicerol-1-fosfato (G1P) en Archaea y glicerol-3-fosfato (G3P) en Bacteria y Eukarya, en donde G1P es enantiómero (levógiro) de G3P (dextrógiro) (Figura 4b). Ambas moléculas son sintetizadas por deshidrogenasas y aun cuando tienen una función y localización equivalente, debido a su polaridad y a las moléculas unidas por ambos extremos, las deshidrogenasas G1DPH y G3DPH no comparten una historia evolutiva (Akanuma, 2019). Con este antecedente persistía un dilema conocido como “la división de lípidos”, es decir, ¿cómo y cuándo se originó la homoquiralidad? Al respecto, el común ha aceptado que el origen fue heteroquiral (una mezcla de G1P y G3P), esto es que el “Last Universal Common Ancestor” (LUCA) contaba con una membrana heteroquiral y recientemente se ha demostrado, gracias a filogenética molecular, que la homoquiralidad es moderna (Figura 4a). Este análisis con homólogos bacterianos de G1DPH y arqueanos de G3DPH concluyó que el ancestro de Bacteria no contenía G1DPH, por tanto, la molécula G1P en Archaea fue seleccionada después de su origen y su origen

era heteroquiral al igual que en LUCA (Akanuma, 2019; Lombard, López-García y Moreira, 2012). Con lo anterior se ha logrado explicar la singularidad de los eucariontes al presentar una membrana con 3PG cuando se originaron por un proceso de endosimbiosis, donde la arquea (actualmente homoquiral 1PG) actúa como hospedador de una bacteria (13PG) si esta arquea contaba con una membrana heteroquiral.

## 5.2 Pared celular

La mayoría de los procariontes del dominio Bacteria tienen una envoltura que es alguno de los dos tipos Gram (positivos o negativos). En ellos el arreglo de la envoltura es bastante distinto, pero coinciden en contener una pared celular de mureína (del latín *murus* ‘muro’), químicamente nombrada como péptidoglicano. La mureína cuenta con dos secciones: varias fibras de un polisacárido que alterna N-acetilglucosamina (NAG) con N-acetilmurámico (NAM) unidas entre sí por un péptido. Algunos de los aminoácidos se conocen como no canónicos porque no están en el listado de los 20 aminoácidos universales en los seres vivos (canónicos), algunos ejemplos son: L-ornitina, L-homoserina y L-hidroxilisina y otros más que destacan por ser dextrógiros; como: D-isoglutamato, D-ornitina, D-alanina y D-serina (Vollmer, Blanot y De Pedro, 2008). Los D-aminoácidos también se encuentran en algunas moléculas de moléculas integradas al péptidoglicano, por ejemplo, el ácido teicoico (del griego *τειχος*, *teikhos*, ‘pared’) ¿Cómo y por qué se originan estas versiones isoméricas? Aquí tiene cabida considerar que estos péptidos heteroquirales no se sintetizan en el ribosoma sino por enzimas, entre ellas las transpeptidasas, y que la interconversión de los *L*- y *D*- aminoácidos es efectuada por las enzimas epimerasas y racemasas, que pertenecen al grupo enzimático de las isomerasas con la clasificación enzimática E.C. 5.x.x.x. Al parecer, la falta de D-aminoácidos en la mureína y ácidos teicoicos vulnera a los organismos Gram positivos y negativos a los antimicrobianos (Radkov y Moe, 2014).





**Figura 4.** (a) Filogenia realizada con el alineamiento de secuencias de los tres dominios (Bacteria en verde, Archaea en naranja y Eukarya en azul) realizada con 2120 posiciones del gen 16S rna, el método de máxima verosimilitud y el modelo evolutivo GTR en el programa MEGA X (Kumar y col., 2018). Se señalan los enantiómeros en cada dominio. (b) Estructura química de los fosfolípidos, se señalan los enantiómeros G1P (éter en Archaea) y G3P (éster en Bacteria, Eukarya).

### 5.3 Complejos proteicos

Es común que las células cuenten con estructuras filamentosas extracelulares (pili y flagelos) e intracelulares (citoesqueleto y flagelos periplásmicos en las espiroquetas), o partículas biológicas como los virus. Algunas de estas estructuras fibrilares están organizadas en hélice, por tanto, con una conformación intrínsecamente quiral. La estructura, al igual que el ensamblaje de las moléculas helicoidales, es producto de una selección por lo que se presenta una homoquiralidad en la célula, tipo celular o un linaje completo (Satir, 2016). Las estructuras vinculadas con la motilidad son ejemplos claros de un polímero helicoidal: el flagelo y las fibras del citoes-

queleto. Aun cuando la composición y la estructura del flagelo son distintas entre los tres dominios, el común denominador es también contener fibras helicoidales. El flagelo bacteriano ha sido por mucho el más estudiado y se compone de un tándem de la proteína flagelina unido al cuerpo celular por medio de un gancho para terminar en un cuerpo basal. Una característica de rotación en el cuerpo basal del flagelo le confiere motilidad a la bacteria. La rotación del flagelo en una condición basal o de mínima energía ocurre en contra del sentido del reloj y ésta invierte su sentido a consecuencia de la transducción de señales, por ejemplo, químicas (tóxicos, nutrientes), o físicas (fotones, temperatura).

Otras estructuras fibrosas helicoidales son las proteínas que constituyen el citoesqueleto. La actina y la tubulina son las más extendidas entre los seres vivos. Se suponía que los microfilamentos del citoesqueleto se encontraban únicamente en los tipos celulares complejos (eucariontes), pero también se han encontrado proteínas homólogas a estas dos proteínas en bacterias y arqueas (ej. MreB, FtsZ y Crenactina). La actina y la tubulina están ligadas a la motilidad, y en eucariontes también se asocian con la división celular y la motilidad. Un ejemplo de esto último son los espermatozoides: los microfilamentos están empaquetados helicoidalmente y aportan propulsión y permiten un movimiento de torsión que puede cambiar de sentido, facilitando atravesar la zona pelúcida (Satir, 2016).

Asimismo, en procariontes la torsión de la proteína helicoidal MreB está conservada, lo que implica que el sentido de giro de la proteína helicoidal se define desde la división celular. También, se ha encontrado que la referencia para esta torsión en MreB es la pared celular, que es opuesta a la retícula que forma el péptidoglicano. Es una oposición que se ha encontrado conservada incluso en linajes distantes filogenéticamente (ej. phyla tan distintos como Proteobacteria y Firmicutes) y es crucial para el destino de la forma celular durante la división (Wang y col., 2012), recordando que la pared proporciona el soporte celular. Esta disposición MreB-péptidoglicano no se traslada a eucariontes, porque en éstos las hélices de microfibras (actina como homóloga de MreB) son citoplasmáticas y radiales, sin envolver al bacilo o coco por el interior (periplasma), como ocurre en procariontes. El operón para MreB están también codificadas MreC y MreD, quienes colocan espacialmente a MreB con las proteínas de síntesis del péptidoglicano (ej. transglicosilasas, transpeptidasas) durante la elongación celular.

## 6 Macromoléculas

### 6.1 El ADN

El ADN (ácido desoxirribonucleico) es la molécula fundamental de la vida, y es la que lleva codificada la información genética característica de los diferentes seres vivos. Esta molécula está constituida por una doble cadena con dos hebras compuestas por uniones sucesivas del azúcar desoxirribosa y

fosfatos (Martínez-Frías, 2010). En general, existen tres familias principales de hélices de ADN (Figura 5): el ADN-A, que puede formarse fácilmente sólo dentro de ciertos tramos de purinas; el ADN-B que es favorecido por una mezcla de secuencias (aunque la conformación exacta depende de la secuencia particular de nucleótidos); y el ADN-Z que se ve favorecido con la alternancia de pasos purina-pirimidina (Ussery, 2002).

Al igual que las proteínas, el ADN existe bajo una sola quiralidad. Únicamente el enantiómero D del azúcar está presente en los ácidos nucleicos, es decir, que la orientación del ADN y el ARN es diestra (en inglés, "right-handed"), por lo que su conformación más estable es una hélice diestra (Globus y Blandford, 2020). Esto es sumamente importante, ya que los organismos vivos se rigen bajo esta preferencia. No obstante, la hélice de la familia ADN-Z presenta una orientación zurda (Ussery, 2002), lo que implica que existen diferentes conformaciones de la hélice de ADN y por lo tanto diferentes funciones biológicas.

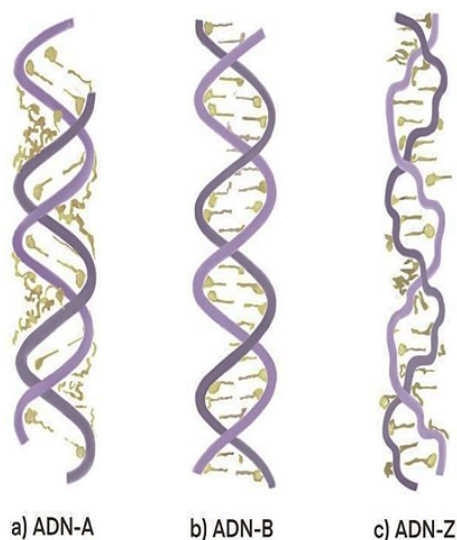
En cuanto a características estructurales, el ADN-B posee hebras dobles que corren en direcciones opuestas y una estructura asimétrica con surcos mayores y menores dispuestos de manera alterna, el número de pares de bases por vuelta helicoidal es de 10,5 y la anchura de su hélice es de  $\sim 2$  nm. El ADN-A, por su parte, se ve favorecido en muchas soluciones que están relativamente carentes de agua. A diferencia del ADN-B, su hélice es más ancha ( $\sim 2,3$  nm), el número de pares de bases por vuelta helicoidal es de 11 y el plano de los pares de bases está inclinado unos  $20^\circ$  con respecto al eje de la hélice (Lehninger, Nelson y Cox, 2008).

La estructura del ADN-Z cambia radicalmente en las primeras dos, y la distinción más obvia va a ser una rotación helicoidal hacia la izquierda. La anchura de su hélice es de 1,8 nm, tiene 12 pares de bases por vuelta helicoidal y la estructura parece más delgada y alargada, adquiriendo una apariencia de zigzag. Esta forma de ADN-Z es difícil de observar, ya que presenta una gran inestabilidad (Lehninger, Nelson y Cox, 2008).

En términos de funciones biológicas, el ADN-A juega un rol importante en la transcripción y en las secuencias de Repetición Terminal Larga (en in-

glés, LTR), como la secuencia encontrada en el virus de inmunodeficiencia humana (VIH). Se ha encontrado que en los genomas existen tramos cortos de purinas que probablemente forman conformaciones de ADN-A en una abundancia mucho mayor de lo que se esperaría para la composición de mononucleótidos, que van desde aproximadamente una cuarta parte del genoma en bacterias hasta casi la mitad del ADN en eucariontes (Ussery, 2002). El ADN-B es dependiente de la secuencia, y si se trata de secuencias rígidas (o flexibles) pueden servir co-

mo sitios para la unión a proteínas y la formación de complejos específicos, mientras que el ADN-Z podría jugar un papel importante como potenciador en la transcripción y en la diferenciación terminal. Éste se puede encontrar en procariontes, eucariontes y virus. En algunos genomas de eucariontes se puede presentar el 10% o más regiones con la configuración ADN-Z (Ussery, 2002). En las células vivas, la mayor parte de ADN se encuentra en una mezcla de ADN-A y ADN-B, con algunas regiones pequeñas capaces de formar ADN-Z (Ussery, 2002).



**Figura 5.** Distintas configuraciones en la hélice del DNA: (a) DNA A, (b) DNA-B y (c) DNA-Z se presentan con una vista longitudinal.

## 6.2 EL ARN

La importancia de la quiralidad en el ARN yace en que la química prebiótica era esencialmente racémica. El elemento quiral en el ARN es un azúcar que sufre una racemización particularmente rápida bajo las condiciones húmedas y cálidas en las que presumiblemente tuvo lugar la química prebiótica (Sandars, 2005). Su replicación sólo tiene éxito si se utilizan monómeros de nucleótidos homoquirales. En la presencia de monómeros racémicos la replicación es inhibida, por lo tanto, la homoquiralidad precedió al mundo del ARN por un mundo pre-ARN, en el que la selección operaba utilizando algún otro tipo de material genético sin las restricciones quirales del ARN (Bailey, 2000).

De acuerdo con Sandars (2005), al mundo pre-ARN se le conoce como ANP (del inglés "Peptide Nucleic Acid"), cuyos monómeros, además de ser heteroquirales, tuvieron la habilidad de replicarse en una forma más simple y de formar estructuras secundarias como el ARN. El ANP forma naturalmente una hélice, pero la selección de la orientación puede ser aleatoria o se elige por cualquier cambio sutil en el entorno, por lo que se esperaría que se formaran números pares. En el momento en el que el ARN comienza a polimerizarse, la orientación del ANP puede ser forzada por la adición del monómero quiral presente en el ARN. Una vez que ésta se desarrolla, la selección de monómeros adicionales favorece la continuación de la misma orientación quiral (Sandars, 2005).

Sin embargo, la inhibición cruzada enantiomérica por parte del ARN detiene el proceso de polimerización, evitando la formación de polímeros largos. Por ello, Sandars (2005) ha demostrado que bajo ciertas circunstancias la inhibición cruzada enantiomérica podría ser la fuerza impulsora de una bifurcación quiral que conduce a polímeros homquirales.

Cabe destacar que al polímero le gusta adoptar una forma helicoidal por razones estructurales en ambos casos (ANP y ARN). En el caso del ANP, la elección de orientación es aleatoria o desencadenada por una influencia externa. Por el contrario, el polímero de ARN se ve obligado a adoptar una orientación determinada por la de los monómeros constituyentes (Sandars, 2005). Aunque bien podría no ser éste el sistema que la naturaleza utilizó, representa una posible forma en que la homquiralidad podría haber evolucionado.

### 6.3 Clorofilas y bacterioclorofilas

Las clorofilas y bacterioclorofilas son moléculas ópticamente activas con varios centros quirales, necesarios para su función biológica natural y el ensamblaje de sus complejos supramoleculares (Senge y col., 2014). Se trata de tetrapirroles cíclicos con un Mg central, un anillo isocíclico de cinco partes y un alcohol esterificante de cadena larga en el C17 (Patty y col., 2017).

Los átomos centrales de magnesio de las clorofilas (Chls) y bacterioclorofilas (BChls) están en la mayoría de los casos penta-coordinados, dando como resultado la formación de un nuevo centro estereoquímico y la posibilidad de dos tipos diferentes de interacción clorofila-ligando (Senge y col., 2014).

Normalmente las bacterioclorofilas no se presentan como pigmentos "aislados" en forma monomérica y/o libre. En su estado funcional, a menudo están unidas a cadenas laterales de apoproteínas. Esto se facilita mediante ligaduras axiales, las cuales permiten interacciones importantes con el entorno de las apoproteínas, ayudando a la organización de las proteínas clorofílicas y modulando sus propiedades electrónicas (Senge y col., 2014). Al igual que la mayoría de los aminoácidos y las proteínas, cualquier complejo de tetrapirroles que contenga una

proteína, incluso aquiral, se vuelve ópticamente activo.

## 7 Biomoléculas

La vida en la Tierra existe gracias a que las biomoléculas (azúcares y aminoácidos) se encuentran, principalmente, en su forma homquiral predominante (Breslow, 2011). A las dos imágenes espejo de una molécula quiral se les llama enantiómeros. A los enantiómeros de los aminoácidos y los azúcares se les llama *L*- o *D*- (Cava y col., 2011). Los seres vivos tienen una afinidad exclusiva a los *L*-aminoácidos en la síntesis de proteínas ribosomales, y a los *D*-azúcares (*D*-ribosa) en nucleótidos (Sasabe y Suzuki, 2018). Si las proteínas con *L*-aminoácidos tuvieran enantiómeros *D*- al azar, éstas tendrían conformaciones variables. Sin embargo, esto no es algo que ocurra en la biología actual debido a que enzimas específicas producen los *L*-aminoácidos, y lo mismo ocurre con los azúcares (Breslow, 2011).

### 7.1 Azúcares

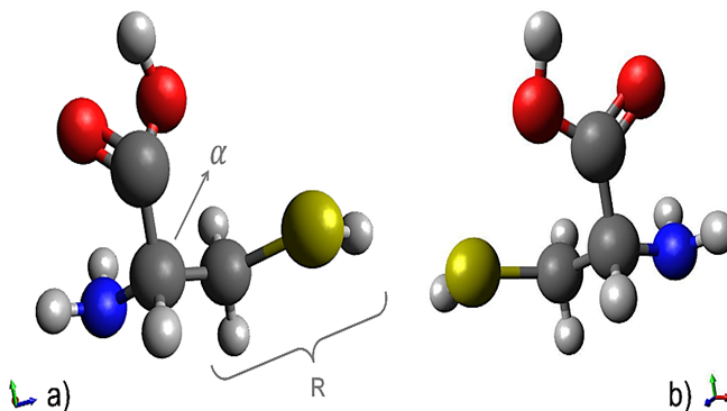
Los azúcares tienen una fórmula genérica de  $C_nH_{2n}O_n$ . La mayoría de los azúcares están activos ópticamente debido a que tienen carbonos sustituidos asimétricamente. La posición relativa del primer carbono asimétrico en la cadena del azúcar determina si éste es *D*- o *L*-. Azúcares como la ribosa y la glucosa tienen más de un centro quiral y se clasifican con base en la configuración del centro quiral más alejado del grupo carbonilo (Breslow, 2011).

A los enantiómeros *L*- de los azúcares se les conoce como azúcares raros debido a que no se encuentran muy seguidos en la naturaleza. Sin embargo, estos azúcares raros tienen un gran potencial en las industrias alimentaria y farmacéutica (Chen y col., 2020). Por ejemplo, se han llegado a utilizar como medicamentos antivirales en tratamientos de enfermedades virales graves, como el VIH o la hepatitis (Helanto y col., 2009), y aunque no se han encontrado *L*-azúcares en procesos biológicos, se han hecho experimentos para determinar si algunos *L*-azúcares contribuyen al metabolismo energético total (Livesey y Brown, 1995).

## 7.2 Aminoácidos

Las proteínas se forman a partir de 20 aminoácidos esenciales, éstos son aminoácidos  $\alpha$ . La estructura general de un aminoácido se conforma por un grupo carboxilo ( $-COOH$ ) y un grupo amino ( $-NH_2$ ) unidos al carbón  $\alpha$ , que a su vez está unido a un hidrógeno ( $-H$ ) y a una cadena lateral (grupo R) (Genchi, 2017). Los aminoácidos generalmente tienen un solo centro quiral (Breslow, 2011), que es

precisamente el carbono (Figura 6). A los enantiómeros de los aminoácidos se les llama *L-* o *D-* dependiendo de la actividad óptica del isómero del gliceraldehído sobre el que se puede superponer el aminoácido. Ambos enantiómeros se producen por síntesis química, pero la mayoría de las enzimas presentan una selectividad marcada y, debido a esto, muchos procesos bioquímicos utilizan y producen enantiómeros particulares (Cava y col., 2011).



**Figura 6.** Aminoácido cisteína en sus versiones enantioméricas (imágenes especulares): (a) dextrógira y (b) levógira.

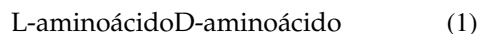
Aunque los L-aminoácidos son los más comunes en los organismos vivos, se ha visto que los D-aminoácidos tienen un papel en algunos procesos biológicos, como por ejemplo el D-aspartato, que es un regulador importante de la neurogénesis adulta y la D-serina que actúa como un coagonista de los receptores de glutamato de tipo N-metil D-aspartato en el cerebro, y que están involucrados en el aprendizaje, la memoria, y el comportamiento en mamíferos. También, se sabe que los D-aminoácidos se han utilizado como nutrientes para apoyar el crecimiento bacteriano, regular la germinación de esporas bacterianas, y son componentes de la pared celular bacteriana (Cava y col., 2011).

Existen tres teorías para tratar de explicar la presencia de D-aminoácidos en las proteínas de los seres vivos. La primera es que puede resultar de la incorporación directa de un D-aminoácido a la cadena de péptidos (producido, por ejemplo, por un aminoácido racemasa). La segunda es que se puede deber a una racemización no enzimática asociada al envejecimiento o a alguna enfermedad. Y la tercera

es que puede ser por una modificación enzimática posterior a la traducción (Genchi, 2017).

### 7.2.1 Racemización de aminoácidos

La racemización es una reacción reversible de primer orden que puede describirse mediante la Ecuación 1 (Bada, 1985).



Fue hace más de un siglo cuando se observó por primera vez que los aminoácidos sufrían racemización cuando se calentaban en soluciones altamente ácidas y básicas. A principios del siglo XX, se observó por primera vez la racemización de aminoácidos en péptidos y proteínas en soluciones alcalinas a temperaturas elevadas. La racemización también puede ocurrir en pH neutro y a tasas que son comparables con aquellas bajo un pH ácido y en bases diluidas. Además, la racemización se detecta en proteínas tanto de fósiles como de organismos vivos (ej. mamíferos), por lo que se ha llegado a sugerir que la racemización podría ser la base de

un método de fechamiento útil para determinar la edad de los organismos (Bada, 1985).

El aminoácido racemasas y las D-aminoácido oxidasas (DAO) son las enzimas que se encargan de la síntesis y degradación de los D-aminoácidos. Como los L-aminoácidos son los aminoácidos que predominan en los organismos vivos, éstos actúan como el sustrato para la generación de D-aminoácidos, y las racemasas lo que hacen es cambiar la estereoquímica del carbono  $\alpha$  quiral en los aminoácidos para convertir los L-aminoácidos en D-aminoácidos (Genchi, 2017).

### 7.2.2 Origen de la homoquiralidad en azúcares y aminoácidos

Los compuestos aquirales pueden cristalizarse en estructuras quirales. Los minerales enantiomórficos, como el cuarzo, son activos ópticamente. Este tipo de minerales, ya sea que provengan del espacio o de la Tierra, pudieron haber servido como criaderos quirales prebióticos debido a la transferencia de quiralidad mediada por la superficie, proporcionando un exceso de L-aminoácidos o D-azúcares en la Tierra prebiótica (Evans y col., 2012).

Generalmente, cualquier reacción química que forma un producto con un centro quiral va a producir cantidades iguales de enantiómeros L y D; esto se conoce como una mezcla racémica. Pero, no siempre ocurre así: el modelo cinético auto catalítico de Frank para una síntesis asimétrica sugiere que un ligero exceso de un enantiómero puede influir y favorecer la síntesis de ese enantiómero sobre su antítesis óptica (Evans y col., 2012). En la actualidad, todavía no se sabe con certeza qué procesos llevaron al cambio de un mundo racémico al mundo homoquiral en el que vivimos (Sasabe y Suzuki, 2018).

En algunos meteoritos que han caído en la Tierra se han encontrado compuestos orgánicos, incluyendo algunos aminoácidos. En la meteorita que cayó cerca de Murchison, Australia en 1969 se encontraron cinco  $\alpha$ -metil aminoácidos y todos tenían un exceso pequeño pero significativo de lo que se describió como enantiómeros L- (o enantiómeros S). Una idea para explicar esto es que en el cinturón de Kuiper se formaron mezclas racémicas de  $\alpha$ -metil aminoácidos que después fueron descompuestas selec-

tivamente por luz polarizada circular derecha sin blindaje, y los  $\alpha$ -metil aminoácidos con un exceso de enantiómeros L- llegaron a la Tierra por medio de condritas (Breslow, 2011).

### 7.3 Otras biomoléculas de bajo peso molecular

La talidomida, los antibióticos y las anfetaminas son ejemplos de fármacos con uno o más centros quirales que se indican con los prefijos R y S. Las versiones quirales de la talidomida tienen efectos distintos en el cuerpo humano: la versión S es teratogena y la versión R tiene propiedades tranquilizantes (Elder y col., 2021). Ejemplos de antibióticos son la ofloxacin y su versión R, la levofloxacin (Maia, Tiritan y Castro, 2018). Otro ejemplo es el cloranfenicol, el cual presenta dos centros quirales (hay versiones S,S y R,R) e inhibe la síntesis de proteínas, por tanto, es un antibiótico bacteriostático. Este antibiótico se utiliza solo en países en desarrollo para algunas meningitis y conjuntivitis, sin embargo, su uso es restringido debido a sus efectos tóxicos y el desarrollo de resistencia antimicrobiana.

Algunas enterobacterias pueden degradar el R,R(-)-cloranfenicol como una estrategia de resistencia microbiana y mediante vías metabólicas no aplicables para el S,S(+)-cloranfenicol. Recientemente se ha encontrado una forma de resistencia a la versión S,S mediante su racemización hacia la forma metabolizable R,R (Elder y col., 2021).

## 8 Conclusiones

La quiralidad es una propiedad esencialmente geométrica que llega a nuestras manos desde las moléculas y que tiene relevancia fisicoquímica. Los sistemas vivos, desde bacterias a otros organismos unicelulares como los eucariontes y metazoos hasta el comportamiento social tienen esta simetría. Especialmente en sistemas vivos cobra relevancia que la simetría a espejo dé propiedades físicas y químicas distintas. En este aspecto, el origen de la quiralidad en la biología se vuelve una pregunta necesaria de responder.

En esta revisión se intentó resolver y acercar a esta cuestión, desde las propiedades termodinámicas y las emergentes, donde la quiralidad sí tiene

cambios relativamente medibles en nuestras simulaciones y algunos de nuestros experimentos. El hecho de que los L-aminoácidos y D-azúcares sean los compuestos fundamentales de la maquinaria evolutiva viva, nos lleva a pensar en mecanismos de evolución molecular y una selección natural molecular. El enfoque desde la biofísica molecular dió algunas respuestas, y por lo mismo se sigue en la búsqueda de la relevancia de la quiralidad en sistemas vivos mediante este tipo de revisiones.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Autónoma de México por el financiamiento del proyecto "DGAPA-PAPIIT IN205522".

## Referencias

- Akanuma, S. (2019). «Astrobiology: From the Origins of Life to the Search for Extraterrestrial Intelligence». En: Springer. Cap. The Common Ancestor of All Modern Life, págs. 91-103.
- Bada, J. (1985). «Chemistry and Biochemistry of the Amino Acid». En: Springer Netherlands. Cap. Racemization of Amino Acids, págs. 399-414.
- Bailey, J. (2000). «Chirality and the origin of life». En: *Acta Astronautica* 46.10-12, 627-631. Online:https://bit.ly/3UdWQYE.
- Barrera-Calva, E., R. Pineda-Ledezma y B. Barrera-Mera (2012). «De la quiralidad elemental a la complementariedad funcional determinante de la hermosura como producto de la interacción hemisférica cerebral». En: *Archivos de Neurociencias* 17.2, 79-84. Online:https://bit.ly/3FeRk3B.
- Beléndez, A. (2008). «La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell». En: *Revista Brasileira de Ensino de Física* 30, 2601.1-2601.20. Online:https://bit.ly/3ETdEP1.
- Breslow, R. (2011). «The origin of homochirality in amino acids and sugars on prebiotic earth». En: *Tetrahedron letters* 52.32, 4228-4232. Online:https://bit.ly/3GV4qEw.
- Cava, F. y col. (2011). «Emerging knowledge of regulatory roles of D-amino acids in bacteria». En: *Cellular and Molecular Life Sciences* 68.5, 817-831. Online:https://bit.ly/3ue7tQt.
- Chen, M. y col. (2020). «Microbial and enzymatic strategies for the production of L-ribose». En: *Applied microbiology and biotechnology* 104.8, 3321-3329. Online:https://bit.ly/3VG6yUU.
- Craig, D. y T. Thirunamachandran (1999). «New approaches to chiral discrimination in coupling between molecules». En: *Theoretical Chemistry Accounts* 102.1, 112-120. Online:https://bit.ly/3VGF6pO.
- Elder, F. y col. (2021). «Stereoselective Bacterial Metabolism of Antibiotics in Environmental Bacteria-A Novel Biochemical Workflow». En: *Frontiers in microbiology* 12, 738. Online:https://bit.ly/3OMMj5E.
- Evans, A. y col. (2012). «Chirality, photochemistry and the detection of amino acids in interstellar ice analogues and comets». En: *Chemical Society Reviews* 41.16, 5447-5458. Online:https://rsc.li/3OQ7m7t.
- Farace, C. y L. Aznar (2011). *Origen, evolución y extinción de los trilobites*.
- Finkelshtein, A. y col. (2017). «Biocommunication: Sign-Mediated Interactions between Cells and Organisms». En: World Scientific. Cap. Paenibacillus vortex: a bacterial guide to the wisdom of the crowd, págs. 257-283.
- Gardner, M. (1985). *Izquierda y derecha en el cosmos*. Salvat Editores.
- Genchi, G. (2017). «An overview on D-amino acids». En: *Amino Acids* 49.9, 1521-1533. Online:https://bit.ly/3GTwwA2.
- Globus, N. y R. Blandford (2020). «The chiral puzzle of life». En: *The Astrophysical Journal Letters* 895.1, L11. Online:https://bit.ly/3irGzSL.
- Gohil, N. y col. (2018). *Book review: quorum sensing vs. quorum quenching: a battle with no end in sight*. Frontiers Media SA.
- Hegstrom, R. y D. Kondepudi (1990). «The handedness of the universe». En: *Scientific American* 262.1, 108-115. Online:https://bit.ly/3OO4VSA.
- Helanto, M. y col. (2009). «Biotechnological production of L-ribose from L-arabinose». En: *Applied microbiology and biotechnology* 83.1, 77-83. Online:https://bit.ly/3uenRAD.
- Ingham, C. y E. Jacob (2008). «Swarming and complex pattern formation in Paenibacillus vortex studied by imaging and tracking cells». En: *BMC microbiology* 8.1, 1-16. Online:https://bit.ly/3VnyhK3.
- Kohler, S. (2020). «Cosmic Rays as the Source of Life's Handedness». En: *AAS Nova Highlights*, 6575. Online:https://bit.ly/3FiruvP.
- Kumar, S. y col. (2018). «MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms». En: *Molecular biology and evolution* 35.6, 1547-1549. Online:https://bit.ly/3UmHGQW.
- Lehninger, A., D. Nelson y M. Cox (2008). *Lehninger principles of biochemistry*. Freeman.
- Livesey, G. y J. Brown (1995). «Whole body metabolism is not restricted to D-sugars because energy metabolism of L-sugars fits a computational model in rats». En: *The Journal of nutrition* 125.12, 3020-3029. Online:https://bit.ly/3VnQC9O.

- Lombard, J., P. López-García y D. Moreira (2012). «The early evolution of lipid membranes and the three domains of life». En: *Nature Reviews Microbiology* 10.7, 507-515. Online:https://go.nature.com/3H3GqPw.
- Maia, A., M. Tiritan y P. Castro (2018). «Enantioselective degradation of ofloxacin and levofloxacin by the bacterial strains *Labrys portucalensis* F11 and *Rhodococcus* sp. FP1». En: *Ecotoxicology and environmental safety* 155, 144-151. Online:https://bit.ly/3ERggNd.
- Martínez-Frías, M. (2010). «Estructura y función del ADN y de los genes. I Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones». En: *SEMERGEN-Medicina de Familia* 36.5, 273-277. Online:https://bit.ly/3XMwZtW.
- Nazar, J. (2007). «Biofilms bacterianos». En: *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello* 67.1, 161-172. Online:https://bit.ly/3AZhBjR.
- Nieto-Ortega, B. (2014). «Quiralidad en Estructuras Supramoleculares: Espectroscopías de Dicroísmo Circular (ECD, VCD y ROA)». Tesis doct. Universidad de Málaga.
- Patty, C. y col. (2017). «Circular spectropolarimetric sensing of chiral photosystems in decaying leaves». En: *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 189, 303-311. Online:https://bit.ly/3ivtNCQ.
- Pérez Benítez, A. y R. Arroyo Carmona (2018). «Enseñando helicidad y quiralidad con vasos de unicel». En: *Educación Química* 12.3, 133-137. Online:https://bit.ly/3OTAYAD.
- Radkov, A. y L. Moe (2014). «Bacterial synthesis of D-amino acids». En: *Applied microbiology and biotechnology* 98.12, 5363-5374. Online:https://bit.ly/3VnwmO.
- Sandars, P. (2005). «Chirality in the RNA world and beyond». En: *International Journal of Astrobiology* 4.1, 49-61. Online:https://bit.ly/3VpemdY.
- Sasabe, J. y M. Suzuki (2018). «Distinctive roles of d-amino acids in the homochiral world: chirality of amino acids modulates mammalian physiology and pathology». En: *The Keio journal of medicine* 68.1, 1-16. Online:https://bit.ly/3FfD6Q9.
- Satir, P. (2016). «Chirality of the cytoskeleton in the origins of cellular asymmetry». En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371.1710, 20150408. Online:https://bit.ly/3uaUcIC.
- Schilthuizen, M. y A. Davison (2005). «The convoluted evolution of snail chirality». En: *Naturwissenschaften* 92.11, 504-515. Online:https://bit.ly/3Ukp8Rh.
- Senge, M. y col. (2014). «Chlorophylls, symmetry, chirality, and photosynthesis». En: *Symmetry* 6.3, 781-843. Online:https://bit.ly/3FfHXAR.
- StackExchange (2020). *Why does the weak force distinguish left and right handedness?*
- Suh, I. y col. (1997). «Molecules, crystals, and chirality». En: *Journal of chemical education* 74.7, 800. Online:https://bit.ly/3OR2oaz.
- Torres-Silva, H. (2008). «Electrodinámica quiral: eslabón para la unificación del electromagnetismo y la gravitación». En: *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 16.ESPECIAL, 6-23. Online:https://bit.ly/3EUvCRj.
- Ussery, D. (2002). «DNA Structure: A-, B-and Z-DNA Helix Families». En: *Encyclopedia of life sciences*, 1-7. Online:https://bit.ly/3ESD92J.
- Vargas, P. y R. Zardoya (2015). *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*. CSIC.
- Vollmer, W., D. Blanot y M. De Pedro (2008). «Peptidoglycan structure and architecture». En: *Journal of chemical education* 74.7, 149-167. Online:https://bit.ly/3ivIJ3u.
- Wang, S. y col. (2012). «Helical insertion of peptidoglycan produces chiral ordering of the bacterial cell wall». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109.10, E595-E604. Online:https://bit.ly/3OND6Kn.
- Woese, C., O. Kandler y M. Wheelis (1990). «Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 87.12, 4576-4579. Online:https://bit.ly/3EJiRJ6.
- Wu, C. y col. (1957). «Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay». En: *Physical Review* 105.4, 1413. Online:https://bit.ly/3ON4qZa.





# ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA *in-vivo* DE UNA FORMULACIÓN TÓPICA CON PRINCIPIOS ACTIVOS DE ACEITES ESENCIALES DE *Cannabis sativa* L. (CÁÑAMO) Y *Baccharis latifolia* (RUIZ & PAV) PER. (CHILCA)

*In-vivo* ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY OF A TOPICAL FORMULATION WITH ACTIVE PRINCIPLES ON ESSENTIAL OILS OF *Cannabis sativa* L. (CANNABIS) AND *Baccharis latifolia* (RUIZ & PAV) PER. (CHILCA)

Paco Noriega\*<sup>1,2</sup> , Tatiana Idrobo<sup>1</sup> , Mishell Pintag<sup>1</sup> , Diego Vinueza<sup>3</sup>  y Christian Larenas<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Maestría en Productos Farmacéuticos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana, Código postal 170517, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas a los Recursos Biológicos, Universidad Politécnica Salesiana, Código postal 170517, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Código postal 060106, Riobamba, Ecuador.

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

Manuscrito recibido el 05 de julio de 2022. Aceptado, tras revisión, el 19 de septiembre de 2022. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

## Resumen

Dos productos naturales, aceites esenciales de *Cannabis sativa* (cannabis) y *Baccharis latifolia* (chilca), fueron empleados como ingredientes antiinflamatorios en un ungüento de aplicación tópica. Para medir la eficacia, las diversas fórmulas diseñadas a base de estos dos aceites esenciales fueron evaluadas *in vivo*, mediante el método de inducción del edema subplantar en ratas, como control positivo se empleó una formulación de venta libre con ingrediente activo diclofenaco al 1%. La evaluación química de los dos aceites presentó para el aceite de chilca los siguientes componentes principales: ligulóxido 14.02%, andro enecalinalol 9.84%, kesano 7.53%, limoneno 5.6% y Z-cadin-4-en-7-ol con el 5.03%; mientras que en el aceite esencial de cannabis las moléculas más abundantes fueron: E-cariofileno 27.91%, mirceno 21,19%,  $\alpha$ -pineno 8.05%,  $\alpha$ -humuleno 8.03%, limoneno 7.18%, terpinoleno 7.12% y  $\beta$ -pineno 4.68%. Los resultados de la investigación señalan que aquellas fórmulas con mezclas de los dos aceites esenciales en la formulación al 1%, son las que poseen la mayor actividad antiinflamatoria, desde el punto de vista estadístico la significancia es alta en relación al control positivo en aquellas cuya composición de aceites es la siguiente: aceite esencial de cannabis 75% y aceite de chilca 25%, y aceite esencial de cannabis 50% y aceite de chilca 50%. El resto de las formulaciones presentan actividad, pero esta es similar a la de la fórmula comercial usada como control. De los resultados encontrados se puede proponer a ambos productos naturales como antiinflamatorios, y prever el diseño y comercialización de medicamentos farmacéuticos tópicos usando a estos dos aceites esenciales.

**Palabras clave:** *Cannabis sativa*, *Baccharis latifolia*, aceites esenciales, actividad antiinflamatoria, sinergia antiinflamatoria.

### Abstract

Essential oils of *Cannabis sativa* (cannabis) and *Baccharis latifolia* (chilca), were used as anti-inflammatory ingredients in an ointment for topical application. Different formulations designed based on these two essential oils were evaluated in-vivo to measure efficacy, using the feet swelling induction method in rats, and an over-the-counter formulation with 1% diclofenac active ingredient was used as a positive control. The chemical evaluation of the two oils yielded the following main components, for chilca oil: liguloxide 14.02%, andro enecalinalol 9.84%, kesane 7.53%, limonene 5.6% and Z-cadin-4-en-7-ol with 5.03%; while for cannabis essential oil: E-caryophyllene 27.91%, myrcene 21.19%,  $\alpha$ -pinene 8.05%,  $\alpha$ -humulene 8.03%, limonene 7.18%, terpinolene 7.12% and  $\beta$ -pinene 4.68%. The results of the research indicate that those formulas that combined two essential oils in the formulation at 1%, are the ones with the highest anti-inflammatory activity. Statistically, the significance is high in relation to the positive control in those whose oil composition is essential oil of cannabis 75% and chilca oil 25%; and essential oil of cannabis 50% and chilca oil 50%. The other formulas have activity, but this is similar to the commercial formula used as control. Based on the results, it is possible to propose both natural products as anti-inflammatories, and to foresee the design and commercialization of topical pharmaceutical drugs using these two essential oils.

**Keywords:** *Cannabis sativa*, *Baccharis latifolia*, essential oils, anti-inflammatory activity, anti-inflammatory synergy.

Forma sugerida de citar: Noriega, P., Idrobo, T., Pintag, M., Vinueza, D. y Larenas, C. (2023). Actividad antiinflamatoria *in-vivo* de una formulación tópica con principios activos de aceites esenciales de *Cannabis sativa* L. (cáñamo) y *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav) per. (chilca). La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):23-33. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.02>.

### IDs Orcid:

Paco Noriega: <http://orcid.org/0000-0001-7147-261X>

Tatiana Idrobo: <http://orcid.org/0000-0002-6660-139X>

Mishell Pintag: <http://orcid.org/0000-0001-9434-715X>

Diego Vinueza: <http://orcid.org/0000-0002-6910-0726>

Christian Larenas: <http://orcid.org/0000-0001-8513-5745>

## 1 Introducción

Los procesos inflamatorios están vinculados a una gran cantidad de patologías como enfermedades autoinmunes (Urakov y Urakova, 2021; Lochhead y col., 2021; Murata, 2018), infecciones diversas (Shah, 2019; Cervilla, Purriños y Moya, 2002); enfermedades cardiovasculares (Golia y col., 2014; Van Eeden y col., 2012) y traumatismos de toda índole (Brown, Worrell y Pariente, 2021; Mortaz y col., 2018). De acuerdo al boletín técnico (INEC, 2020), los politraumatismos son la segunda causa de morbilidad hospitalaria, solo por debajo de las infecciones gastrointestinales, trayendo como consecuencia un alto consumo de medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINES). La respuesta inflamatoria saludable es benéfica temporalmente, pero tiene un equilibrio precario que puede alterarse, causando daño involuntario al tejido y generar una inflamación anormal o crónica. Este desequilibrio genera un estado “pro inflamatorio” descontrolado y capaz de provocar enfermedades a consecuencia del estrés oxidativo, que a su vez no es más que el resultado del daño originado por las especies reactivas de oxígeno (EROs), lo cual tiene como base de generación a la inflamación (Schewe, 1995).

Muchas plantas medicinales son usadas por sus propiedades antiinflamatorias como parte del conocimiento ancestral de pueblos alrededor del mundo; adicionalmente, existen en varias de estas especies ensayos *in vitro* e *in vivo* que comprueban el potencial antiinflamatorio de los principios activos que contienen (Oguntibeju, 2018; Nunes y col., 2020; Tasneem y col., 2019; Yattoo y col., 2018). Dentro de los extractos empleados por su actividad antiinflamatoria están los aceites esenciales, y muchas de estas matrices biológicas han demostrado poseer metabolitos secundarios con alta actividad (Miguel, 2010; Pérez y col., 2011; Grassmann y col., 2000). Dentro de las especies promisorias, ya sea por su uso tradicional o por su evidencia científica, están los aceites esenciales de *C. sativa* (cáñamo) (Orlando y col., 2021; Di Sotto y col., 2022) y el de *B. latifolia* (chilca) (Abad y Bermejo, 2007; Sequeda-Castañeda, Célis y Luengas-Caicedo, 2015).

En este estudio se analizaron los aceites esenciales provenientes de las dos plantas medicinales como principios activos en una formulación tópica,

cuya efectividad fue estudiada *in vivo* en modelo con animales y comparado con un fármaco comercial de venta libre muy empleado en nuestro medio. De esta manera se propone una alternativa de formulación que use activos naturales con una eficacia alta, con la capacidad de mitigar inflamaciones resultantes de traumatismos o de patologías reumatoideas.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Extracción de los aceites esenciales

El aceite esencial de cannabis fue adquirido a la empresa Eden Garden Essentials, con sede en San Clemente, EEUU, el producto viene acompañado de su ficha técnica de calidad. Las hojas de chilca (*B. latifolia* (HUPS-as-011 voucher herbario de los laboratorios de Ciencias de la Vida-UPS). Fueron recolectadas en la ciudad de Riobamba, en la provincia de Chimborazo en las siguientes coordenadas, latitud: 1°40'26" S, longitud: 78°38'37" O, altitud: 2752 m.s.n.m. El material fresco se procesó en un destilador de acero inoxidable con 64 litros de capacidad que opera con el sistema conocido como agua y vapor de agua en los laboratorios de Ciencias de la Vida, de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito.

### 2.2 Composición química de los aceites esenciales

La ficha técnica del aceite esencial de cannabis detalla la composición química del mismo. La identificación de compuestos del aceite esencial de chilca se realizó a través de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Para esto se usó un cromatógrafo de gases Trace 1310 acoplado a un espectrómetro de masas ISQ 7000 marca Thermo Fisher Scientific con una columna cromatográfica Thermo Scientific TR-5MS, de longitud de 30 m, un espesor de 0,25 mm y un espesor de película de 0,25  $\mu\text{m}$ . La muestra se preparó diluyendo 10  $\mu\text{L}$  de aceite esencial de chilca en 990  $\mu\text{L}$  de diclorometano; el volumen de inyección fue de 1  $\mu\text{L}$ . El gas de acarreo fue helio de 99,9999% de pureza, a un flujo de 1  $\text{mL min}^{-1}$ , y un split-ratio de 1:40. La temperatura del inyector fue de 250°C.

La temperatura inicial en la columna fue de 60°C por 5 minutos, hasta alcanzar los 100°C a una ve-

locidad de 2°C/min, posteriormente se sube a los 150°C, a una velocidad de 3°C/min, se alcanzan los 200°C a 5°C/min, y finalmente a los 230°C manteniéndose a esta temperatura por 5 minutos, siendo el tiempo total de análisis de 60 minutos.

Las condiciones del espectrómetro de masas fueron: energía de ionización: 70 eV; corriente de emisión: 10  $\mu$ Amp; rango de escaneo: 1 scan/s; rango de masas: 40-350 Da; temperatura de la trampa: 230°C; temperatura de la línea de transferencia: 200°C.

La identificación de las moléculas se realizó a través de la base de datos de espectros de masas NIST 2001. Además, se calculó el índice de retención aritmética (IR), de cada compuesto a través de la comparación con una serie de alcanos C8-C30 y finalmente se contrastó con los índices de retención teóricos de la base de datos de Adams (2012).

### 2.3 Elaboración de los ungüentos antiinflamatorios

El tipo de formulación fue O/W (aceite en agua), y la fórmula se describe en la Tabla 1. Se prepararon 5 formulaciones con distintas proporciones de los aceites esenciales y una fórmula testigo sin aceites, en donde el porcentaje de agua fue del 64%. Los porcentajes de cada formulación se describen en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Fórmula de los ungüentos antiinflamatorios.

Fases	Compuesto	Cantidad en porcentaje
	Aceite mineral	12
	Acido esteárico	10
Fase oleosa	Manteca de cacao	5
	Alcohol cetílico	5
	Cera de abeja	3
	Aceite/s esenciales	1
Fase acuosa	Agua	63
	Té	1

### 2.4 Actividad antiinflamatoria in vivo

Se empleó el método del edema subplantar inducido por inyección de carragenina propuesto por Winter, Risley y Nuss (1962). Se usaron ratas de un peso entre 180 y 220 gramos, de edades entre 4 a 8

semanas, bajo condiciones de alimentación controladas. Los animales de laboratorio fueron ambientados por 2 semanas en grupos de 5 para cada tratamiento: 5 concentraciones, una fórmula testigo y un control positivo. Como control positivo se usó una formulación comercial con 1% de diclofenaco. A cada animal se le inyectó una solución de carragenina al 0,3% en propilenglicol, con un tiempo de espera de 30 minutos para generar el edema. En total se tomaron 5 valores por cada individuo: T antes de la aplicación de la carragenina, To a los 30 minutos, T1 a 1 hora, T2 a las 3 horas y T3 a las 5 horas de aplicación. Los valores se determinaron en unidades de volumen con la ayuda de un pletismómetro. La figura 1 muestra gráficamente el experimento.

**Tabla 2.** Proporciones de los aceites esenciales en cada formulación.

Formulación con crema base	Proporción de aceites esenciales
Formulación A	Aceite de cannabis 25% Aceite de chilca 75%
Formulación B	Aceite de cannabis 50% Aceite de chilca 50%
Formulación C	Aceite de cannabis 75% Aceite de chilca 25%
Formulación D	Aceite de cannabis 100%
Formulación E	Aceite de chilca 100%
Fórmula testigo	Aceites esenciales 0%

### 2.5 Estadística

Al tener siete grupos de datos en diferentes tiempos, incluidos los grupos controles tanto positivo como testigo, el estudio estadístico se realizó en 4 etapas. Mediante el programa R versión 2021 se analizaron los datos, tomando en cuenta como principal parámetro la proporción de inflamación causada al inicio y el nivel de desinflamación en los tres tiempos en que se realizaron las mediciones. Estos parámetros se expresaron en valor neto de inflamación, teniendo de valor el volumen de la pata inflamada menos el volumen de la pata normal. Primero se determinó si los valores presentan normalidad mediante el test de Kolmogorov-Smishov con el ajuste de Lilliefors, contrastando por tratamiento aplicado y por tiempo de transcurrido después de la aplicación del tratamiento. Seguido se realizó el análisis de Homosedasticidad usando el test de Levene en todos los tiempos de medición de inflama-

ción para determinar que las varianzas sean homogéneas, es decir que no exista una variabilidad muy grande entre los grupos de estudio y poder aplicar un test de Tukey posteriormente.



**Figura 1.** Esquema gráfico del método de edema subplantar inducido por carragenina y medición en un pletismometro manual.

El análisis principal fue el test de Anova. Previamente se hizo un análisis de covarianza para descartar la posibilidad de una interferencia de resultados con una variable que no se toma en cuenta, en este caso una posible interacción con el volumen de la pata de la rata en estado inicial; el análisis se hizo con el test Ancovac. El análisis de Anova se realizó en modelo de una vía para determinar una diferencia significativa entre las medias. Se observaron las diferencias entre cada uno de los grupos frente a otros en los tres tiempos de medición después de colocado el tratamiento para determinar cuál tratamiento es el más efectivo frente a la inflamación, tomando en cuenta los grupos controles testigo y positivo (formulación con diclofenaco al 1%). Pos-

teriormente se hizo un estudio de Anova en modelo lineal para ver el comportamiento de cada uno de los tratamientos como un factor dentro de una ecuación de regresión lineal, contrastando cada uno frente al grupo blanco.

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Composición química de los aceites esenciales

El aceite de cannabis adquirido a la empresa Eden Garden Essentials viene acompañado de un certificado de composición química, misma que se detalla en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Composición química del aceite esencial de *C. sativa* proporcionado por la empresa Eden Garden Essentials.

No.	Compuesto	% RDA	ÍR teórico <sup>a</sup>
1	hexanol	0,05	863
2	No identificado	0,08	-
3	$\alpha$ -tujeno	0,07	924
4	$\alpha$ -pineno	<b>8,05</b>	932
5	canfeno	0,08	946
6	sabineno	0,95	969
7	$\beta$ -pinene	<b>4,68</b>	974
8	No identificado	0,04	-
9	3-p-menteno	0,06	984
10	mirreno	<b>21,19</b>	988
11	mesitileno	0,03	994
12	No identificado	0,24	-
13	$\alpha$ -felandreno	0,63	1002
14	$\delta$ -3-careno	0,69	1008
15	$\alpha$ -terpineno	0,11	1014
16	p-cimeno	0,22	1020
17	limonene	<b>7,18</b>	1024
18	$\beta$ -felandreno	0,32	1025
19	1,8-cineol	0,29	1026
20	Z- $\beta$ -ocimeno	0,24	1032
21	E- $\beta$ -ocimeno	2,65	1044
22	$\gamma$ -terpineno	0,10	1054
23	1-octanol	0,04	1063
24	E-sabineno hidrato	0,05	1098
25	terpinoleno	<b>7,12</b>	1086
26	fenchona	0,15	1083
27	linalool	2,25	1095
28	$\alpha$ -fenchol	0,70	1114
29	No identificado	0,06	-
30	borneol	0,13	1165
31	p-cimen-8-ol	0,08	1179
32	$\alpha$ -terpineol	0,33	1186
33	citronelol	0,16	1223
34	$\alpha$ -copaeno	0,05	1374
35	hexanoato de hexilo	0,04	1382
36	-cariofileno	0,14	1408
37	No identificado	0,04	-
38	Z- $\alpha$ -bergamoteno	0,05	1411
39	E-cariofileno	<b>27,91</b>	1417
40	$\alpha$ -elemeno	0,04	1434
41	E-bergamoteno	0,42	1432
42	No identificado	0,72	-
43	$\alpha$ -humuleno	<b>8,03</b>	1452
44	No identificado	0,25	-
45	No identificado	0,10	-
46	$\beta$ -selinene	0,29	1489
47	$\gamma$ -amorfeno	0,04	1495
48	$\alpha$ -selinene	0,21	1498

No.	Compuesto	% RDA	ÍR teórico <sup>a</sup>
49	(E,E)- $\alpha$ -farneseno	0,08	1505
50	$\beta$ -bisaboleno	0,03	1505
51	No identificado	0,05	-
52	No identificado	0,05	-
53	No identificado	0,11	-
54	No identificado	0,14	-
55	selina-3,7(11)-dieno	0,18	1545
56	germacreno B	0,10	1559
57	óxido de cariofileno	0,90	1582
58	epóxido de humuleno II	0,18	1608
59	No identificado	0,62	-
60	No identificado	0,22	-
Total no identificado		2,71	
Total identificado		97,29	

<sup>a</sup>Índices de retención teórico base de datos de Adams (2012).

Los compuestos más importantes son: E-cariofileno 27,91%, mircenolol 21,19%,  $\alpha$ -pineno 8,05%,  $\alpha$ -humuleno 8,03%, limoneno 7,18%, terpinoleno 7,12% y  $\beta$ -pineno 4,68%. La composición química en el aceite esencial de chilca se observa en la Tabla 4. Como compuestos principales están ligulol 14,02%, androenecalinol 9,84%, kessanol 7,53%, limoneno 5,6% y Z-cadin-4-en-7-ol con 5,03%.

### 3.2 Evaluación antiinflamatoria in-vivo

Luego de la homogenización de los tratamientos al aplicar los test de normalidad y homogeneidad, el

análisis estadístico test de Anova fue ejecutado relacionando la eficacia antiinflamatoria en volumen para cada uno de los tratamientos, incluyendo a la fórmula testigo (T) sin principios activos, control positivo (CP) con diclofenaco al 1% y las 5 formulaciones con diferentes proporciones de los aceites esenciales al 1%, que son: A (100% A.E. cannabis), B (75% A.E. chilca y 25% A.E. cannabis), C (50% A.E. de chilca y 50% A.E. cannabis), D (25% A.E. chilca y 75% A.E. de cannabis), E (100% A.E. de chilca). Las mediciones se ejecutaron en los 3 tiempos descritos en el ensayo, es decir a 1, 3 y 5 horas luego de la aplicación del producto, la Figura 2 describe los resultados de los 3 ensayos.

**Tabla 4.** Composición química del aceite esencial de *B. latifolia*.

No.	Nombre	% RDA	ÍR teórico <sup>a</sup>	ÍR exp. <sup>b</sup>
1	$\alpha$ -tujeno	4,77	924	925
2	$\alpha$ -pineno	4,27	932	933
3	canfeno	0,68	946	950
4	tuuja-2,4(10)-dieno	2,39	953	974
5	verbeneno	2,49	961	980
6	$\beta$ -pineno	1,1	974	992
7	3-careno	3,4	1008	1011
8	limoneno	5,6	1024	1032
9	$\beta$ -ocimeno	0,85	1032	1048
10	terpinoleno	0,66	1086	1088
11	gurjuneno	0,68	1409	1406
12	cariofileno	1,3	1417	1420
13	humuleno	1,27	1454	1457
14	$\gamma$ -curcumeno	2,91	1475	1479
15	$\alpha$ -curcumeno	1,97	1483	1484
16	himachaleno	0,26	1481	1486

No.	Nombre	% RDA	ÍR teórico <sup>a</sup>	ÍR exp. <sup>b</sup>
17	E-muurola-4(14),5-dieno	3,41	1493	1498
18	$\beta$ -curcumeno	2,19	1514	1512
19	$\alpha$ -7-epi-selinene	1,98	1520	1523
20	zoraneno	1,01	1529	1529
21	kesano	<b>7,53</b>	1530	1535
22	?-vetiveveno	0,53	1531	1537
23	ligulóxido	<b>14,02</b>	1534	1544
24	spatulenol	2,39	1578	1585
25	óxido de cariofileno	0,25	1582	1589
26	$\alpha$ -10 epi-eudesmol	1,23	1622	1614
27	muurola-4,10(14)-dien-1-ol	0,99	1630	1633
28	epi-cadinol	1,06	1638	1638
29	Z-cadin-4-en-7-ol	<b>5,03</b>	1635	1647
30	$\alpha$ -cadinol	1,46	1652	1655
31	valerianol	0,78	1658	1668
32	andro enecalinalol	<b>9,84</b>	1677	1679
33	$\alpha$ -bisabolol	1,71	1685	1698
34	ciperotundona	2,1	1695	1706
35	No identificado	1,65		1751
36	No identificado	2,82		1764
37	No identificado	1,84		1769
38	No identificado	1,57		1792
Total identificado		92,11		
Total no identificado		7,89		

<sup>a</sup>Índices de retención teórico base de datos de Adams (2012).

<sup>b</sup>Índices de retención experimental comparada con una serie homóloga de hidrocarburos C8-C30.

En la Figura 3 se observa un análisis comparativo entre las formulaciones con los aceites esenciales y el control positivo con diclofenaco.

## 4 Conclusiones

La composición química del aceite esencial de cannabis proporcionada en el certificado de análisis de la empresa Eden Garden Essentials contiene como moléculas mayoritarias al cariofileno, mirceno, humuleno, limoneno y pinenos, esto es similar a lo conseguido en la literatura científica (Malingre y col., 1975; Novak y col., 2001). Tanto para cariofileno (Dahham y col., 2015; Bakır y col., 2008), como para mirceno (Surendran y col., 2021), existen estudios que confirman su actividad antiinflamatoria en diversos ensayos.

A diferencia del aceite esencial de cannabis, el de chilca tiene pocos estudios, lo que no permite tener suficientes fuentes de comparación. El estudio realizado por Valarezo y col. (2013), muestra

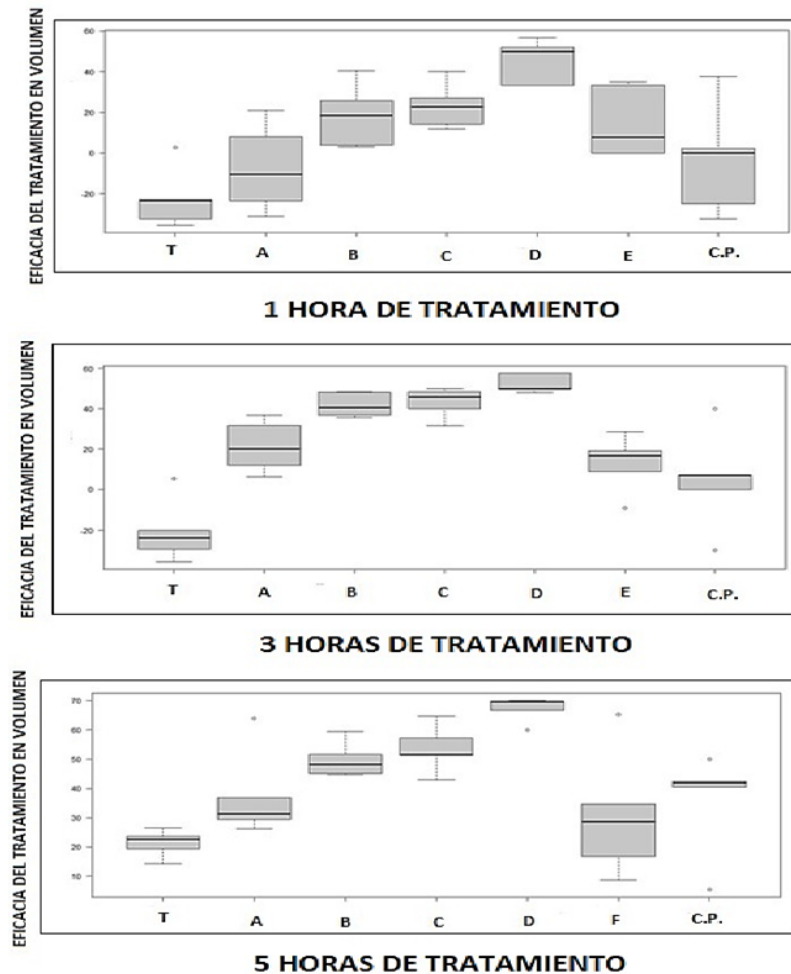
semejanzas y diferencias dentro de la composición química del aceite, lo que podría deberse a las variables ecológicas de los lugares de recolección de la planta. En referencia a los componentes más abundantes en nuestra investigación: ligulóxido, andro enecalinalol y kesano, no se tienen estudios de bioactividad, lo que deja abierta la posibilidad de aislar dichas moléculas y verificar sus propiedades medicinales, entre ellas la antiinflamatoria.

Básicamente todas las formulaciones que contienen aceites esenciales individuales o en mezclas al 1% en la formulación muestran actividad, y si consideramos su comparación con el control positivo (formulación comercial con diclofenaco al 1%), son destacables; sin embargo, aquellas fórmulas de mezclas de aceites esenciales con actividad positiva desde el punto de vista de la significancia estadística presentan una mejor bioactividad antiinflamatoria con respecto al control positivo y a los aceites esenciales puros. Las dos formulaciones más efectivas son aquellas con un 25% de aceite de chilca (250 mg en 100 gramos de ungüento) y 75% de aceite de



cannabis (750 mg en 100 gramos de ungüento) y la que contiene 50% de aceite de chilca (500 mg en 100 gramos de ungüento) y 50% de aceite de cannabis (500 mg en 100 gramos de ungüento), prácticamente en todos los test (1, 3 y 5 horas). La estadística

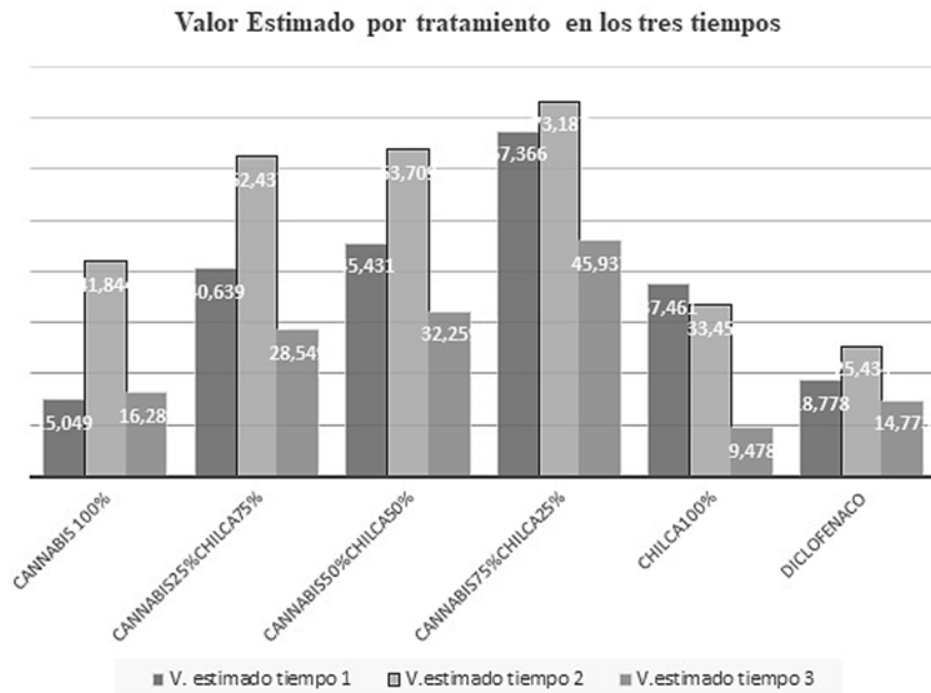
revela su significancia en comparación con el control positivo, lo que nos llevaría a proponerlas como fórmulas posibles en el mercado de los productos naturales.



**Figura 2.** Tratamientos luego de 1 hora, 3 horas, 5 horas: T (muestra testigo), A (100% A.E. cannabis), B (75% A.E. chilca y 25% A.E. cannabis), C (50% A.E. de chilca y 50% A.E. cannabis), D (25% A.E. chilca y 75% A.E. de cannabis), E (100% A.E. de chilca), C.P. (control positivo).

Las cantidades de aceites esenciales empleados son pequeñas, lo que daría como resultado un producto competitivo comercialmente. A esto debemos añadir que la especie *B. latifolia* es abundante en los

Andes del Ecuador y que en el país se empieza a producir cannabis medicinal, en donde los aceites esenciales podrían ser uno de los metabolitos de interés más allá de los cannabinoides.



**Figura 3.** Evaluación comparativa de los tratamientos y del control positivo (formulación del diclofenaco al 1%), en los 3 tiempos de estudio, tiempo 1 (1 hora), tiempo 2 (3 horas) y tiempo 3 (5 horas).

## Agradecimientos

A la Universidad Politécnica Salesiana, por el financiamiento a la investigación adjudicado al Grupo de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas a los Recursos Biológicos (GIDCARB), al proyecto titulado: Optimización de procesos extractivos de metabolitos secundarios de Cannabis sativa (Cáñamo) fase II.

## Referencias

- Abad, M. y P. Bermejo (2007). «Baccharis (Compositae): a review update». En: *Arkivoc* 7.7, 76-96. Online: <https://bit.ly/3RHZFjo>.
- Adams, R. (2012). *Identification of essential oils by ion trap mass spectroscopy*. Academic press.
- Bakır, B. y col. (2008). «Investigation of the anti-inflammatory and analgesic activities of  $\beta$ -caryophyllene». En: *International Journal of Essential Oil Therapeutics* 2.1, 41-44. Online: <https://bit.ly/3e9KYYP>.
- Brown, M., C. Worrell y C. Pariante (2021). «Inflammation and early life stress: An updated review of childhood trauma and inflammatory markers in adulthood». En: *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 211, 173291. Online: <https://bit.ly/3fPVwfS>.
- Cervilla, A., F. Purriños y J. Moya (2002). «Faringitis crónica y macrólidos». En: *Acta Otorrinolaringológica Española* 53.6, 441-443. Online: <https://bit.ly/3VnVKeO>.
- Dahham, S. y col. (2015). «In vivo anti-inflammatory activity of  $\beta$ -caryophyllene, evaluated by molecular imaging». En: *Molecules & Medicinal Chemistry* 1. Online: <https://bit.ly/3TayGhu>.
- Di Sotto, A. y col. (2022). «Phytochemical and pharmacological profiles of the essential oil from the inflorescences of the Cannabis sativa L.» En: *Industrial Crops and Products* 183, 114980. Online: <https://bit.ly/3Mmx2qS>.
- Golia, E. y col. (2014). «Inflammation and cardiovascular disease: from pathogenesis to therapeutic target». En: *Current atherosclerosis reports* 16.9, 1-7. Online: <https://bit.ly/3Mll6FX>.
- Grassmann, J. y col. (2000). «Antioxidant properties of essential oils. Possible explanations for their

- anti-inflammatory effects.» En: *Arzneimittelforschung* 50.2, 135-139. Online: <https://bit.ly/3rMJrLp>.
- INEC (2020). *Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios 2019*. Inf. téc. 01-2020-ECEH. INEC.
- Lochhead, R. y col. (2021). «Lyme arthritis: linking infection, inflammation and autoimmunity». En: *Nature Reviews Rheumatology* 17.8, 449-461. Online: <https://go.nature.com/3CzJcIG>.
- Malingre, T. y col. (1975). «The essential oil of Cannabis sativa». En: *Planta medica* 28.05, 56-61. Online: <https://bit.ly/3RWzUvZ>.
- Miguel, M. (2010). «Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: a short review». En: *Molecules* 15.12, 9252-9287. Online: <https://bit.ly/3fWDXLj>.
- Mortaz, E. y col. (2018). «Update on neutrophil function in severe inflammation». En: *Frontiers in Immunology* 9, 2171. Online: <https://bit.ly/3CMESpB>.
- Murata, M. (2018). «Inflammation and cancer». En: *Environmental health and preventive medicine* 23.1, 1-8. Online: <https://bit.ly/3EGJW1j>.
- Novak, J. y col. (2001). «Essential oils of different cultivars of Cannabis sativa L. and their antimicrobial activity». En: *Flavour and fragrance journal* 16.4, 259-262. Online: <https://bit.ly/3TjgGkX>.
- Nunes, C. y col. (2020). «Plants as sources of anti-inflammatory agents». En: *Molecules* 25.16, 3726. Online: <https://bit.ly/3RWTYye>.
- Oguntibeju, O. (2018). «Medicinal plants with anti-inflammatory activities from selected countries and regions of Africa». En: *Journal of inflammation research* 11, 307. Online: <https://bit.ly/3yC81Cl>.
- Orlando, G. y col. (2021). «Comparative investigation of composition, antifungal, and anti-inflammatory effects of the essential oil from three industrial hemp varieties from Italian cultivation». En: *Antibiotics* 10.3, 334. Online: <https://bit.ly/3Vkj2SH>.
- Pérez, S. y col. (2011). «Anti-inflammatory activity of some essential oils». En: *Journal of Essential Oil Research* 23.5, 38-44. Online: <https://bit.ly/3TjrGPh>.
- Schewe, T. (1995). «Molecular actions of ebselenan antiinflammatory antioxidant». En: *General Pharmacology: The Vascular System* 26.6, 1153-1169. Online: <https://bit.ly/3eoaOIu>.
- Sequeda-Castañeda, L., C. Célis y P. Luengas-Caicedo (2015). «Phytochemical and therapeutic use of Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) pers.(Asteraceae)». En: *Pharmacology* 2, 14-17. Online: <https://bit.ly/3fRoxl8>.
- Shah, P. (2019). «Inflammation, infection and atherosclerosis». En: *Trends in cardiovascular medicine* 29.8, 468-472. Online: <https://bit.ly/3EEcuIM>.
- Surendran, S. y col. (2021). «Myrcene—what are the potential health benefits of this flavouring and aroma agent?» En: *Frontiers in Nutrition*, 400. Online: <https://bit.ly/3T71p6W>.
- Tasneem, S. y col. (2019). «Molecular pharmacology of inflammation: Medicinal plants as anti-inflammatory agents». En: *Pharmacological research* 139, 126-140. Online: <https://bit.ly/3g6WS6o>.
- Urakov, A. y N. Urakova (2021). «Recent insights into the management of inflammation in asthma». En: *Journal of Inflammation Research* 14, 4603. Online: <https://bit.ly/3yzt4p8>.
- Valarezo, Ed. y col. (2013). «Chemical composition, antifungal and antibacterial activity of the essential oil from Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.(Asteraceae) from Loja, Ecuador». En: *Journal of essential oil research* 25.3, 233-238. Online: <https://bit.ly/3SSH8SO>.
- Van Eeden, S. y col. (2012). «The relationship between lung inflammation and cardiovascular disease». En: *American journal of respiratory and critical care medicine* 186.1, 11-16. Online: <https://bit.ly/3RUnuo3>.
- Winter, C., E. Risley y G. Nuss (1962). «Carrageenin-induced edema in hind paw of the rat as an assay for antiinflammatory drugs». En: *Proceedings of the society for experimental biology and medicine* 111.3, 544-547. Online: <https://bit.ly/3T0jkfS>.
- Yatoo, M. y col. (2018). «Anti-inflammatory drugs and herbs with special emphasis on herbal medicines for countering inflammatory diseases and disorders-a review». En: *Recent patents on inflammation & allergy drug discovery* 12.1, 39-58. Online: <https://bit.ly/3ECcJ6Q>.



# CAPACIDAD HOSPEDANTE DE TRES ESPECIES DE SOLANÁCEAS DE LA SECCIÓN LASIOCARPA AL NEMATODO AGALLADOR DE LA RAÍZ *Meloidogyne incognita*

HOST STATUS OF THREE SOLANACEAE SPECIES FROM LASIOCARPA SECTION  
TO ROOT-KNOT NEMATODE *Meloidogyne incognita*

Patricio Castro-Quezada\*<sup>1</sup>, Luis Pacheco-Atariguana<sup>1</sup> y Lourdes  
Díaz-Granda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Biotecnología Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

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

Manuscrito recibido el 21 de octubre de 2020. Aceptado, tras revisión, el 09 de septiembre de 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

## Resumen

El nematodo del nudo de la raíz *Meloidogyne incognita* es una de las especies más peligrosas y comunes que afectan a las solanáceas, entre ellas la naranjilla *Solanum quitoense*. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial reproductivo de un aislamiento de *M. incognita* en tres especies de Solanaceas en invernadero: *Solanum sessiliflorum*, *Solanum hirtum* (reportada anteriormente como resistente) y *S. quitoense* (susceptible). Plantas de las tres especies fueron sembradas en maceta y a las cuatro semanas fueron inoculadas con 2500 huevos más juveniles en estado 2 (J2). El inóculo inicial se obtuvo de raíces infestadas de plantas de *S. quitoense* recolectadas en huertos comerciales de naranjilla. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. Las variables evaluadas a los 80 días después de la inoculación fueron: índice de agallas (GI), factor de reproducción de nematodos (RF), peso seco del área foliar, altura de la planta y diámetro del tallo. Se encontró que las tres especies mostraron agallamiento, pero *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* mostraron el menor número de nudos de raíz con valores de 33,73 y 34,73. Además, *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* presentaron una categoría de resistente/hipersensitivo con factores de reproducción de 0,94 y 0,85 ( $RF > 1$ ) respectivamente, mientras que *S. quitoense* fue susceptible con un valor de 1,56. En términos de rendimiento de follaje (peso seco), altura de la planta y diámetro del tallo se observó una respuesta de tolerancia en *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* en relación a *S. quitoense*.

**Palabras clave:** Capacidad hospedante, hipersensibilidad, nematodo agallador, *Solanum hirtum*, *Solanum sessiliflorum*.

### Abstract

Root knot nematode *M. incognita* is one of the most dangerous and common species affecting Solanaceae family, including the naranjilla crop (*S. quitoense*). The objective of this work was to evaluate three species of Solanaceas as hosts (*S. sessiliflorum*, *S. hirtum* and *S. quitoense*) for an isolated of *M. incognita* in greenhouse. Plants of three species were planted in pots and each plant was inoculated with 2500 eggs and second stage juveniles (J2). Host suitability was assessed 80 days after inoculation. Initial inoculum was obtained from infested roots of *S. quitoense* plants collected in commercial naranjilla orchards. A completely randomized experimental design was used. The variables evaluated at 80 days after inoculation were: gall index (GI), nematode reproduction factor (RF), dry weight of the foliar area, plant height and stem diameter. All species were galled, but *S. sessiliflorum* and *S. hirtum* showed the least number of root knots with values of 33.73 and 34.73. Both were classified as resistant / hypersensitive with reproduction factors of 0.94 and 0.85 (RF > 1) respectively, while *S. quitoense* was susceptible with a value of 1.56. In terms of foliage yield (dry weight), plant height and stem diameter, *S. sessiliflorum* and *S. hirtum* showed a tolerance response in relation to *S. quitoense*.

**Keywords:** Host range, hypersensitive, root-knot nematode, *Solanum hirtum*, *Solanum sessiliflorum*.

---

Forma sugerida de citar: Castro-Quezada, P., Pacheco-Atariguana, L. y Díaz-Granda, L. (2023). Capacidad hospedante de tres especies de Solanáceas de la Sección Lasiocarpa al nematodo agallador de la raíz *Meloidogyne incognita*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):34-43. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.03>.

---

IDs Orcid:

Patricio Castro-Quezada: <http://orcid.org/0000-0002-2366-2256>

Luis Pacheco-Atariguana: <http://orcid.org/0000-0003-1308-0495>

Lourdes Díaz-Granda: <http://orcid.org/0000-0003-0983-723X>

## 1 Introducción

La naranjilla, conocida como “lulo” en Colombia, es un importante cultivo frutal en Ecuador. Es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia Solanaceae. Es considerada la “fruta dorada” de los Andes por el color del fruto, cuyo sabor es ácido y exótico (Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). Según Whalen y Caruso (1983) las solanáceas de la sección Lasiocarpa se encuentran principalmente en el noreste de Sudamérica y probablemente el origen de la naranjilla está ubicado entre Colombia y Ecuador (Morton, 1987; Council, 1989). La principal variedad cultivada es *S. quitoense* Var. *quitoense* sin espinas. La naranjilla es un cultivo subutilizado comúnmente para la elaboración de jugos, helados, jaleas y otros dulces. Sin embargo, este cultivo tiene un considerable potencial económico (Heiser, 1993).

Uno de los mayores desafíos para los productores en nuestro medio es la susceptibilidad de la naranjilla al nematodo del nudo de la raíz *M. incognita* y al hongo *Fusarium oxysporum* (Mosquera-Espinosa, 2016). Los nematodos son parásitos biotróficos capaces de infectar a más de 2000 especies de plantas. Estos parásitos infectan las raíces de las plantas e inducen la formación de células gigantes de alimentación que conducen a una disminución en la nutrición de las plantas y la absorción de agua. Como consecuencia, las plantas pueden mostrar varios síntomas como marchitamiento, retraso del crecimiento, y rendimientos considerablemente reducidos (Barbary y col., 2015; Ralmi, Khandaker y Mat, 2016; El Sappah y col., 2019).

Para hacer frente a *M. incognita*, los agricultores en Ecuador siembran la naranjilla en áreas recientemente desmontadas, libres de nematodos o usan nematicidas aplicados directamente en el suelo (Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). Sin embargo, estos productos pueden generar resistencia, afectar la salud humana y el medio ambiente. Además, actualmente numerosos países, especialmente dentro de la Unión Europea, han prohibido el uso de productos químicos como el carbofuran en el control de nematodos (Caromel y col., 2005; Barbary y col., 2015).

El uso de cultivares resistentes puede ser el método más económico y ambientalmente racional para controlar los nematodos de nudos de raíz (Bar-

bary y col., 2016). En el caso de la naranjilla, la hibridación o el uso de porta injertos de otras especies de solanáceas resistentes a nematodos y compatibles con la naranjilla podría ser la clave para mejorar el rendimiento de la planta (Anderson y col., 2005; Heiser, 1985). Existen varias especies silvestres emparentadas con la naranjilla como: *Solanum tequilense*, *Solanum vestissimum*, *Solanum lasiocarpum*, *Solanum arboretum*, *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* (Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). Entre estas, *S. hirtum* y *S. arboretum* han sido utilizadas como patrones para la variedad ‘Baeza lulo’ (*S. quitoense* var. *quitoense*) desarrolladas por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Sowell y Shively, 2012; Clements y col., 2017).

En algunos casos la hibridación entre *S. quitoense* y parientes silvestres ha resultado en plantas viables como es el caso de *S. quitoense* × *S. hirtum* (Heiser, 1972). Se ha reportado que estos híbridos han dado lugar a plantas en segregación con cierta resistencia a los nematodos del nudo de la raíz (Heiser, 1993; Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). No obstante, las frutas de estos híbridos tienen mal sabor (Heiser, 1972; Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018) y las raíces infectadas por el nematodo presentan el desarrollo de nódulos causados por la penetración del nematodo, lo que indica ausencia de inmunidad (Navarrete y col., 2018). Además, al clasificar como resistente a *S. hirtum* de acuerdo a su capacidad hospedante se tomó en consideración solamente el factor de reproducción y no el índice de agallamiento, tal como propone el esquema modificado de Canto-Saenz (De Almeida, De A Santos y Ryan, 1997; Sasser, Carter y Hartman, 1984).

Con respecto a *S. sessiliflorum* en Ecuador se han producido los híbridos Puyo e INIAP Palora. El híbrido comercial Puyo es resultado de una cruce entre “coccona” (*S. sessiliflorum*) × naranjilla var., Agria (*S. quitoense* Var. *quitoense*). El híbrido INIAP Palora es resultado de la cruce entre la naranjilla var. Baeza (*S. quitoense* Var. *quitoense*), utilizado como progenitor masculino y “coccona” (*S. sessiliflorum*) como progenitor femenino (Revelo y col., 2010). Sin embargo, no existen estudios sobre la capacidad hospedante ni potencial reproductivo de la especie *S. sessiliflorum* para el nematodo agallador. Así, el objetivo de este estudio fue determinar la capacidad hospedante de tres especies de Solanáceas

pertenecientes a la sección Lasiocarpa para un aislado de *M. incognita*.

## 2 Materiales y métodos

En la presente investigación se evaluó la capacidad hospedante de las especies *S. sessiliflorum*, *S. hirtum* y *S. quitoense* para *M. incognita*. Este estudio se realizó en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, provincia del Azuay, a una altitud de 2567 msnm, en las coordenadas UTM 2°55'12.564", 79°1'30.6122". La temperatura promedio en el invernadero durante el experimento varió entre 12 a 32 °C y la humedad relativa entre 60 y 80 %.

La propagación de las plantas de las tres especies se hizo a partir de semillas recolectadas en la provincia de Morona Santiago (Oriente del Ecuador). Las semillas se sembraron en bandejas de germinación con sustrato estéril (turba). A los dos meses las plántulas de las tres especies fueron sembradas en macetas de 2 Kg con sustrato esterilizado compuesto de suelo franco (orden Vertisol), tierra negra de cerro y bocashi (4:4:2).

El inóculo de *M. incognita* se obtuvo de plantas de naranjilla recolectadas en la provincia de Morona Santiago. Para la identificación de la especie de nematodo se utilizaron los iniciadores o cebadores específicos MI-F GTGAGGATTCAGCTCCC-CAG y MI-R ACGAGGAACATACTTCTCCGTCC (Martínez-Gallardo y col., 2019). Las reacciones de amplificación se realizaron en un termociclador Eppendorf Mastercycler NexusGSX1, en un volumen final de 25  $\mu$ l que contuvo 2,5  $\mu$ l de buffer (10X) (Invitrogen), 0,5  $\mu$ l de cada dNTP (10 mM), 1,5  $\mu$ l de MgCl<sub>2</sub> (50 mM), 2,5  $\mu$ l de cada primer (100  $\mu$ M), 0,2  $\mu$ l de Taq polimerasa (Invitrogen, 5 u  $\mu$ L<sup>-1</sup>) y 1  $\mu$ l de ADN (10 ng/ $\mu$ l). Para la PCR se realizó una desnaturalización inicial a 94 °C durante 2 min, seguida de 35 ciclos de 94 °C durante 30 s, 64 °C durante 30 s y 68 °C durante 1 min, seguidos de una extensión final a 72 °C por 5 min. Las muestras se analizaron en un gel de agarosa al 1% con bromuro de etidio (0,25  $\mu$ g ml<sup>-1</sup>) y se visualizaron en un transiluminador UV BioRad. Un marcador molecular de 1 kpb (Invitrogen) se utilizó como estándar molecular.

La población de *M. incognita* fue multiplicada

en plantas de tomate riñon var. Sheila en invernadero en macetas de 2 Kg con sustrato esterilizado y se mantuvo en el invernadero del Departamento de Fitopatología de la Universidad de Cuenca. Las plántulas de tomate fueron inoculadas con 20 mL del extracto obtenido de raíces infectadas de naranjilla. La inoculación se hizo en cuatro agujeros de 3 cm de profundidad alrededor de la plántula de tomate. Después de 60 días, las raíces infectadas fueron procesadas de acuerdo a la metodología de extracción de Hussey (1973) utilizando hipoclorito de sodio al 0,5% (NaClO). Para la extracción de huevos se usó un estereoscopio óptico para identificar huevos y larvas de *M. incognita* incrustadas en las masas ovals. Las masas se separaron del tejido vegetal con tamices de 150 y 25  $\mu$ m poros y se colocaron en cajas Petri que permanecieron durante 72 horas a una temperatura de 28 °C, para permitir la eclosión de los huevos de nematodos y emergencia de nematodos juveniles en estado J2.

Este inóculo sirvió para infestar plántulas de 4 semanas de las especies *S. sessiliflorum*, *S. hirtum* y *S. quitoense*. Cada planta se inoculó con 2500 huevos más juveniles en estado 2 (J2). La inoculación se hizo colocando 2 mL de la suspensión del inóculo en cuatro hoyos de 3 cm de profundidad alrededor de la base de cada planta. Luego se rellenaron los agujeros con tierra. En las plantas control se colocó agua esterilizada en lugar del inóculo.

A los 80 días de inoculación, las raíces de las plantas de las tres especies se lavaron individualmente con agua de la llave (agua corriente). Se eliminó el exceso de agua con toallas de papel y se tiñó con Floxine B para facilitar el recuento de las masas de huevos (Taylor y Sasser, 1978). El índice de agallas por raíz (GI) se obtuvo mediante una escala de calificación de 0-5 (0 = sin agallas, 1 = 1-2 agallas, 2 = 3-10 agallas, 3 = 11-30 agallas, 4 = 31-100 agallas, 5 = >100 agallas) (Taylor y Sasser, 1978). Los huevos fueron extraídos de cada raíz con hipoclorito de sodio al 0,5% (NaClO) (Hussey, 1973) y se contaron para determinar la densidad final de la población (Pf) (Oostenbrink, 1966). La densidad de la población final de nematodos (Pf) se estimó como el número total de J2 y huevos extraídos de las raíces de cada planta y se calculó el factor de reproducción  $RF = Pf / Pi$  (Bybd, Kirkpatrick y Barker, 1983). El estado del huésped se determinó mediante el índice de agallas (GI) y el factor de

reproducción de acuerdo al esquema modificado de Canto-Saenz (De Almeida, De A Santos y Ryan, 1997; Sasser, Carter y Hartman, 1984). Las plantas con un GI > 2 se definen como susceptibles (RF > 1) o resistentes/hipersensibles (RF ≥ 1); las plantas con un GI ≤ 2 se definen como resistentes (RF ≥ 1) o tolerantes (RF > 1) (Sasser, Carter y Hartman, 1984; De Almeida y De A Santos, 2002; Maleita y col., 2011).

También se registraron las variables: número de nudos por raíz, peso seco del área foliar (g), altura de la planta (cm) y diámetro del tallo (cm). Para la variable peso seco del área foliar para cada plántula se colocó en fundas de papel y se secó en un horno Nabertherm a 60 °C durante 72 horas. Luego se pesó con una balanza digital Boeco BWL 61.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. La distribución normal de las observaciones de cada especie se determinó por la prueba modificada de Shapiro Wilk con niveles de significación de P < 0,05 y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza con medias separadas por la prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de nivel de significancia con el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo y col., 2008).

### 3 Resultados

Los resultados del experimento mostraron que las especies *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* variaron en su capacidad hospedante con relación a *S. quitoense* para *M. incognita*. La especie *M. incognita* utilizada como inóculo se verificó mediante PCR, con iniciadores específicos para la especie. Se visualizó una banda visible de aproximadamente 1000 pb, resultado esperado para la región 28S ARNr del nematodo en las tres especies (Hu, Zhuo y Liao, 2011; Martínez-Gallardo y col., 2019).

Las tres especies infectadas permitieron el desarrollo del nematodo. Sin embargo, se presentó un distinto grado de agallamiento y reproducción para las tres especies analizadas. Para el factor de reproducción (RF) se presentaron diferencias significativas entre *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* en relación con la especie control *S. quitoense* (Tabla 1). Se observó una diferencia en la reproducción para *S. quitoense* con un de 1,56 (RF > 1), mientras que los valores de RF variaron entre 0,85 para *S. hirtum* y 0,94 para *S. sessiliflorum*. *S. sessiliflorum*, y a pesar de favorecer la multiplicación de nematodos no fue estadísticamente diferente de la especie reportada como resistente *S. hirtum* (Navarrete y col., 2018).

**Tabla 1.** Estado del huésped de tres especies de Solanáceas para *M. incognita* evaluadas 80 días después de la inoculación con 2500 huevos + juveniles (J2) por planta

Especie	GI <sup>1</sup>	Pf <sup>2</sup>	Número promedio de agalladuras	RF <sup>3</sup>	Capacidad hospedante <sup>4</sup>
<i>S. sessiliflorum</i>	3,4	1888,5 ± 259,1 a	33,73 ± 13,89 a	0,94	R <sup>H</sup>
<i>S. hirtum</i>	3,4	1702,3 ± 252,9 a	34,73 ± 18,09 a	0,85	R <sup>H</sup>
<i>S. quitoense</i>	4,9	3125,9 ± 259,1 b	167,87 ± 34,68 b	1,56	S

<sup>1</sup> GI = Índice de agallas (0-5): 0= sin agallas ni masas de huevos; 1 = 1 a 2 agallas o masas de huevos; 2 = 3 a 10 agallas o masas de huevos; 3 = 11 a 30 agallas o masas de huevo; 4 = 31 a 100 agallas o masas de huevos; 5 = >100 agallas o masas de huevo por raíz

<sup>2</sup>Pf = Densidad poblacional final (J2 + huevos). Los datos Pf son medias de tres réplicas ± desviación estándar (Los valores medios seguidos de la misma letra no difieren según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad)

<sup>3</sup>RF Factor de reproducción

<sup>4</sup>Categorías de estado del huésped R<sup>H</sup> = Resistente/hipersensitivo (RF ≤ 1 y GI > 2) y S=susceptible (RF > 1 y GI > 2)



En cuanto al índice de agallas (GI) para las tres especies también se observó un menor nivel de agallamiento para *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* con respecto a *S. quitoense*. Los valores de índice de agallas tuvieron un valor de 3,4 para las especies *S. sessiliflorum* (agallas = 33,73) y *S. hirtum* (agallas = 34,73), sin diferencia estadística; mientras que *S. quitoense* usado como control tuvo un valor de 4,9 (agallas = 167,87), confirmando la viabilidad del inóculo. *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* fueron categorizados como resistente/hipersensitivo de acuerdo a la clasificación propuesta por Canto-Saenz (De Almeida, De

A Santos y Ryan, 1997; Sasser, Carter y Hartman, 1984). Para las variables peso seco del área foliar, altura de la planta y diámetro del tallo (Tabla 2), se observó tolerancia a los nematodos para *S. sessiliflorum* y *S. hirtum*, con respecto a *S. quitoense*, en la cual los valores de *p* mostraron diferencias significativas al nivel del 1% entre plantas inoculadas y plantas no inoculadas. Así para la variable peso seco del área foliar se obtuvo un valor de 8,44 vr 10,57. Para altura de la planta 16,33 vr 18,20 y para el diámetro del tallo 0,91 vr 1,08, respectivamente.

**Tabla 2.** Respuesta para las variables peso seco del área foliar, diámetro del tallo y altura de planta en tres especies de Solanáceas inoculadas con *M. incognita*.

Especie	Plantas Inoculadas	Plantas no inoculadas	Respuesta
<b>Peso seco del área foliar (g)</b>			
<i>S. sessiliflorum</i>	6,12 ± 0,58 a	5,73 ± 0,12 a	Tolerante
<i>S. hirtum</i>	8,18 ± 0,52 a	8,30 ± 0,56 a	Tolerante
<i>S. quitoense</i>	8,44 ± 0,46 a	10,53 ± 0,25 b	No tolerante
<b>Altura de planta (cm)</b>			
<i>S. sessiliflorum</i>	8,15 ± 0,74 a	9,33 ± 0,58 a	Tolerante
<i>S. hirtum</i>	15,92 ± 1,13 a	15,33 ± 1,04 a	Tolerante
<i>S. quitoense</i>	16,33 ± 0,94 a	18,20 ± 0,56 b	No tolerante
<b>Diámetro de tallo (cm)</b>			
<i>S. sessiliflorum</i>	0,89 ± 0,035 a	0,91 ± 0,03 a	Tolerante
<i>S. hirtum</i>	0,87 ± 0,052 a	0,81 ± 0,051 a	Tolerante
<i>S. quitoense</i>	0,91 ± 0,051 a	1,08 ± 0,045 b	No tolerante

Medias con letras diferentes entre plantas inoculadas y plantas no inoculadas indican diferencias altamente significativas ( $P < 0,001$ ).

Los valores de la tabla corresponden a las medias y su desviación estándar.

## 4 Discusión

En Ecuador la naranjilla o lulo tiene una alta incidencia del nematodo agallador. *M. incognita* es un patógeno de muchos cultivos, incluyendo Solanáceas en los 5 continentes. El nematodo causa daño en la planta a nivel de las raíces, reduciendo el rendimiento, e incluso con el paso del tiempo podría conducir a la muerte de la planta (Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). Dentro de la sección Lasiocarpa se han reportado diferentes especies emparentadas a la naranjilla que podrían presentar resistencia al nematodo agallador de la raíz (Heiser, 1972; Heiser, 1993; Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018).

Aquí se reporta la capacidad hospedera de tres especies a *M. incognita*: *S. sessiliflorum*, *S. hirtum* y *S. quitoense*. La especie de nematodo se verificó mediante la amplificación por PCR con iniciadores específicos. El análisis BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) de las secuencias de los iniciadores MF y MR mostraron que son específicos de *M. incognita*, con coincidencias del 100% con respecto a las secuencias disponibles en el National Center for Biotechnology Information (NCBI). Estos resultados indican que los iniciadores son sensibles para la especie estudiada plantas (Hu, Zhuo y Liao, 2011; Martínez-Gallardo y col., 2019); y que las condiciones de la PCR son ideales para la detección rápida y confiable del patógeno en agallas para diferentes especies de solanáceas, como lo demostraron Nava-

rrete y col. (2018).

La resistencia al nematodo agallador se define como la capacidad de una planta para suprimir el desarrollo o la reproducción (Sasser, Carter y Hartman, 1984; Roberts, 2002; Dong y col., 2007) o la capacidad de un huésped para suprimir la enfermedad (Sasser, Carter y Hartman, 1984; Roberts, 2002). En general, los nematólogos y genetistas han evaluado la resistencia al nematodo agallador en diferentes cultivos basándose en el índice de agallas de la raíz y/o producción en masa de huevos (Holbrook, Timper y Xue, 2000; Timper, Holbrook y Xue, 2000) o conteos de huevos (Choi y col., 1999). Otros autores también han utilizado el recuento de agallas para evaluar la resistencia al nematodo agallador en las plantas (Harris y col., 2003; Navarrete y col., 2018; Correia y col., 2019). El número de agallas y el grado de excoriación pueden usarse para reflejar la capacidad de una planta para disminuir o superar el ataque del nematodo agallador (Dong y col., 2007).

Para el caso de la naranjilla no existen muchos estudios sobre la resistencia a *M. incognita*. Navarrete y col. (2018) evaluaron la resistencia en diferentes solanáceas, pero basada únicamente en el factor de reproducción. Esta investigación señala a la especie *S. quitoense* como susceptible y a la especie *S. hirtum* como resistente a *M. incognita*, en condiciones de invernadero. Así, *S. hirtum* no presentó inmunidad al nematodo agallador al permitir la penetración de los nematodos y la presencia de nódulos o agallas en la raíz. En cambio, si tiene incidencia sobre la capacidad reproductiva del patógeno. En ese estudio se evaluó a *S. hirtum* y *S. quitoense*, pero no se incluyó a *S. sessiliflorum* para evaluar el nivel de resistencia al nematodo agallador.

En el presente estudio los resultados corroboran que *S. quitoense* fue considerada susceptible (RF cercano a 5,0) y buen huésped (RF = 1,1 - 5,0) de acuerdo con De Almeida y De A Santos (2002) e Ibrahim, Lewis y Harshman (1993) respectivamente, como fue señalado anteriormente por Navarrete y col. (2018). Para el factor de reproducción, *S. quitoense* excedió la población inicial (3125 huevos más J2). En cambio, según los resultados del presente estudio *S. hirtum* y *S. sessiliflorum* fueron considerados como resistentes/hipersensitivos (si se toma en consideración el RF y el GI de acuerdo a la clasifi-

ción de Canto Saenz) o huéspedes pobres (RF < 1) (Maleita y col., 2011).

El RF estimado para la variable de población final de nematodos indica que hubo una respuesta de resistencia hipersensible en *S. sessiliflorum* y *S. hirtum*, porque la media de huevos más J2 (1888 y 1702 respectivamente) fue inferior a la población inicial del nematodo (2500 huevos más J2) y el factor de reproducción fue inferior a 1. Tanto *S. hirtum*, como *S. sessiliflorum* no presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la reacción de resistencia. Se ha postulado que *S. hirtum* podría utilizarse como patrón de *S. quitoense*, susceptible a los nematodos (Navarrete y col., 2018). Los resultados de este trabajo sugieren que la especie *S. sessiliflorum*, al presentar el mismo nivel de resistencia hipersensible que *S. hirtum*, también podría considerarse para ser utilizada como patrón o en un programa de selección de la naranjilla frente al nematodo.

El GI de *M. incognita* atribuido a las especies bajo evaluación mostró una relación con la RF del nematodo. En el experimento para *S. sessiliflorum* y *S. hirtum*, la GI presentó valores intermedios. Valores bajos o intermedios de GI demuestra la dificultad de los nematodos para establecer el parasitismo en las raíces de estas especies o cultivares, tal como se obtuvo en cultivares de lechuga (Correia y col., 2019).

En cuanto a las variables peso seco del área foliar, altura de la planta y diámetro del tallo, se encontraron diferencias significativas entre *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* con relación a *S. quitoense*. Navarrete y col. (2018) no encontraron una diferencia significativa para la variable peso seco del área foliar para *S. hirtum* entre plantas inoculadas y no inoculadas, clasificándola como tolerante de acuerdo a los criterios de Cook (1974), mientras que *S. quitoense* fue clasificada como no tolerante al haber diferencias entre plantas inoculadas y plantas no inoculadas. En este trabajo también se han encontrado diferencias en relación a la altura de planta y diámetro del tallo entre las especies *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* con relación a *S. quitoense*, variables que posiblemente están relacionadas con la respuesta de tolerancia. Sin embargo, será necesario realizar investigaciones adicionales para visualizar estos resultados en términos de rendimiento en condiciones de campo, tal

como ha sido propuesto por Navarrete y col. (2018).

Desde el punto de vista del mejoramiento o el uso como patrones, sería interesante tener una respuesta de resistencia similar a la inmunidad, que se caracteriza por la ausencia total de agallas en las raíces y ausencia de células gigantes en el cilindro vascular. Estas son inducidas por el ataque de nematodos y restringen el flujo de agua y la absorción adecuada de nutrientes en plantas susceptibles (Correia y col., 2019). Para el caso de la naranjilla, a pesar de haberse realizado estudios en diferentes especies de Solanáceas no se ha encontrado una especie que impida la penetración del nematodo o el desarrollo de agallas en las raíces de las plantas, ni siquiera en especies silvestres que no tienen valor comercial (Heiser, 1972; Heiser, 1993; Navarrete y col., 2018; Ramírez, Kallarackal y Davenport, 2018). No obstante, a pesar de mostrar agallamiento tanto entre *S. sessiliflorum* como *S. hirtum* podrían utilizarse en selección o como patrones para el cultivo de naranjilla. La variabilidad observada en los valores de Pf y RF para estas especies puede reflejar una influencia de los antecedentes genéticos de las plantas que podría ser utilizada en programas de mejoramiento de *S. quitoense* contra los nematodos de nudo de la raíz.

## 5 Conclusión

El conocimiento de la capacidad hospedante de *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* basados en el RF y GI es particularmente útil para continuar con un plan de mejoramiento genético en el cultivo de la naranjilla y observar el comportamiento de especies utilizadas como patrones en áreas fuertemente infestadas por el nematodo agallador. *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* presentaron una diferente capacidad hospedante con respecto a *S. quitoense* para el nematodo *M. incognita* y ambas especies podrían utilizarse como una alternativa en un programa de manejo integrado de plagas, ya que la exposición repetida de *S. quitoense* en el campo podría conducir a una selección de aislamientos virulentos del nematodo.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento especial a Erika Reyna por su ayuda en la evaluación del número de agallas por raíz. El presente trabajo fue fi-

nanciado por la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Cuenca (DIUC).

## Referencias

- Anderson, G. J. y col. (2005). «A new synthetic allopolyploid Naranjilla, *Solanum indianense* (Solanaceae)». En: *Novon a journal of botanical nomenclature from the Missouri Botanical Garden* 15, 290-292. Online: <https://bit.ly/3FeNd5q>.
- Barbary, A. y col. (2015). «Host genetic resistance to root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., in Solanaceae: from genes to the field». En: *Pest management science* 71.12, 1591-1598. Online: <https://bit.ly/3GwS1mL>.
- Barbary, A. y col. (2016). «Plant genetic background increasing the efficiency and durability of major resistance genes to root-knot nematodes can be resolved into a few resistance QTLs». En: *Frontiers in plant science* 7, 632. Online: <https://bit.ly/3IIwfOH>.
- Bybd, D., T. Kirkpatrick y K. Barker (1983). «An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes». En: *Journal of nematology* 15.1, 142-143. Online: <https://bit.ly/3EJTFkA>.
- Caromel, B. y col. (2005). «Resistance quantitative trait loci originating from *Solanum sparsipilum* act independently on the sex ratio of *Globodera pallida* and together for developing a necrotic reaction». En: *Molecular plant-microbe interactions* 18.11, 1186-1194. Online: <https://bit.ly/3rWMdPy>.
- Choi, K. y col. (1999). «Genetics and mechanism of resistance to *Meloidogyne arenaria* in peanut germplasm». En: *Journal of Nematology* 31.3, 283-290. Online: <https://bit.ly/3rVVnvm>.
- Clements, C. y col. (2017). «Graft is good: the economic and environmental benefits of grafted naranjilla in the Andean region». En: *Renewable Agriculture and Food Systems* 32.4, 306-318. Online: <https://bit.ly/30gLHjV>.
- Cook, R. (1974). «Nature and inheritance of nematode resistance in cereals». En: *Journal of Nematology* 6.4, 165. Online: <https://bit.ly/3lXdtrC>.
- Correia, É. y col. (2019). «Response of lettuce cultivars to *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita* race 1 and 21». En: *Revista Ciência Agronômica* 50, 100-106. Online: <https://bit.ly/3lWtNKN>.

- Council, N.R. (1989). *Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. National Academies Press.
- De Almeida, A. y M. De A Santos (2002). «Resistance and host-response of selected plants to *Meloidogyne megadora*». En: *Journal of nematology* 34.2, 140-142. Online:https://bit.ly/3q4KPI7.
- De Almeida, A., M. De A Santos y M. Ryan (1997). «Host status of selected plant species for *Meloidogyne megadora*». En: *Nematologica* 27.1, 1-6. Online:https://bit.ly/3GCN4cf.
- Di Rienzo, J. y col. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Inf. téc. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dong, W. y col. (2007). «Comparison of methods for assessing resistance to *Meloidogyne arenaria* in peanut». En: *Journal of nematology* 39.2, 169. Online:https://bit.ly/31OXWo8.
- El Sappah, A. y col. (2019). «Tomato natural resistance genes in controlling the root-knot nematode». En: *Genes* 10.11, 925. Online:https://bit.ly/3IFI9cb.
- Harris, D. y col. (2003). «Additional sources of soybean germplasm resistant to two species of root-knot nematode». En: *Crop science* 43.5, 1848-1851. Online:https://bit.ly/3ygrwjl.
- Heiser, C.B. (1972). «The relationships of the naranjilla, *Solanum quitoense*. Biotropica. Association for Tropical Biology and Conservation». En: *Biotropica* 4.2, 77-84. Online:https://bit.ly/3q6n7Ln.
- (1985). «Ethnobotany of the naranjilla (*Solanum quitoense*) and its relatives». En: *Economic Botany* 39.1, 4-11. Online:https://bit.ly/3ydYkZD.
- (1993). «Gene Conservation and Exploitation». En: Springer. Cap. The Naranjilla (*Solanum quitoense*), The Cocona (*Solanum sessiliflorum*) and Their Hybrid, 29-34.
- Holbrook, C., P. Timper y H. Xue (2000). «Evaluation of the core collection approach for identifying resistance to *Meloidogyne arenaria* in peanut». En: *Crop Science* 40.4, 1172-1175. Online:https://bit.ly/3oG83EO.
- Hu, M., K. Zhuo y J. Liao (2011). «Multiplex PCR for the simultaneous identification and detection of *Meloidogyne incognita*, *M. enterolobii*, and *M. javanica* using DNA extracted directly from individual galls». En: *Phytopathology* 101.11, 1270-1277. Online:https://bit.ly/3oKL6QO.
- Hussey, R. (1973). «A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique». En: *Plant Disease Report* 57, 1025-1028. Online:https://bit.ly/3dItoac.
- Ibrahim, I., S. Lewis y D. Harshman (1993). «Host suitability of graminaceous crop cultivars for isolates of *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita*». En: *Journal of Nematology* 25.4S, 858-862. Online:https://bit.ly/3pJ3n0h.
- Maleita, C. M. y col. (2011). «Effect of the Mi gene on reproduction of *Meloidogyne hispanica* on tomato genotypes». En: *Nematology* 13.8, 939-949. Online: https://bit.ly/3q0s4oQ.
- Martínez-Gallardo, J. y col. (2019). «Identification and distribution of *Meloidogyne* spp. in tomato in Sinaloa México». En: *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10.2, 453-459. Online:https://n9.cl/s1xan.
- Morton, J. (1987). *Fruits of warm climates*. Echo Point Books Media.
- Mosquera-Espinosa, A. (2016). «Fitonematodos asociados a *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., *Solanum quitoense* Lam. y *Daucus carota* L. en el Departamento de Boyacá, Colombia». En: *Acta Agronómica* 65.1, 87-97. Online:https://n9.cl/pqc0x.
- Navarrete, X. y col. (2018). «Parasitism of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) chitwood in five wild Solanaceae species». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 71.1, 8367-8373. Online:https://n9.cl/p2mil.
- Oostenbrink, M. (1966). *Major characteristics of the relation between nematodes and plants*. Inf. téc. 66-4. Wageningen: Veenman (Mededelingen / Landbouwhogeschool Wageningen).
- Ralmi, N., M. Khandaker y N. Mat (2016). «Occurrence and control of root knot nematode in crops: a review». En: *Australian Journal of Crop Science* 11.12, 1649-1654. Online:https://n9.cl/3wv09.
- Ramírez, F., J. Kallarackal y T. Davenport (2018). «Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review». En: *Scientia horticulturae* 238, 163-176. Online:https://bit.ly/31RreTk.
- Revelo, J. y col. (2010). *Manual del cultivo ecológico de la naranjilla*. Inf. téc. INIAP.
- Roberts, P. (2002). «Plant Resistance to Parasitic Nematodes». En: CAB International. Cap. Concepts and consequences of resistance, págs. 31-42.

- Sasser, J., C. Carter y K. Hartman (1984). *Standardization of host suitability studies and reporting of resistance to root-knot nematodes*. Inf. téc. Department of Plant Pathology, North Carolina State University.
- Sowell, A. y G. Shively (2012). «Economic and environmental impacts of grafted naranjilla». En: *Forests, Trees and Livelihoods* 21.1, 30-43. Online:<https://bit.ly/3UwxIE>.
- Taylor, A. y J. Sasser (1978). *Biology, identification, and control of root-knot nematodes (Meloidogyne spp.)* Fundamental y Applied Nematology.
- Timper, P., C. Holbrook y H. Xue (2000). «Expression of nematode resistance in plant introductions of *Arachis hypogaea*». En: *Peanut Science* 27.2, 78-82. Online:<https://n9.cl/fqwc7>.
- Whalen, M. y E. Caruso (1983). «Phylogeny in *Solanum* sect. *Lasiocarpa* (Solanaceae): congruence of morphological and molecular data». En: *Systematic Botany* 8.4, 369-380. Online:<https://n9.cl/klxh2>.



# COGESTIÓN DEL AGUA ENTRE ACTORES PÚBLICOS Y COMUNITARIOS COMO HERRAMIENTA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL: EL CASO DE LA COMUNA SANTA CLARA DE SAN MILLÁN, DM QUITO

WATER CO-MANAGEMENT BETWEEN PUBLIC AND COMMUNITY ACTORS AS A  
TOOL FOR ADAPTATION TO GLOBAL CLIMATE CHANGE: THE CASE OF SANTA  
CLARA DE SAN MILLÁN COMMUNE, DM QUITO

Daniel Pacheco-Peña<sup>1</sup>, Luis Lema-Quinga<sup>2</sup>, y Patricio Yáñez-Moretta<sup>\*3,4</sup>

<sup>1</sup>Maestrante del Programa de Maestría en Sostenibilidad y Planificación de la Conservación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Av. 12 de Octubre y Carrión. Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Consultor Ambiental independiente. Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay: Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería. Ciudad del Conocimiento 100119, Urcuquí, Ecuador.

<sup>4</sup>Universidad Internacional del Ecuador: Carreras de Gestión Ambiental y de Turismo. Av. Simón Bolívar y Jorge Fernández s/n, Quito, Ecuador.

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

Manuscrito recibido el 6 de agosto de 2021. Aceptado, tras revisión, el 07 de febrero de 2022. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

## Resumen

La gestión del agua en comunidades rurales, urbanas y periurbanas es un tema prioritario para el desarrollo del ser humano; en el presente artículo se puntualizan ideas relacionadas con la cogestión adecuada de este recurso (entre actores comunitarios y públicos) como una herramienta de adaptación a escenarios contemporáneos de Cambio Climático Global. El área de estudio corresponde a una zona periurbana de Quito. Se ordenó y procesó la información con el software ATLAS.ti y un sistema de información geográfica; la normativa vigente fue jerarquizada a través de una Pirámide de Kelsen. Los resultados generados se dividen en tres apartados que conceptualizan las bases para un adecuado manejo del agua, considerando modelos de gestión con enfoque territorial y medidas de adaptación al Cambio Climático ejecutadas a través de la cogestión entre actores. Este modelo de acción constituye una herramienta consistente para el manejo del recurso agua, así como de otros recursos naturales.

**Palabras clave:** Cogestión del agua, Quito, Comuna Santa Clara de San Millán, adaptación al Cambio Climático,

normativa legal, gestión territorial.

---

### Abstract

Water management in rural, urban, and peri-urban communities is a priority topic for human development. In this article, ideas related to the adequate co-management of this resource (between community and public actors) are specified as a tool for adaptation to contemporary scenarios of Global Climate Change. The study area corresponds to a peri-urban zone of Quito. The information was ordered and processed using ATLAS.ti software and a geographic information system; current regulations were ranked through a Kelsen Pyramid. The results generated are divided into three sections that conceptualize the bases for adequate water management, considering management models with a territorial approach and adaptation measures to Climate Change made by co-management actors. This action model generates a consistent tool for managing water resources, as well as other natural resources.

**Keywords:** Water Co-management, Quito, Santa Clara de San Millán Commune, Climate Change adaptation, legal regulations, territorial management.

---

Forma sugerida de citar: Pacheco-Peña, D., Lema-Quinga, L. y Yáñez-Moreta, P. (2023). Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al Cambio Climático Global: el caso de la Comuna Santa Clara de San Millán, DM Quito. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 37(1):44-57. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.04>.

---

IDs Orcid:

Daniel Pacheco Peña: <http://orcid.org/0000-0002-4299-3122>

Luis Lema Quinga: <http://orcid.org/0000-0002-7834-7595>

Patricio Yáñez Moreta: <http://orcid.org/0000-0003-4436-7632>

## 1 Introducción

Desde tiempos remotos el agua ha sido considerada como fuente de vida y como un símbolo sagrado para las comunidades, nacionalidades y pueblos indígenas de Los Andes; sin embargo, históricamente ellos han sido relegados y privados de varios derechos, entre ellos el de acceder a este recurso en condiciones de calidad y cantidad adecuadas, requeridas para una correcta salud humana (Boelens, 2011). Si revisamos la historia, el agua siempre ha sido un elemento que genera discordia y enfrentamientos, no solo por la calidad del recurso, sino también por las iniciativas de establecer normas para su uso. En Latinoamérica, desde la época de la colonia se han visto favorecidos aquellos grupos más influyentes. En el período republicano los cambios realizados fueron muy pocos o nulos, y el agua siguió siendo acaparada por grupos de poder y personajes influyentes en la sociopolítica (Granda, Dubly y Borja, 2004); incluso en la actualidad, las fuentes de agua siguen siendo muy atractivas por las grandes empresas prestadoras del servicio en las ciudades (Gómez, 2009).

Como respuesta a estas realidades, en la zona andina de Ecuador se han originado iniciativas de manejo coparticipativo de este recurso; una de ellas, por ejemplo, en la que interviene la cooperación entre actores comunitarios, estatales e internacionales, es el Proyecto de Agua Potable Regional Pesillo en Imbabura, en el cual se destacan como hitos para la cogestión del agua el acceso, la disponibilidad, el diseño del proyecto, el financiamiento, la ejecución y la administración (Perugachi y Cachipundo, 2020); siendo estos los elementos primordiales que permiten una adecuada gestión del recurso.

Las principales debilidades de los sistemas de agua comunitarios, generalmente manejados por juntas de agua y saneamiento, giran en torno a la falta de recursos económicos y diseños técnicos que permiten hacer más eficientes sus sistemas de captación, transporte, potabilización y distribución del servicio (Molina, Pozo y Serrano, 2018).

Para Pinos (2020), una buena gestión del agua forma parte de un metabolismo urbano y rural saludable, y suele depender del grado de gobernanza que tengan los actores. Sandoval y Günther (2013) mencionan, por ejemplo, que el manejo íntegro del

agua suele estar compuesto por actores públicos, sociales y privados; mientras que la competencia de regulación del agua está a cargo del ente de control ambiental, para nuestro país: el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAAE).

En la zona andina de Ecuador, pocas son las comunas ancestrales que han contado con fuentes de agua de manejo propio, fomentando su gestión y conservación; una de ellas, adyacente a la ciudad de Quito, es la Comuna Santa Clara de San Millán (en adelante, denominada simplemente *Comuna* o *CSCSM*) (Pacheco, 2019); la misma que originalmente estaba separada de la ciudad y que debido al paso del tiempo y al consecuente crecimiento poblacional de la urbe se ha integrado paulatinamente como elemento periurbano.

Los cambios de uso de suelo han provocado que esta *Comuna* ceda parte de su territorio y de sus recursos, transformándolos en la actualidad en espacios de características urbanas (Jácome, 2018; Pacheco, 2019). Cabe mencionar de forma breve que la lucha por el agua no ha sido un proceso ajeno para las personas de esta *Comuna*; por ejemplo, existen antecedentes que denotan la intervención de entidades ajenas a ella y que desencadenaron conflictos por la gestión del recurso: el primero, con la ciudadela Mariana de Jesús en 1936 y el segundo, con la Universidad Central del Ecuador en 1955 (Jácome, 2018).

La *Comuna* actualmente tiene un sistema interno de manejo del agua para consumo humano, el mismo que está gestionado por un grupo conocido como "Junta de Agua de la Comuna Santa Clara de San Millán" (Pacheco, 2019); este sistema y el funcionamiento de la Junta se encuentra fundamentado en el Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua (LORHUyA) (Presidencia de la República del Ecuador, 2014), en la cual se establece que las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS) son grupos comunitarios, sin fines de lucro, que tienen como finalidad prestar el servicio público de agua potable en zonas rurales o periurbanas, en donde los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) municipales no han podido lograrlo a través de sus empresas públicas. Se debe mencionar que dichas organizaciones tienen



autonomía administrativa, financiera y de gestión para cumplir con sus funciones, mismas que suelen incluir un servicio eficaz y eficiente para sus beneficiarios (Martínez y Abril, 2020).

Igualmente, cabe mencionar que la gestión del agua se encuentra relacionada también con los cambios de uso de suelo que modifican el ambiente local y contribuyen a aumentar la variabilidad relacionada con el Cambio Climático (Yáñez y col., 2011; Yáñez y col., 2012), uno de sus efectos negativos se evidencia en las aguas subterráneas que no alcanzan el tiempo habitual de recarga; por lo tanto, los caudales subterráneos y superficiales cercanos disminuyen, haciendo que la disponibilidad del recurso se vea afectada notablemente (UNESCO, 2015).

En este sentido, instituciones como el Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) promueven directrices para enfrentar este cambio, tomando en cuenta diferentes factores ambientales. Según el IPCC (2019), es indispensable mantener un aumento máximo de la temperatura por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales hasta 2050. Con el nivel actual de emisiones de gases de efecto invernadero, se cree que se llegará a un incremento de 1,5 °C en el periodo 2030-2052; no sobrepasar este límite debe ser uno de los objetivos de la sociedad a corto plazo. De no poderse concretar, se generaría un escenario que podría poner en peligro la vida como la conocemos en el Planeta.

Debido a ello, resulta importante crear estrategias a nivel local que permitan una adaptación y a la vez contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático a través de un uso responsable del agua, en el que se vinculen los componentes ambientales, económicos y sociales (Gallo y Jiménez, 2019; MAE, 2017). La cogestión del agua implica la participación de todos los actores y necesita de un análisis multicriterio, con la finalidad de mantener un sistema sostenible y eficiente (Rivera, 2016); además, se debe considerar que el agua es pilar fundamental para la soberanía alimentaria y el desarrollo económico.

Dentro de este contexto se efectúa el presente trabajo, cuyo objetivo es el de plantear una alternativa de gestión en la que se armonicen las ideas en

torno a la adecuada cogestión del agua (entre actores comunitarios y públicos) como una herramienta de adaptación a escenarios contemporáneos de Cambio Climático Global.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

Gómez (2009) menciona que la Comuna de Santa Clara de San Millán puede ser considerada como una comuna ancestral, descendientes directos de la etnia indígena "Quitú-Cara". Sin embargo, apenas fue reconocida como organización social con autonomía territorial en 1911; en la actualidad, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (Consejo Metropolitano de Quito, 2014) establece que se encuentra reconocida como una Comuna con su respectiva autonomía jurídica y de gobierno, conocido como *Cabildo*.

Geográficamente la *Comuna* está ubicada al occidente de la ciudad de Quito, Ecuador (Figura 1), en una de las laderas del volcán Pichincha, en un rango altitudinal de entre 2800 a 3250 msnm, con una temperatura media de 12 °C y una precipitación anual promedio de 1488,2 mm (INAMHI, 2017).

Los ecosistemas en los alrededores y en algunos intersticios de la *Comuna* incluyen un bosque de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y páramo arbustivo hacia zonas más altas (con vegetación característica correspondiente a los géneros *Baccharis*, *Monnina*, *Chuquiraga*, *Puya*, *Cortaderia*, *Oreopanax*, *Gynoxis*, *Diplostephium*, *Monticalia*, entre otros) y páramo de pajonal (con *Calamagrostis*, *Festuca*, *Castilleja*, *Azorella*, *Hypochaeris*, *Valeriana*, *Gentiana*, *Stellaria*, *Bartsia*, principalmente), en los que se encuentran ubicadas dos fuentes de agua, las cuales son administradas y utilizadas para consumo humano por la Junta de la *Comuna* (Pacheco, 2019).

Hacia 2010, esta comuna contaba con una población de 10287 habitantes (INEC, 2010); su principal actividad económica constituye el comercio, sobre todo en la zona baja; en la zona alta la dinámica económico-productiva cambia, observándose más bien el desarrollo de actividades agropecuarias destinadas principalmente al autoconsumo (Pacheco, 2019).



Figura 1. Fotografía aérea y mapas referenciales de ubicación de la Comuna Santa Clara de San Millán.

## 2.2 Metodología

La información de campo y principalmente la bibliográfica fue organizada en ATLAS.ti versión 7 (<https://atlasti.com/>). Este programa permitió generar redes semánticas para cada subtema de interés. En el caso de los mapas y otra información geográfica se trabajó en ArcMap de ArcGis versión 10.4.1 (<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>). Para la caracterización de la Comuna y su JAAPS, se consideró lo propuesto por Pacheco (2019), quien menciona un modelo metodológico técnico-participativo, en el que la mayor parte de la información se levanta aplicando un Diagnóstico Participativo Comunitario, utilizando técnicas como mapas parlantes, encuestas y entrevistas, construcción de líneas de tiempo históricas, matriz FODA, principalmente.

En lo referente a la construcción del contenido legal, el mismo se generó a partir del análisis de la normativa legal vigente en Ecuador con respecto a

la gestión del agua, incluyendo las competencias de cada actor clave en ella; se aplicó el orden determinado por la Pirámide de Kelsen (Muñoz, 2017), como instrumento de jerarquización legal. El tema de adaptación al Cambio Climático fue abordado bajo el enfoque ecosistémico propuesto por Yáñez y col. (2012) para el Distrito Metropolitano de Quito.

Para generar la propuesta de cogestión del agua, se atendió lo recomendado por el Fondo para la Protección del Agua (FONAG, 2020), que incluye, entre otras acciones, describir el estado actual del recurso y establecer metas a corto plazo basadas en líneas de acción como la generación de datos hidrológicos y de calidad de agua, caracterización de la participación, fortalecimiento de la gobernanza, restauración de áreas degradadas, manejo de áreas de conservación, actividades de capacitación y educación ambiental.

También se consideró lo propuesto por Perugachi y Cachipiendo (2020), quienes mencionan que

para conciliar la gestión del agua es importante el establecimiento de una mancomunidad, es decir la cooperación entre la administración pública y las comunidades, y no solo atender a una visión tecnocrática y centralista. Por tanto, se consideró la participación comunitaria en la cogestión del recurso hídrico, la creación y/o fortalecimiento de organizaciones sociales de base, el análisis de la capacidad organizacional, la descripción de factores endógenos y exógenos que pudieran debilitar la gestión comunitaria, la combinación del conocimiento técnico y el comunitario, así como el incremento de la gobernanza y gobernabilidad.

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Bases legales como instrumento de una adecuada gestión del agua en Ecuador

La gestión y manejo del recurso agua siempre ha sido un tema controversial. En Ecuador, el primer acercamiento que planteó el acceso al agua potable como un derecho para la salud de las personas se dio en la Constitución Política del Ecuador de 1998 (Martínez y Abril, 2020). En la Asamblea Constituyente de Montecristi (2007-2008) se empezó con un discurso de los derechos, no solo de las personas sino también de la naturaleza, estableciendo la protección y tratamiento de los recursos hídricos como un elemento significativo; este enfoque ambiental se enfrentó con el clásico discurso de aprovechamiento (orientado primordialmente a las necesidades del momento actual) sin pautas para una real sostenibilidad. A pesar de ello, el pueblo ecuatoriano aprobó la Constitución de la República del Ecuador de 2008, estableciendo con este suceso bases para impedir la privatización del agua y potenciar su adecuada gestión con un planteamiento multidisciplinario de varios actores (Acosta y Martínez, 2010).

En primer lugar, la Constitución que establece que el acceso al agua es un derecho humano fundamental, especialmente al agua potable; prohíbe el acaparamiento y privatización del agua; señala que el Estado es el responsable de proveer del servicio de agua potable en el país y menciona que la autoridad a cargo de la gestión del agua planificará, regulará y controlará su uso (Asamblea Constituyente, 2008).

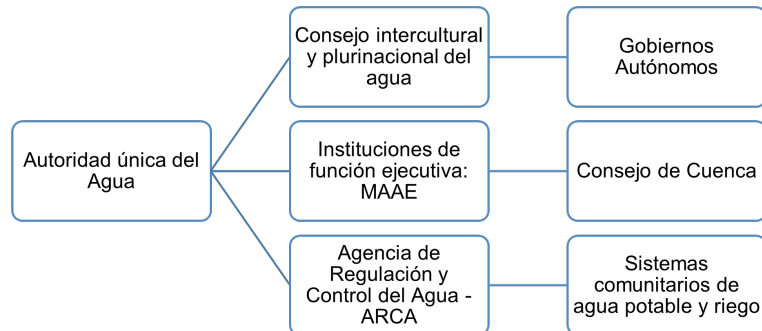
Continuando con la LORHUyA, que es el ente normativo principal con respecto al recurso hídrico, el mismo que instaura dos fomas únicas de administración que son pública y comunitaria, establece los diferentes niveles de manejo (Estado, autoridad única del agua, gobiernos autónomos descentralizados "GAD's", empresas públicas y JAAPS) articulados entre sí (Figura 2), regula y controla la gestión, autorización de uso, conservación, restauración y aprovechamiento, y asegura los derechos colectivos de las Comunas, Comunidades, Pueblos y Nacionalidades en la participación activa con respecto al agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2014).

En el siguiente nivel de la pirámide se encuentran los códigos orgánicos, en este caso es importante mencionar el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2010, actualizado a 2019) y el Código Orgánico del Ambiente (COA, 2017). En el COOTAD se generan las competencias pertinentes en cada uno de los niveles de gobierno, desde lo general a lo particular, incluyendo el provincial, cantonal y parroquial; el recurso hídrico se ve reflejado en este Código, mismo que establece que los GAD son los encargados de la adecuada gestión integral de las cuencas hidrográficas y la provisión de agua potable, como servicio esencial para la vida de los pobladores de zonas urbanas, periurbanas y rurales, sin excluir de la participación activa y coordinada a las organizaciones comunitarias, representadas por las JAAPS. El COA, por su parte, hace énfasis en los procesos de evaluación, control y monitoreo de la calidad y cantidad de agua en los cuerpos hídricos, además de establecer las obligaciones y responsabilidades ambientales de los GAD con respecto al tratamiento y recuperación del recurso.

Finalmente, se deben mencionar los Acuerdos Ministeriales 0031 y 0194 (Secretaría Nacional del Agua, 2017; Secretaría Nacional del Agua, 2018), en los cuales se instaura la independencia de organizaciones comunitarias, como las JAAPS en la gestión y manejo del agua, a través de la imagen de personería jurídica a la cual pueden acceder mediante un proceso en conjunto con la autoridad única del agua. Una vez generado esto, las organizaciones sociales son libres de tener un reglamento interno que no necesita ser aprobado por el ente rector; de igual manera, sus autoridades serán escogidas interna-

mente sin influencia del MAAE y se complementa con un instructivo de potenciación de los procesos de las organizaciones comunitarias ante la autoridad única del agua.

En la Figura 2 se muestra de manera resumida y jerarquizada a los principales actores relacionados con la gestión del agua en Ecuador.



**Figura 2.** Jerarquización de actores en la gestión del agua.

Fuente: LORHUyA

### 3.2 La gestión del agua en diferentes enfoques espaciales: un acercamiento a lo urbano, rural y periurbano

La gestión del agua para uso doméstico atiende a diferentes modelos, dependiendo de la realidad espacial y territorial. En zonas urbanas y periurbanas es mucho más común la participación de empresas públicas o sus concesiones; en zonas rurales generalmente quienes intervienen son las JAAPS, normalmente siendo reguladas por la acción/opinión comunitaria y otros actores como Organizaciones No Gubernamentales de acción local; sin embargo, pocas veces asesoradas por una empresa pública. Las zonas urbanas, debido al constante aumento de su población, requieren de una gran cantidad de líquido vital para satisfacer sus necesidades básicas, por lo que resultan necesarios mayores esfuerzos económicos y técnicos en el manejo y distribución del agua. Para abordar a cada una de estas realidades, se plantean diferentes casos que permiten evidenciar su estructura y funcionamiento.

Para hablar de **zonas urbanas** es necesario establecer el significado de urbano: según la RAE (2021) se define como “perteneciente o relativo a la ciudad”. Capel (1975) en una idea clásica menciona

que para caracterizar este concepto se deben incluir los siguientes elementos: el tamaño y la densidad poblacional, el aspecto del núcleo urbano, incluyendo la dinámica de edificaciones e infraestructuras, la actividad económica y el modo de vida, preferiblemente basados en una economía no agrícola; de igual manera, se debe mencionar a la población humana como un factor importante, incluyendo su heterogeneidad, la “cultura urbana” y el grado de interacción social.

En la zona andina de Ecuador, la regla general en temas de captación del agua es la de realizarla en cuencas hídricas ubicadas a una altitud considerable, en donde la calidad de agua facilita su tratamiento, ya que los focos de contaminación son menos comunes en estas zonas con menor influencia antrópica; sin embargo, cabe mencionar que las actividades agropecuarias, sobre todo de quema y pastoreo, cada vez le ganan mayor espacio al páramo en Ecuador (Chuncho y Chuncho, 2019). En resumen, las actividades que priman en el servicio de agua potable en las empresas públicas son captación, conducción, almacenamiento de agua cruda, tratamiento, y conducción del agua tratada a la red de distribución. El drenaje y el tratamiento de aguas residuales forma parte de este proceso de

gestión formando un ciclo. Según Peña, Melgarejo y Prats (2016) el ciclo urbano del agua implica todas estas acciones, incluyendo aquellas destinadas a la conservación del recurso.

Ciudades similares a Quito, como Bogotá, el centro más poblado de Colombia, también se abastecen de sistemas principales que captan el agua de microcuencas parameras. Allí, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá "EAB" es la encargada de brindar el servicio a la comunidad (Peña, Melgarejo y Prats, 2016).

En cuanto a las **zonas rurales**, la RAE (2021) propone que son "pertenecientes o relativas a la vida del campo y sus labores"; entre otros autores, Larrubia-Vargas (1998) menciona que en la antigüedad la palabra "rural" se encontraba asociada completamente con lo agrario. Actualmente, sería difícil mencionar que solo las actividades asociadas al agro sean las únicas que se desenvuelven en espacios rurales. Algo que si suele ser llamativo en la esfera del paisaje rural es que en él predomina el componente natural por encima del estructural artificial; de igual manera, la densidad poblacional tiene valores relativamente bajos y se considera que el flujo económico es pequeño, lo que puede causar un mayor número de desigualdades sociales y un estilo de vida que puede considerarse simple.

La gestión del agua en zonas rurales del Ecuador se realiza principalmente mediante el modelo de organizaciones comunitarias, cuyo trabajo en general no suele ser lo suficientemente visibilizado; los actores locales comparten intereses y una visión más arraigada con la naturaleza. Para el manejo del recurso se crean las Juntas de Agua o JAAPS, que cuentan con sistemas de agua menos complejos que los urbanos y que consisten en captación, conducción de agua cruda, tratamiento de agua cruda, principalmente por cloración, y distribución a las redes domiciliarias (Pacheco, 2019). La diferencia predominante entre sistemas públicos y comunitarios es el tratamiento que recibe el agua cruda, siendo más tecnificado en las redes públicas donde se utilizan métodos como cribado, coagulación-floculación, sedimentación y filtración (Chulluncuy, 2011).

Un punto negativo en las redes comunitarias es el proceso de conducción del agua cruda y tratada,

la cual se realiza mediante acequias o canales, situación que lleva a una disminución de la calidad del agua por contaminación cruzada, debido a no contar con una cubierta total en la circulación del agua hacia su destino medio y final (Pacheco, 2019).

Un ejemplo de gestión del agua en zona rural andina de Ecuador se encuentra en Pesillo; según Perugachi y Cachipundo (2020) el ente responsable allí es la Empresa Pública de Agua Potable Pesillo-Imbabura con soporte de participación comunitaria, la cual se encuentra estructurada por 5 actores: 2 correspondientes a los GAD, 2 de las JAAPS y un presidente de la mancomunidad. Esto desde la cosmovisión comunitaria e indígena ha sido visto con inconformidad, pues las comunidades tenían la idea de gestionar de forma autónoma el recurso.

Para finalizar, el término **periurbano** no se encuentra acuñado por la RAE. No obstante, la palabra puede hacer referencia a los procesos de organización territorial, ya sea ordenada o sin orden en las grandes ciudades (Mansilla, 2018). Al área periurbana se la asocia mucho con la periferia y con la pobreza. Para Vieyra, Méndez-Lemus y Hernández (2018), esta condición social tiene un enfoque multidimensional y multifacético; de esta manera, se entiende a la zona periurbana como un área de transformaciones aceleradas del territorio, las cuales provocan una expansión física de la ciudad, generando impactos económicos y socioambientales, al tiempo que el distanciamiento entre el centro de la ciudad y la periferia crece. Existe otro término similar para caracterizar estas zonas, el cual es espacio *rururbano*, definido por Cardoso y Fritschy (2012) como un híbrido entre la dinámica de lo urbano y lo rural; De Mattos (2002) lo ha denominado como parte de la "metamorfosis" de las urbes.

La gestión del agua en una zona periurbana como la abordada en el presente trabajo (Santa Clara de San Millán) se ve representada por la *Comuna*, sus características de ruralidad socioeconómica pero también por el hecho de encontrarse adyacente a la zona centro-norte de la ciudad de Quito. Esta comunidad maneja el recurso hídrico en su territorio, mediante un sistema de agua para consumo humano, el mismo que consiste en captación de dos "ojos" de agua, acequias y tuberías PVC para el transporte de agua cruda, cámaras rompe presión en diferentes puntos, zona de purificación del agua

cruda y tuberías PVC de transporte del agua trata- da hasta las viviendas de los beneficiarios (Figuras 3 y 4).

Además, la *Comuna* cuenta con el trabajo de una JAAPS, con su nombramiento anual por parte del Cabildo para ejercer esta competencia de gestión. La Junta está conformada por un comité escogido

anualmente por los socios para ejercer la provisión del servicio, el cual tiene un costo único para ca- da beneficiario. Es importante mencionar que en la actualidad varios socios se benefician del servicio otorgado por la Junta y de forma complementaria por el de la EPMAPS (Empresa Pública Metropolita- na de Agua Potable y Saneamiento de Quito).

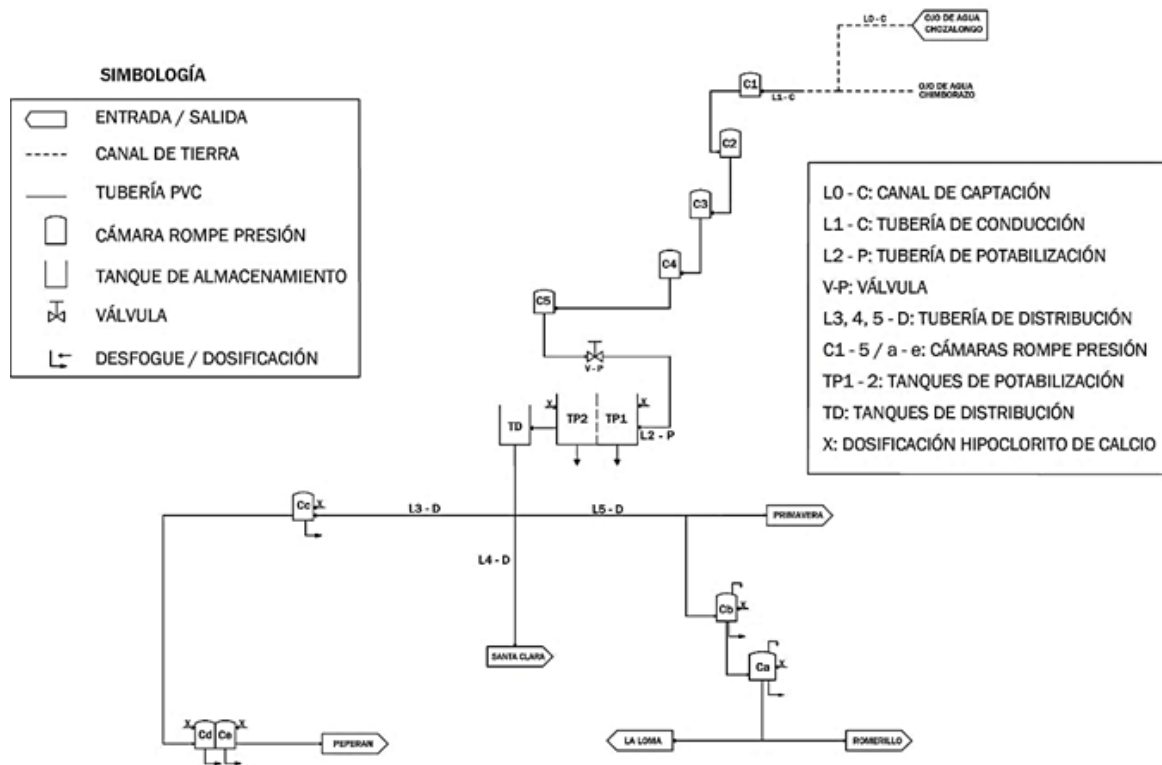


Figura 3. Diagrama del sistema de agua de la Comuna Santa Clara de San Millán.

Entre las principales fortalezas que se observan en la gestión local del agua se encuentran la participación y el trabajo en equipo del comité y los socios de manera conjunta, las actividades en mingas que se realizan cada cierto tiempo para el mantenimiento y limpieza del sistema. En cambio, las debilidades corresponden a algunos aspectos técnicos y económicos necesarios de caracterizar y mejorar, tales como la dosificación inadecuada de hipoclorito de calcio en la cloración del agua cruda; tuberías en zonas de riesgo por potenciales movimientos de masas; tuberías con fugas; deudas de los beneficiarios del servicio; cobro único universal sin tomar en

cuenta el valor del consumo real por beneficiario; entre otros aspectos que deberán ser mejorados para fomentar la sostenibilidad del sistema a largo plazo (Pacheco, 2019).

### 3.3 Adaptación al Cambio Climático y co- gestión del agua y el paisaje natural a nivel comunitario

Se estima que América del Sur, entre otras regiones, tendría consecuencias devastadoras en un escenario de cambio climático acelerado; uno de los riesgos es el derretimiento de los glaciares de la Cordillera de

Los Andes y los cambios en ecosistemas altoandinos (Yáñez, 2009; Yáñez y col., 2011), lo cual disminuiría la cantidad de agua consumible para las personas de la región. La aceleración en el derretimiento de los glaciares data desde 1976, cuando

Ecuador tenía 60 km<sup>2</sup> de glaciares en la cordillera (Francou y col., 2013); según Cáceres (2010) la pérdida de ellos ha sido del 38% en un poco más de 30 años.

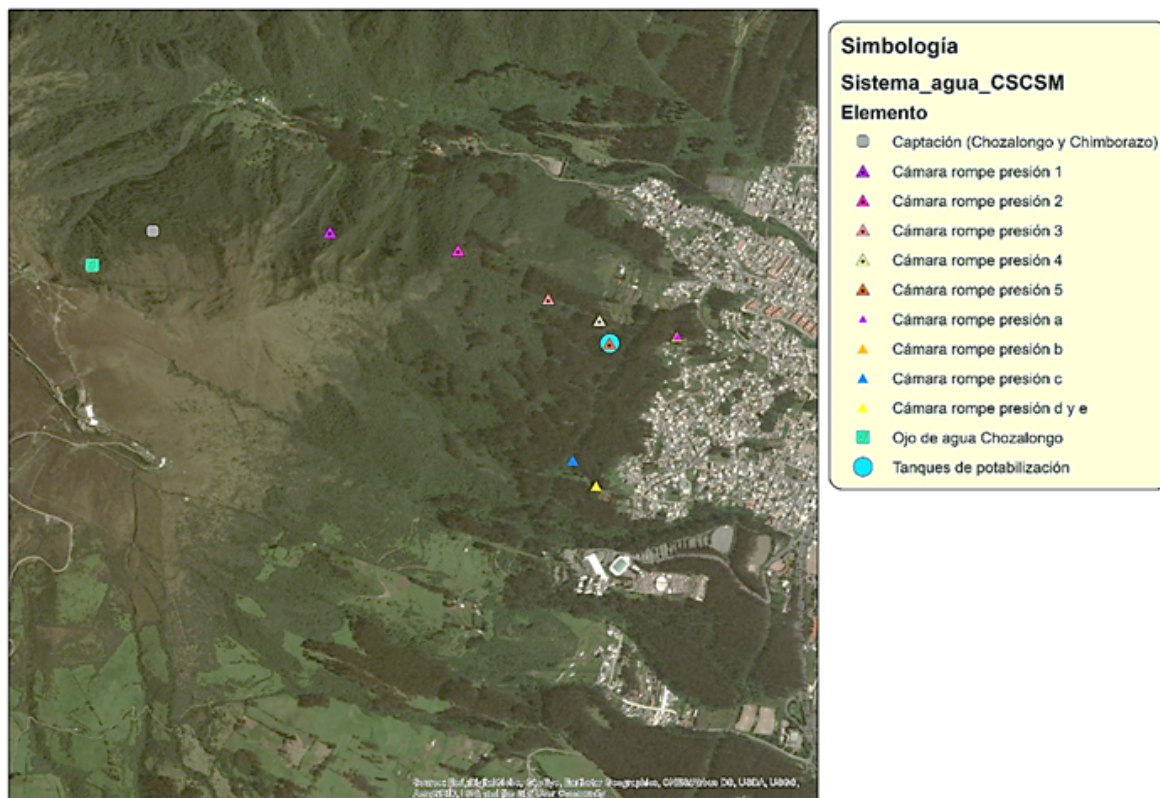


Figura 4. Mapa de ubicación del sistema de agua de la Comuna Santa Clara de San Millán. Adaptado a partir de Google Earth, 2020.

Se deben también contemplar otros efectos negativos del cambio climático como la disminución de precipitaciones, aumento del nivel del mar, pérdida de la biodiversidad, sequías, olas de calor extremo, inundaciones, entre otros (ONU, 2015). Dentro de este escenario, los esfuerzos que realizan los gobiernos en la formulación de planes de desarrollo son importantes, ya que presentan herramientas de mitigación y adaptación. Otras formas de enfrentar el fenómeno son los acuerdos internacionales, sobre todo aquellos que implican el control de emisiones y la generación de compensaciones a los perjudicados (UNESCO, 2018).

Por tanto, la adaptación al cambio climático requiere de instrumentos de gestión (metodologías y normativa) basados en un enfoque ecosistémico, con una activa participación comunitaria. Según Magrin (2015), una de las opciones más complejas para la adaptación al cambio climático es aquella basada en ecosistemas, ya que requiere cooperación de diferentes organizaciones y actores. En el caso del presente estudio esto se vuelve más factible ya que los habitantes de la *Comuna* tienen la predisponibilidad de conservar los ecosistemas naturales en la zona.

En este sentido, Delgado y col. (2015) y Gómez-Ruiz y Lindig-Cisneros (2017) afirman que dichos instrumentos de gestión y conservación deben permitir a las comunidades y organizaciones centrarse en cubrir sus necesidades y mantener los servicios ecosistémicos, utilizando, entre otras herramientas, la restauración ecológica en los sitios y momentos en las que fuere necesaria.

Por lo tanto, en la zona del presente trabajo se recomienda el reemplazo gradual del bosque de eucalipto (en los sitios respectivos) por un bosque con especies nativas; mismas que generan mayores beneficios ecosistémicos (entre ellos, el agua) que los bosques monoespecíficos con especies introducidas (Cordero Rivera, 2011; Anchaluisa y Suárez, 2013; Faries y Ríos, 2019), especialmente necesarios en zonas periurbanas resilientes. Por tanto, consideramos que el bosque de la *Comuna* requiere de una reestructuración paisajística que permita mejorar sus condiciones actuales.

En este escenario, el concepto de adaptación mediante la cogestión es primordial; la priorización de acciones debe ser el pilar para el desarrollo de las comunidades y la gestión participativa, especialmente en lo referente al recurso agua y bosque/páramo.

Modelos interesantes de considerar para aplicarlos por la *Comuna* son los propuestos por Barazorda y Pérez (2014) y Saborío y col. (2019) para ambientes similares dentro de un contexto de cambio climático, los cuales conjugan actividades de gestión del paisaje y de cosecha razonable y racional del agua.

El modelo de cogestión del agua a ser aplicado en la *Comuna* debe ser holístico, permitiendo una adecuada interacción entre los derechos humanos y la gestión hídrica, y no puede ser discriminatorio; por ende, debe incluir a diferentes grupos etarios y de género como actores clave del manejo. Se debe generar un diálogo y cooperación que permitan pasar de un potencial conflicto en el manejo y uso del recurso hacia una solución acordada. De igual manera, el trabajo en conjunto entre la JAAPS y la EPMAAPS debe ser balanceado en cada una de las competencias de gestión, incluyendo el saneamiento ambiental. El fortalecimiento de capacidades internas se debe sustentar en un trabajo compartido, en el que se incluya el conocimiento ancestral y del

territorio de las personas de la *Comuna*, además de la experiencia y conocimiento tecnológico de los miembros de la empresa pública (FONAG, 2020; Perugachi y Cachipiendo, 2020).

Otro eje de gestión debe girar en torno a la gobernanza participativa del recurso, en el cual se evalúe el establecimiento de un precio justo para el servicio, el mismo que incluya gastos relacionados con planificación, mitigación de efectos del cambio climático en la zona, monitoreo, prestación de servicios relacionados con el agua, mantenimiento del sistema, comunicación interna eficaz y costos administrativos (WWAP, 2019). Dos elementos transversales para tomar en cuenta en todas las fases tendrían que ver con evitar acciones ineficientes de gestión y eventos de corrupción, elementos que pueden derivar en un aumento de las vulnerabilidades internas del sistema y en una inadecuada gestión del agua.

Finalmente, en lo concerniente a saneamiento ambiental, la depuración del agua, cuando fuera necesaria en la *Comuna*, puede apelar a tres opciones: la primera al uso de tecnología a través de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales; la segunda a la aplicación de Lagunas de Oxidación; y la tercera relacionada con aquellas soluciones basadas en la dinámica propia del agua en el ecosistema y su depuración natural en la respectiva microcuenca (García, 2021; Laforteza y col., 2018; Scott y col., 2016). En las comunidades rurales y periurbanas, la segunda y la tercera opción son las más acertadas debido a las capacidades económico-operativas de las JAAPS.

## 4 Conclusiones

Una adecuada gestión del agua por parte de los seres humanos en todos los niveles de gobierno, desde lo local a lo regional, es una de las principales herramientas que permitirán una correcta adaptación al cambio climático.

En la actualidad, los modelos de gestión más comunes se basan en un trabajo poco conectado entre actores claves de una localidad, ya sea urbana, rural o periurbana. Para el caso de la *Comuna* Santa Clara de San Millán y otras similares, resulta destacable el hecho de que la propuesta generada



permita articular bajo aspectos legales, técnicos y de comunicación, los procesos necesarios para una gestión participativa del recurso agua presente en la zona. El modelo de fortalecimiento desde las organizaciones de base, en este caso la Junta, permitirá crear y mejorar las capacidades de cada uno de los involucrados.

Dentro de este contexto, consideramos que la adaptación a escenarios de Cambio Climático basada en ecosistemas y comunidades es la mejor forma de establecer y desarrollar medidas que permitan alcanzar una real adaptación a este cambio, reduciendo significativamente la vulnerabilidad de la población de esta y otras Comunas similares.

## Referencias

- Acosta, A. y E. Martínez (2010). *Agua: un derecho humano fundamental*. Editorial Abya-Yala.
- Anchaluisa, S. y E. Suárez (2013). «Efectos del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*; Myrtaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador». En: *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* 5.2, 14-23. Online: <https://bit.ly/3OZkru7>.
- Asamblea Constituyente (2008). *Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449, 20 de octubre de 2008*. Online: <https://bit.ly/2UX6xBL>.
- Barazorda, F. y J. Pérez (2014). *Las Qochas Rústicas: una alternativa en los Andes para la siembra y cosecha de agua en un contexto de cambio climático*. Inf. téc. PACCPERÚ. Online: <https://bit.ly/3ziv2dc>.
- Boelens, R. (2011). «Luchas y defensas escondidas. Pluralismo legal y cultural como una práctica de resistencia creativa en la gestión local del agua en los Andes». En: *Anuario de Estudios Americanos* 68.2, 673-703. Online: <https://bit.ly/3P9T5lq>.
- Cáceres, B. (2010). *Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador*. Université Nice Sophia Antipolis. Online: <https://bit.ly/3wVV2Ie>.
- Capel, H. (1975). *La definición de lo urbano*. Online: <https://bit.ly/36S60nj>.
- Cardoso, M. y B. Fritschy (2012). «Revisión de la definición del espacio rururbano y sus criterios de delimitación». En: *Contribuciones científicas GAEA* 24, 27-39. Online: <https://bit.ly/3rtvCRA>.
- Chulluncuy, N. (2011). «Tratamiento de agua para consumo humano». En: *Ingeniería Industrial* 29, 153-170. Online: <https://bit.ly/3kJdqR>.
- Chuncho, C. y G. Chuncho (2019). «Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: una revisión». En: *Bosques Latitud Cero* 9.2, 71-83. Online: <https://bit.ly/3eFcTMX>.
- Consejo Metropolitano de Quito (2014). *Ordenanza Municipal 24-Plan de Ordenamiento Territorial de la Comuna Santa Clara de San Millán*. Informe No. IC-O-2014-055 del 18 de agosto de 2014. Online: <https://bit.ly/3xH8pNt>.
- Cordero Rivera, A. (2011). «Cuando los árboles no dejan ver el bosque: efectos de los monocultivos forestales en la conservación de la biodiversidad». En: *Acta Biológica Colombiana* 16.2, 247-268. Online: <https://bit.ly/3eIAPj>.
- De Mattos, C. (2002). «Transformación de las ciudades latinoamericanas: ¿Impactos de la globalización?» En: *Eure* 28.85. Online: <https://bit.ly/3yy3oZq>.
- Delgado, L. y col. (2015). «Estrategia de adaptación local al cambio climático para el acceso equitativo al agua en zonas rurales de Chile». En: *América Latina Hoy* 69, 113-137. Online: <https://bit.ly/3BtaA9L>.
- FONAG (2020). *Plan estratégico 2021 -2025*. Quito: Fondo para la Protección del Agua.
- Faries, M. y G. Ríos (2019). «La forestería análoga: una solución para aumentar la resiliencia urbana». En: *Ambientico* 270, 51-56. Online: <https://bit.ly/3AKZBug>.
- Francou, B. y col. (2013). *Glaciares de los Andes tropicales: víctimas del cambio climático*. COMUNIDAD ANDINA, Online: <https://bit.ly/36PikVq>.
- Gallo, S. y M. Jiménez (2019). «Plan de gestión y manejo sustentable del agua en el territorio de la comunidad de Paquiestancia». Trabajo de Titulación en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Online: <https://bit.ly/3rpxdam>.
- García, B. (2021). *Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Taller Consejo Recursos Hídricos Tumbes. Online: <https://bit.ly/3hU4tmX>.
- Gómez-Ruiz, P. y R. Lindig-Cisneros (2017). «La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático». En: *Revista*

- de Ciencias Ambientales 51.2, 31-51. Online: <https://bit.ly/3PtkRjB>.
- Gómez, Á. (2009). «Pueblos originarios, comunas, migrantes y procesos de etnogénesis del Distrito Metropolitano de Quito: nuevas representaciones sobre los indígenas urbanos de América Latina». Tesis de Maestría en Antropología. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador. Online: <https://bit.ly/3JfB1E2>.
- Granda, A., A. Dubly y G. Borja (2004). *Agua, vida y conflicto*. Corporación Editora Nacional. Online: <https://bit.ly/3hWa2kR>.
- INAMHI (2017). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología.
- INEC (2010). *Censo 2010*. Inf. téc. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Online: <https://bit.ly/3Bsy6DE>.
- IPCC (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. Inf. téc. Intergovernmental Panel on Climate Change. Online: <https://bit.ly/3rrj8sW>.
- Jácome, V. (2018). «Lucha por el reconocimiento y economía política de las comunidades indígenas urbanas de Quito: la experiencia de Santa Clara de San Millán (1937-1986)». En: *VIII Conferencia latinoamericana y Caribeña de Ciencias Sociales*. Online: <https://bit.ly/3wS5BM9>.
- Lafortezza, R. y col. (2018). «Nature-based solutions for resilient landscapes and cities». En: *Environmental research* 165, 431-441. Online: <https://bit.ly/3kJpm6c>.
- Larrubia-Vargas, R. (1998). «El espacio rural: concepto y realidad geográfica». En: *BAETICA. Estudios De Arte, Geografía e Historia* 20, 77-95. Online: <https://bit.ly/3z37ha6>.
- MAE (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre el Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Online: <https://bit.ly/3xXkBdb>.
- Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Inf. téc. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Online: <https://bit.ly/3hVmNfB>.
- Mansilla, P. (2018). «Transformaciones Socio Territoriales en el Periurbano y Desigualdad Espacio-temporal». En: *Revista Espacios* 39.16, 27. Online: <https://bit.ly/2UDWic1>.
- Martínez, A. y A. Abril (2020). «Las guardianas del agua y su participación en la gestión comunitaria de los recursos hídricos. Un análisis de la normativa ecuatoriana». En: *Foro: Revista de Derecho* 34, 61-84. Online: <https://bit.ly/3aEXwpb>.
- Molina, A., M. Pozo y J. Serrano (2018). *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en el Ecuador*. Inf. téc. INEC – UNICEF. Online: <https://bit.ly/36Pt8Tl>.
- Muñoz, L. (2017). «Sobre la teoría pura del derecho y la verdadera pirámide planteada por Hans Kelsen». En: *Revista de la Facultad de Derecho de México* 61.256, 173-187. Online: <https://bit.ly/3PKQqP1>.
- ONU (2015). «Summary for Policymakers». En: *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1-30. Online: <https://bit.ly/3Q2igX1>.
- Pacheco, D. (2019). «Caracterización y propuesta de plan de mejoras del sistema de agua de consumo humano en la Comuna Santa Clara de San Millán - Distrito Metropolitano de Quito». Trabajo de Titulación en Estudios Ambientales. Instituto Tecnológico Internacional.
- Peña, C., J. Melgarejo y D. Prats (2016). «El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad». En: *Tecnología y ciencias del agua* 7.6, 57-71. Online: <https://bit.ly/3BscB5T>.
- Perugachi, J. y C. Cachipundo (2020). *La lucha por el agua: gestión comunitaria del proyecto de agua potable Pesillo-Imbabura*. Abya-Yala. Online: <https://bit.ly/3rs4HFl>.
- Pinos, J. (2020). «Multiple water governance models: Ecuador as a case study». En: *Maskana* 11.1, 74-80. Online: <https://bit.ly/3PuN02q>.
- Presidencia de la República del Ecuador (2014). *Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Registro Oficial 305, Suplemento del 6 de agosto de 2014. Online: <https://bit.ly/3BDyY8O>.
- RAE (2021). *Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española. Online: <https://bit.ly/2OIGEYC>.
- Rivera, S. (2016). «La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador: análisis multicriterial de la gestión del agua». Tesis de Maestría en Eco-

- nomía Ecológica. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Online: <https://bit.ly/3Btduh3>.
- Saborío, M. y col. (2019). *Adaptación basada en Ecosistemas y Seguridad Hídrica: Guía para la evaluación de la efectividad de las medidas de adaptación basada en ecosistemas (AbE) orientadas a la Seguridad Hídrica*. UICN. Online: <https://bit.ly/3oFWdtx>.
- Sandoval, A. y M. Günther (2013). «La gestión comunitaria del agua en México y Ecuador: otros acercamientos a la sustentabilidad». En: *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible* 9.2, 165-179. Online: <https://bit.ly/3iwWCuR>.
- Scott, M. y col. (2016). «Planning for biophilic cities: from theory to practice». En: *Planning Theory & Practice* 17.2, 267-300. Online: <https://bit.ly/3uP23MN>.
- Secretaría Nacional del Agua (2017). *Acuerdo Ministerial 0031: directrices y regulaciones para garantizar la permanencia y fortalecimiento de la gestión comunitaria del agua y de la prestación comunitaria de los servicios de agua potable y saneamiento; y riego y drenaje*. Registro Oficial 88, 27 de septiembre de 2017. Online: <https://bit.ly/2V3XYF8>.
- (2018). *Acuerdo Ministerial 0194: Instructivo para la optimización de procesos que realizan las organizaciones comunitarias del agua en la Secretaría del Agua*. Registro Oficial 286, 25 de junio de 2018. Online: <https://bit.ly/3S9XnuN>.
- UNESCO (2015). *Aguas subterráneas y Cambio Climático: Pequeños estados insulares de desarrollo PEID*. UNESCO. Online: <https://bit.ly/36QHZNk>.
- (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. Inf. téc. UNESCO. Online: <https://bit.ly/3BuKIuc>.
- Vieyra, A., Y. Méndez-Lemus y J. Hernández (2018). *Procesos periurbanos: desequilibrios territoriales, desigualdad social, ambientales y pobreza*. UNAM: CI-GA. Online: <https://bit.ly/36UE3ey>.
- WWAP (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Inf. téc. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. Online: <https://bit.ly/3wQG4Da>.
- Yáñez, P. (2009). «La zona transicional páramo-bosque nublado: un elemento paisajístico móvil en el espacio tiempo». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 9.1, 16-22. Online: <https://bit.ly/2ur4tRu>.
- Yáñez, P. y col. (2011). «Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la zona andina de Ecuador». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 14.2, 24-44. Online: <https://bit.ly/3zJanQV>.
- Yáñez, P. y col. (2012). «Composición y dinámica de los agrosistemas del Distrito Metropolitano de Quito en los últimos treinta años y posibles interrelaciones con los efectos del cambio climático global». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 16.2, 48-68. Online: <https://bit.ly/3PrBSmV>.



# LAS GRANDES CORPORACIONES AGROINDUSTRIALES Y LA AGRICULTURA CONTRACTUAL: APROXIMACIONES TEÓRICAS

## LARGE AGRIBUSINESS CORPORATIONS AND CONTRACT FARMING: THEORETICAL APPROACHES

Christian Rafael Orozco Suárez 

*Facultad de Ciencias Económicas e Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Central del Ecuador, Av. Universitaria, Quito-Ecuador*

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

Manuscrito recibido el 30 de abril de 2020. Aceptado, tras revisión, el 04 de enero de 2022. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

### Resumen

La agricultura contractual constituye una modalidad productiva y comercial de largo recorrido en el tiempo y el espacio; por esta razón, se considera esencial aproximarse a las distintas interpretaciones de sus determinantes. En este sentido, el presente artículo analiza las aportaciones teóricas e interpretativas que desde las principales corrientes y escuelas de pensamiento económico se han planteado en torno a los factores que han contribuido decisivamente en el desarrollo de la modalidad productiva y comercial del contrato en la agricultura, especialmente desde la perspectiva de las grandes corporaciones agroindustriales. La metodología aplicada en esta investigación es la revisión de literatura. Las corrientes investigadas son la francesa, la anglosajona y la latinoamericana. Al final, se concluye que a través de la agricultura contractual se produce una refuncionalización de la economía agraria; los contratos constituyen una estrategia empresarial para abastecerse de suministros agrícolas; y los resortes con los que cuentan las grandes corporaciones agroindustriales para fomentar esta modalidad productiva y comercial son de mercado, contractual-informales y tecnológicos.

**Palabras clave:** Agricultura contractual, integración vertical, grandes corporaciones agroindustriales, agricultura familiar.

### Abstract

Contract farming constitutes a long-term productive and commercial modality in time and space; for this reason, it is essential to approach the different interpretations of its determinants. In this sense, this article analyzes the theoretical and interpretative contributions that the main currents and schools of economic thought have raised about the factors that have decisively contributed to the development of the productive and commercial modality of the contract in

agriculture, especially from the perspective of the large agro-industrial corporations. The methodology applied in this research is the literature review. The investigated currents are the French, the Anglo-Saxon, and the Latin American. In the end, it is concluded that there is a re-functionalization of the agrarian economy through contract farming; contracts are yet another business strategy for sourcing agricultural supplies; and the sources that large agro-industrial corporations must promote this productive and commercial modality are market, contractual-informal and technological.

**Keywords:** Contract farming, vertical integration, large agribusiness corporations, family farming.

---

Forma sugerida de citar: Orozco, C. (2023). Las grandes corporaciones agroindustriales y la agricultura contractual: Aproximaciones teóricas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 37(1):58-74. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.05>.

---

IDs Orcid:

Christian Rafael Orozco Suárez: <http://orcid.org/0000-0003-0139-7911>

## 1 Introducción

Inicialmente, antes de dar paso a la presentación y desarrollo argumentativo de las perspectivas teóricas que estudian la agricultura por contrato (AC), es necesario realizar una serie de aclaraciones conceptuales que permitan especificar el análisis.

En primer lugar, una pequeña y mediana producción agraria —la parte contratada o integrada— está conformada específicamente por productores campesinos, cuya base material de su reproducción social se fundamenta en la propiedad y uso de un espacio relativamente mediano o pequeño de tierra cultivable, y en la fuerza de trabajo familiar (Óman y Rama, 1986).

En segundo lugar, una gran corporación o empresa agroindustrial (GCA) —la parte contratante, integradora o ancla del contrato agrícola— es una compañía de capital nacional, extranjero o mixto que ostenta en el mercado en el que opera una posición de preeminencia y dominio, generalmente, aunque no siempre en un contexto donde predominan las formas de competencia monopsonicas u oligopsonicas, específicamente en el sector agroalimentario, dedicándose a una o más de las siguientes actividades: producción, industrialización y comercialización de mercancías agrícolas, ganaderas, forestales, piscícolas, entre otras relacionadas con recursos naturales biológicos.

En tercer lugar, siguiendo los razonamientos de Barker (1972, citado en Soria, Rodríguez y Langreo, 1988, p. 225), se entiende a la AC como:

un sistema para la producción y oferta de productos agrícolas bajo contratos futuros, siendo la esencia de tal sistema un acuerdo para suministrar un bien agrícola de características determinadas, en el momento y la cantidad requeridos por un comprador conocido. Tal sistema, a menudo, incluye una transferencia de algunas responsabilidades empresariales y algún grado de transferencia del riesgo comercial (p. 225).

## 2 Vertientes interpretativas de la agricultura por contrato

Así, teniendo claros estos conceptos; la estructura de este apartado obedece a las aportaciones en

torno al rol de las GCA en el crecimiento de la AC basadas en las corrientes mencionadas inicialmente, a saber: la corriente francesa, con ciertas influencias marxistas; la corriente anglosajona; y, la corriente latinoamericana, muy influida por las teorizaciones de la primera escuela, es decir, la de origen francés (Posada, 1999).

### 2.1 La corriente francesa

Desde esta corriente el análisis de las GCA y sus estrategias empresariales parte de la denominada «teoría de la agroindustrialización», así, en base a Fenollar (1978) se puede interpretar esta como:

Aquella que pretende desvelar la «ley económica» del desarrollo agrícola dentro de un proceso de crecimiento de industrialización y urbanización, así como mostrar la «especificidad» de las relaciones agricultura/industria y la profunda inserción del mundo rural en la sociedad global, lo que conduce a la consolidación de un sistema de producción, transformación y distribución de los productos agrarios (S.A.I) [sistema agroindustrial] que tiene como objetivo la satisfacción de las necesidades de nutrición, y que se caracteriza por una contribución cada vez menor de la propia agricultura en la formación del producto alimentario final, por un crecimiento de las grandes firmas agroalimentarias, por el desarrollo de las relaciones contractuales de éstas con las ramas más «industrializadas» del sector agrario y por la articulación de la agricultura familiar parcelaria en dicho sistema (...) La teoría de la agroindustrialización nos viene a decir que el carácter capitalista de la agricultura se acentúa no en función del desarrollo específico del MPC [modo de producción capitalista] en el interior mismo de la agricultura (...), sino en función de las interrelaciones entre la agricultura y el sistema capitalista en su conjunto (pp. 173-174).

Se trata, por tanto, de una teoría que en términos generales intenta aprehender sobre los procesos de integración de la economía campesina en el desarrollo del capitalismo en general, y del capitalismo agrario en particular —definiendo este último como un modo de producción basado en la propiedad privada de la mayoría de los medios empleados para producir, el carácter mercantil de la producción y la apropiación privada de la producción y el beneficio, donde «las relaciones sociales que dan origen y finalidad al proceso económico son las que se es-

tablecen entre los propietarios de las empresas y los asalariados que carecen de medios para producir» en el ámbito agrario (Palazuelos, 2017, p. 123)—. En este sentido, específicamente la AC, entonces, se entiende como un instrumento más —dentro de una amplia variedad de estrategias empresariales— para subsumir y subyugar al sector campesino en ese desarrollo de corte capitalista —adoptando las características propias del régimen alimentario corporativo desde la década de los ochenta— (Porter y Phillips-Howard, 1995).

Desde esta perspectiva, y en la línea del enfoque marxista clásico —Lenin (1981) y Mandel (1969, citado en Lebossé y Ouisse, 1979)—, el desarrollo del capitalismo agrario se ha teorizado empleando los mismos marcos analíticos procedentes del estudio del capitalismo industrial, es decir, aquellos empleados para estudiar el paso de la subsunción formal a la subsunción real del proceso de trabajo en el capital (Marx, 1975), originando un proceso prácticamente absoluto de proletarianización (McMichael, 2013). Entonces, a partir de este punto se considera que el sector campesino, cuyo eje central es la pequeña producción familiar rural, sigue existiendo como tal porque la agricultura, por una serie de razones que van a ir desapareciendo, mantiene un cierto retraso temporal en su proceso de industrialización, y todo lo que ello implica (Posada, 1999).

En este sentido, autores como Malassis (1979) han considerado que el desarrollo del capitalismo agrario —entendido como capitalización del agro— puede seguir dos vías diferentes. La primera estaría dirigida por parte del sector industrial, las cuales controlarían e invertirían en la propiedad agraria. Este es el caso de la llamada integración vertical. La segunda sería una vía indirecta de inversión y control por parte del sector industrial al agrario, a través, por ejemplo, de la AC. Cabe resaltar que ambas vías de desarrollo del capitalismo agrario tienen en común el hecho de que el actor proactivo del proceso es el sector industrial, o, más específicamente, la burguesía industrial —sobre todo internacional, pero también autóctona— a través de sus empresas.

Se entiende, por tanto, que esta segunda vía presenta ostensibles ventajas sobre la primera —y explicaría en gran medida el creciente protagonismo que la AC ha cobrado en las últimas décadas— en la medida en que esta le permite al capital in-

dustrial sortear el problema axial del control de la tierra; la AC resulta económicamente más lucrativa que la integración vertical puesto que, generalmente, los campesinos son muy reticentes a la hora de vender sus tierras, dando lugar a inversiones onerosas y a tasas de ganancia menores (Posada, 1999). Así pues, esta estrategia empresarial protagonizada por las GCA puede incluirse en el concepto de acumulación por desposesión (Harvey, 1984, citado en Bernstein, 2016, p. 626), un elemento axial del régimen agroalimentario corporativo.

Desde esta misma perspectiva, Lebossé y Ouisse (1979) sostienen que la AC:

integrada en un conjunto alimentario y controlada por el Estado capitalista es la que mejor sirve a los intereses esenciales de los capitalistas... En todos los dominios agrícolas el mantenimiento de un artesano transformado permite, en las condiciones actuales, una explotación mayor al beneficio del sector capitalista, es decir, una transferencia de valor mayor que la explotación directa de una fuerza de trabajo asalariado en una agricultura capitalista (p. 203).

Es decir, las empresas capitalistas prefieren la AC siempre y cuando el mantenimiento de elementos precapitalistas incrustados en el modo de producción dominante, «en el seno de la esfera alimentaria», aseguren un mayor nivel de explotación hacia el agricultor; por lo tanto, en esta situación se produce una transferencia de valor mayor cuando este agricultor es campesino —es decir, cuando su subsistencia no solo depende de los ingresos que le proporciona su participación en proyectos de AC, sino también de la producción agrícola para el autoconsumo y, además, cuenta con el apoyo laboral de su familia—, que cuando es netamente un trabajador agrícola asalariado de la empresa. Así, con referencia a lo anterior, se entiende que el mantenimiento de estructuras agrarias clasistas basadas en pequeños y medianos productores agrícolas —«agricultura artesanal», según Lebossé y Ouisse (1979)— es preferible al desarrollo del capitalismo agrario —un esquema basado en una masa de trabajadores asalariados libres por una parte, y empresarios capitalistas propietarios de la tierra y los medios de producción agrícola por otra—, solo cuando la primera condición se cumpla, es decir, cuando haya una mayor extracción de valor.

En concreto, esta tesis se sostiene en base a dos postulados. El primero, la cuasi-integración — cristalizada en la forma de AC— asegura una transferencia importante del excedente integrado (Étges, 1991; Da Costa, 2003). Por ello:

el interés de la empresa integrada es, pues, de realizar una cuasi-integración, ya que se asigna así una parte del excedente agrícola, sin tener que soportar inversiones suplementarias. La integración total, por el contrario, permitiría tener *todo* el plus-trabajo agrícola, pero implicaría una fuerte carga de inversiones suplementarias. Sería entonces *el conjunto del grupo capitalista el que obtendría tasas de beneficio más bajas de la «normal»* (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 210).

Pero ¿cómo se efectúa la transferencia del excedente? Pues bien, desde esta perspectiva teórica se sostiene que el precio de venta del producto final es inferior al «coste capitalista de producción». De forma que los empresarios que pueden pagar salarios más reducidos utilizan este proceso de la cuasi-integración. Lebossé y Ouisse (1979) sostienen que la falta de rentabilidad de los pequeños y medianos agricultores integrados en la AC no depende de su «incapacidad técnica», ni a las dimensiones escasas de sus parcelas, sino que se debe a que GCA integradoras les «confiscan los aumentos de productividad de su explotación», aunque sean los primeros los que suministran la fuerza de trabajo, la tierra, y los equipos en muchas ocasiones. En este sentido, se deduce que el derecho de propiedad del integrado es limitado en la medida en que el objetivo último del «contrato es hacerlo desaparecer en tanto que sujeto económico», es decir, de transformarlo en una pieza técnica más de la gran empresa integradora. Fenollar (1978) lo plantea «como una forma de sumisión de la agricultura familiar al capital», de forma que, por una parte, como propietario formal de tierra, este debe cuidarla y mantenerla en las mejores condiciones productivas posibles, y por otra parte, como «agricultor-artesano integrado», este no puede conservar su excedente generado (p. 211).

En este sentido, este primer postulado significa, además, el despliegue de un doble movimiento: un mayor grado de «dependencia de los agricultores» —incluso en el caso de que estos se encuentren integrados en asociaciones— que refuerza la independencia de las GCA integradoras. Este hecho se hace

patente al constatar que estas, en la abrumadora mayoría de los casos no están obligadas a garantizar la parte correspondiente a la amortización de los equipos utilizados durante el proceso productivo —coste que corre a cargo, por ende, de los mismos pequeños y medianos agricultores integrados a través del contrato—. En estas circunstancias tan favorables para las GCA, estas consiguen un mayor margen de maniobra de cara al manejo de sus recursos financieros, puesto que pueden transferir sus fondos a otras producciones u otras zonas geográficas, en la medida en que los contratos firmados previamente son generalmente de corto plazo, y casi en su mayoría su duración es menor a la «vida económica» de los equipos utilizados por los pequeños y medianos productores contratados.

Más aún, en un reducido número de casos, en los que la GCA se ve obligada a asumir la «carga financiera de las inversiones», este hecho no altera «en nada la transferencia de excedente por medio de los precios», en la medida en que el alquiler —retenido sobre los ingresos de los pequeños y medianos productores contratados— garantiza un nivel «normal» de rentabilidad de los capitales inmovilizados. En última instancia, el mayor cambio con respecto a la situación descrita anteriormente es la referente al menor margen de maniobra por parte de las empresas contratantes, puesto que ante estas condiciones contractuales, estas no pueden optar por desplazar íntegramente sus recursos financieros hacia otras actividades antes del fin de la vida útil de los equipos involucrados en la producción agrícola sujetos al contrato, ya que la parte integradora se ha comprometido a sostener los costos de las amortizaciones de estos (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 212).

Por otra parte, el segundo postulado nos indica que la cuasi-integración asegura la transferencia de los riesgos técnicos y económicos del sujeto económico integrador al sujeto jurídico integrado, puesto que esta «permite controlar suficientemente al integrado, reducir su libertad de acción especializándole totalmente, imponiéndole la exclusividad del aprovisionamiento, y creándole, con frecuencia, una posición deudora respecto al integrador» (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 214).

En el caso de los primeros, es decir, de los costes asociados a la prevención contra los riesgos técni-



cos —por ejemplo: sequías, inundaciones, plagas, enfermedades, etc.—, estos son normalmente asumidos por los agricultores-propietarios de la tierra. Estos asumen todos los riesgos, salvo ocasiones excepcionales en las que estos pueden demostrar que no han sido los responsables —siempre y cuando esta circunstancia esté incluida en el contrato—. De tal forma que la alternativa más viable que asumen mayoritariamente los pequeños y medianos productores contratados frente a estas desavenencias es la de pagar un seguro voluntario para prever este riesgo, siempre latente en la producción agrícola.

En cuanto a los riesgos económicos, Lebossé y Ouisse (1979) afirman que:

hay que destacar que resultan de la política del integrador: este lleva cierta política elegida libremente y el sistema de cuasi-integración le permite reflejar, en todo o en parte, las consecuencias de los errores de su política sobre los agricultores artesanos que integra (pp. 112-113).

Los riesgos económicos, a su vez, se pueden presentar a corto y largo plazo. Así, a corto plazo se presentan los siguientes elementos. En primer lugar, «los precios asegurados al integrado» si bien constituye un elemento positivo de la AC, esto es solamente imputable de forma parcial al integrador, puesto que, en lo sustancial, esto se debe a «un sistema de igualación de precios entre productores y entre diferentes periodos de tiempo». La intervención de la GCA integradora es débil, ya que «sus cotizaciones no representan más que una pequeña parte de las cotizaciones de los integrados». Por tanto, se entiende que su principal desempeño se ve limitado a desarrollar tareas contables y a «anticipar ciertas cantidades». Desde esta perspectiva, incluso la AC basada en contratos «protectores» o contratos «a riesgos compartidos», el pequeño y mediano agricultor integrado «se ve obligado a financiar la mitad de las pérdidas resultantes de los errores del integrador (mala política anticíclica, malas anticipaciones... )» (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 213).

En segundo lugar, «la rectificación de las cantidades a entregar» supone que durante el periodo de producción agrícola, en el momento en el que la GCA contratante se percata de un fallo en su estrategia comercial o intuye un cambio previsible en las expectativas del mercado que le pudieran

ocasionar dificultades en sus negocios pueden —si esta circunstancia está recogida en el contrato, y generalmente lo está— imponer una reducción o retraso de las entregas por parte de los productores agrícolas integrados. Además, este tipo de cláusulas contractuales se combinan con otras, como la de exclusividad, por la cual, los agricultores contratados solamente pueden vender su producción a las empresas contratantes; traduciéndose en una caída arbitraria de los ingresos de los agricultores integrados —incluso, cabe recalcar, en aquellos pocos casos en los que se prevén ciertas indemnizaciones para los pequeños y medianos agricultores— (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 213).

Por otra parte, los riesgos económicos a largo plazo están asociados a la caída tendencial de los precios de los productos agrícolas; esta reducción es asumida por los pequeños y medianos productores contratados, «ya que la mayor parte de los contratos prevén una remuneración fundada sobre el valor medio de las ventas, en un periodo determinado». En este contexto, cabe inferir que estas remuneraciones tenderán a evolucionar «con el mercado», de tal forma que no supondrán ninguna garantía sobre los precios efectivos en periodos de largo plazo —cuatro o cinco años—. Y en la medida en que es necesario amortizar los equipos e instalaciones, el productor contratado estará ligado a «cualquiera que sea la evolución de los precios durante este periodo». De esta forma, la GCA contratante puede, en un momento determinado, modificar discrecionalmente la actividad porque la mayor parte de sus medios de producción son adaptables —por ejemplo: elementos de transporte, almacenamiento, conservación, red de comercialización, etc.—, y, además, poner en hombros de la parte contratada los costes de esta modificación o «de su reducción de actividad sobre el agricultor integrado», el cual mantiene «sus equipos relativamente inadaptables que, sin embargo, tiene que amortizar» (Lebossé y Ouisse, 1979, p. 214).

Así pues, después de las consideraciones anteriores, es lógico sostener que la estructura social-agraria que surge de esta modalidad de integración genera «un fuerte sustento» en la medida en que son las mismas GCA los que los crean y fomentan —entre otros impulsores—, y, por tanto, «sus perspectivas temporales son duraderas» (Posada, 1999, p. 108).

En resumen, desde esta corriente teórica, las GCA constituyen el principal determinante del crecimiento de la AC, donde esta modalidad productiva y comercial asume un papel instrumental, es decir, esta se plantea como una herramienta de los capitalistas para «refuncionalizar» en su favor «la estructura social-agraria hegemónica por las explotaciones a pequeña escala» —y, de hecho, lo consiguen hasta tal punto que durante el régimen agroalimentario corporativo la forma dominante de capital es la vinculada con los agronegocios corporativos financiarizados (Bernstein, 2016, p. 632)—, que es una estructura de propiedad de la tierra muy característica en la mayoría de los países europeos, ostensiblemente diferente a los elevados niveles de concentración de las tierras fértiles en contextos como el latinoamericano en general, y de Ecuador en particular. Por ello, analizar la estructura de propiedad de la tierra y cómo esta evoluciona a lo largo del tiempo se torna necesario para entender el fenómeno de la AC en el marco de las estrategias empresariales desarrolladas por las GCA en toda su complejidad, particularmente en economías periféricas dependientes con altos niveles de concentración de la tierra agrícola.

## 2.2 La corriente anglosajona

Desde la perspectiva anglosajona, a diferencia de la perspectiva francesa y latinoamericana, la AC constituiría una modalidad más en la que se cristalizan las relaciones comerciales de las GCA. El eje principal del que parten prácticamente todos los estudios de esta corriente relacionados con el rol que desempeñan las GCA en el impulso a la AC es la denominada «teoría de la organización industrial», la cual estudia cómo se organizan los productores en los mercados (Runsten y Nigel, 1996; Posada, 1999; García, Oreja y González, 2002; Kirsten y Sartorius, 2002). En este sentido, el estudio de la industria agroalimentaria basado en la teoría de la organización industrial ha supuesto la formulación de un marco analítico focalizado en la siguiente premisa.

El mercado abierto presenta deficiencias en la transmisión de información entre las sucesivas etapas de la cadena de comercialización de los productos, con respecto a la cantidad, la calidad y el tiempo de expedición, así como en lo que concierne a la demanda futura de los consumidores. (Posada, 1999, p. 109).

Desde esta corriente, el conjunto de la cadena

agroalimentaria es «la unidad básica de análisis», comenzando desde la etapa primaria, continuando por las fases intermedias, hasta el consumidor final. En relación con los orígenes y fuentes de esta escuela, cabe destacar el artículo de Davis y Goldberg (1957, citado en Posada, 1999), en el cual ambos autores estudian el subsector agroindustrial, profundizando en un análisis sistémico de la cadena, haciendo especial hincapié en los flujos de información en sentido vertical que se materializan entre las diferentes etapas de la cadena, en continuos procesos adaptativos frente a las transformaciones estructurales del sector, especialmente vinculados a desarrollos de la tecnología, y sus efectos o resultados sobre el funcionamiento generalizado de los mercados.

Específicamente, alrededor de la teoría de la organización industrial han surgido destacadas formulaciones teóricas. En esta línea fue Bain (1968) quien sintetizó las distintas aportaciones procedentes de numerosos autores, estableciendo las bases del paradigma conocido como estructura-conducta-resultados —E-C-R— (Morales, 2000) como una herramienta teórica básica y central para examinar y evaluar el comportamiento de los mercados y para profundizar en el estudio de las relaciones que se establecen entre la estructura industrial y los resultados obtenidos por el subsector correspondiente. Así, desde esta perspectiva, se entiende que «la estructura del mercado influye pero no controla absolutamente la conducta de las firmas, interviniendo ambos factores en los resultados obtenidos» (Posada, 1999, p. 109).

Según el paradigma E-C-R las variables de estudio que se deben analizar para estudiar la estructura del mercado son las siguientes. En primer lugar, en relación con la estructura —E—, esta está conformada por un conjunto de variables —el grado de concentración de la oferta, el grado de concentración de la demanda, la diferenciación del producto, la naturaleza del producto, la tecnología disponible, y las barreras de entrada— que permanecen relativamente estables a lo largo del tiempo e influyen en el comportamiento tanto de los oferentes como de los demandantes. En segundo lugar, la conducta —C— hace referencia a la forma en cómo los oferentes y demandantes se comportan entre ambos agentes y en el interior de estos. Entre las variables que se estudian en este punto están: las estrategias empre-

sariales, el grado de inversión en I+D+i, los niveles de marketing y publicidad, las colusiones, etc. Y respecto al tercer elemento, los resultados —R— se miden comparando los resultados de la empresa con los del resto de la industria en términos de eficacia y eficiencia, empleando diferentes ratios para valorar los distintos grados de rentabilidad. En este caso, las variables a considerar son el precio, la cantidad, la calidad del producto, la distribución de los recursos, el reparto del excedente entre los consumidores y los productores, el grado de eficiencia en la producción, la tasa de introducción de nuevos productos, entre otras (Iglesias, 2000).

En cuanto a la aplicación del paradigma E-C-R —asociado a la teoría de la organización industrial— al ámbito del sistema agroalimentario y a la implantación de estrategias empresariales basadas en la AC, este ha aplicado ampliamente. No obstante, esta teoría presenta una serie de considerables limitaciones. Primero, se trata de una perspectiva «estática en su planteamiento», esto se explica porque la relación que sobresale es de «causa-efecto entre la estructura del sector y sus resultados», excluyendo a la conducta, y en que «el papel del directivo es una pasiva adaptación al entorno» (Cuervo, 1996, citado en García, Oreja y González, 2002; Machado, 2019). De forma que este paradigma debe ajustarse y adaptarse a un contexto de empresas activas y con visión estratégica que constantemente está analizando a sus potenciales consumidores, los productos sustitutivos y el poder de negociación que poseen los proveedores y clientes, elementos que conforman la estructura del sector y definen su rentabilidad potencial, «mientras que la competencia real dentro del sector representa a la conducta» (Mili, 1980; Porter y Phillips-Howard, 1995, citado en García, Oreja y González, 2002). La segunda debilidad de este paradigma se encuentra en el hecho de que este se centra en compañías que compiten entre sí, ofreciendo productos a los mismos demandantes, es decir, ha sido aplicado desde el punto de vista de la competencia entre empresas que producen productos sustitutivos —analizando, sobre todo, los problemas que emanan de la competencia horizontal—, prestando poca atención a las dificultades presentes en la competencia vertical, es decir, entre las compañías que forman parte de las distintas etapas de un determinado sistema (Mili, 1996; Iglesias, 2000). Finalmente, la tercera limitación a la que se enfrenta el paradigma E-C-R es el

problema de la definición de «mercado». El mercado debe incluir a todas las compañías y productos que influyen en el precio del bien. Así, la definición de mercado presenta un componente de producto y otra geográfica. La dimensión de producto implica determinar aquellos que son sustitutos del lado de la demanda. Y, por otra parte, la dimensión geográfica implica determinar la localización de las empresas que producen el mismo producto —sustitución por el lado de la oferta—. Sin embargo, las medidas de concentración son muchas veces obtenidas de estadísticas que no siguen la definición económica y geográfica de mercado —por ejemplo, se suele hacer referencia al mercado nacional— (Machado, 2019).

Frente a estos problemas y limitaciones que presenta la teoría de la organización industrial, se ha planteado que un correcto análisis del funcionamiento de la AC pasa por comprender que esta debe estudiarse desde un «contexto teórico más amplio», es decir, más allá de las dinámicas económicas de funcionamiento del sector agrario, entendiendo que la subcontratación de procesos productivos específicos abarca un abanico amplio de industrias y sectores —primarios, secundarios o terciarios—. Y, por lo tanto, comprendiendo también aspectos como «por ejemplo las decisiones relativas a fabricar o comprar, los costes de transacción, las fallas del mercado y todas las consideraciones de riesgos que normalmente toman en cuenta los agentes económicos» (Runsten y Nigel, 1996, p. 2). En este sentido, en el seno de la nueva economía institucional o neoinstitucionalismo se recuperan las teorías fundamentales que se presentan a continuación: «los costes de transacción» —siendo Coase (1937), Coase (1960) y Bartra (1994) y Williamson (1979), Williamson (1985) y Williamson (1988) sus máximos representantes—; «la teoría de la Agencia» —Jensen y Meckling (1976) son sus más destacados exponentes—; y, la teoría de los «derechos de propiedad» —Alchian y Demsetz (1972)— (Iglesias, 2000).

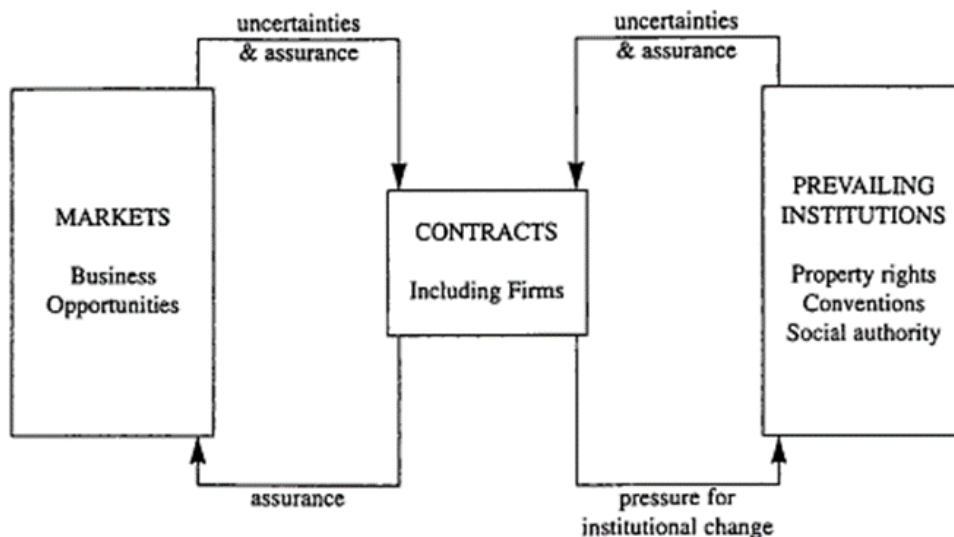
De este modo, a partir de la conjugación de estas teorías se ha reformulado y reinterpretado la perspectiva de Coase (1937), transitando de «un enfoque transaccional a un enfoque contractual» (Williams, 1985), puesto que la transacción está sostenida en un contrato. Estas teorías, definidas habitualmente como «teorías contractualistas» suponen la intro-

ducción de una serie de aportes analíticos al estudio de los mercados agroindustriales en general y a las estrategias empresariales de las GCA en la AC en particular que cabe comentar en este momento.

En primer lugar, en relación con los costes de transacción, el objetivo principal de esta teoría consiste en estudiar cuál es la mejor alternativa posible para organizar los intercambios de tal forma que esta elección se adapte a las características de cada transacción, es decir, que minimice los riesgos, y, sobre todo, los costes que llevan aparejados (Shelanski y Klein, 1995, citado en Iglesias, 2000). Así, una compañía en ciertas condiciones opta por desarrollar internamente las actividades inherentes al proceso productivo; en otras circunstancias las externaliza en el mercado; y en otras puede decantarse por posiciones intermedias como la suscripción de contratos y, estos a su vez pueden acordarse con agentes atomizados o integrados en asociaciones (Kirsten y Sartorius, 2002) (Figura 1). Resumiendo, las empresas y el sistema económico en su conjunto tienden a organizarse de forma que se minimicen los costes de efectuar transacciones (Williamson, 1996).

En segundo lugar, la «información asimétrica» importante en la AC y en las estrategias que adop-

tan las GCA (Kirsten y Sartorius, 2002). Esta describe la divergencia en la información que existe entre el oferente y el demandante. En esta misma línea argumental, desde el neoinstitucionalismo —vinculado con la rama de la Economía del Desarrollo—, Bardhan (1989) sostiene que «la formación de instituciones» constituye una reacción lógica, en espacios de «riesgos generalizados» e incertidumbre para los agentes económicos, o de «mercados incompletos» y donde la información se genera y circula de forma marcadamente asimétrica —marcada, como señala Morales (2000) y Bijman (2008), por conductas o comportamientos oportunistas y una racionalidad limitada—. En esta línea, desde esta perspectiva teórica se ha intentado demostrar qué aspectos como la conformación de asociaciones agrícolas, las relaciones laborales, la propiedad y tenencia de la tierra, y las instituciones agrarias existentes pueden ser explicados como el resultado de un «comportamiento económico racional en un contexto de mercados inexistentes o imperfectos». Por tanto, la principal aportación que esta corriente plantea respecto al entendimiento de la AC y las GCA contratantes es la siguiente: «hay importantes costos no sólo en la producción, sino también -debido a la existencia de mercados imperfectos- en las transacciones» (Runsten y Nigel, 1996, p. 3).



**Figura 1.** Contratos como intermediarios entre mercados e instituciones dominantes. **Fuente:** Hubbard (1997, p. 244).

En líneas generales se puede afirmar que desde las teorías contractualistas se conceptualiza la integración vertical como un soporte práctico esencial que hace posible la circulación de flujos de información relacionados con «la calidad, el tiempo y el precio futuro de los productos dentro del sistema agroalimentario». Así pues, como se puede intuir, la AC constituye, desde esta perspectiva, «una posición coordinadora intermedia». Es decir, una situación en la que desaparece el problema nodal de la integración vertical agroindustrial, «como es la de complementar escalas productivas muy diferentes», un mecanismo más eficiente cuanto mayor sea la reducción de «la efectividad de un determinado subsector del mercado abierto» (Posada, 1999, p. 109).

### 2.3 La corriente latinoamericana

Finalmente, desde América Latina se postula que los elementos determinantes del desarrollo de la modalidad productiva y comercial del «contrato» en el sector de la agricultura están íntimamente vinculados al propio desarrollo del capitalismo agrario (López, 1976); los ejes fundamentales de análisis son «la extensión del capitalismo a escala universal» y la constatación de la existencia de una jerarquía dentro del sistema económico capitalista a escala mundial. Desde esta perspectiva, muy influenciada por otras postulaciones teóricas coetáneas como la del intercambio desigual (Arghiri, 1972), el fenómeno en cuestión estaría relacionado con el hecho de que la fuerza de trabajo en las economías periféricas presenta niveles retributivos menores a los que se pueden encontrar en economías centrales. A partir de este punto neurálgico, esta corriente se nutrió de nuevas aportaciones, como, por ejemplo, la cuestión de la distribución de las ganancias fruto del comercio internacional, que le otorgarían mayor cuerpo teórico a esta perspectiva (Posada, 1999).

Así pues, en base a este entramado analítico se han planteado distintos estudios sobre la conformación y desarrollo del sistema agroalimentario en las economías periféricas en general, y particularmente del rol de las GCA en el impulso a la AC. Entre ellos se puede encontrar los siguientes trabajos: Glover (1983), Glover (1984) y Glover (1987), Glover y Kusterer (1990), Feder (1984), Goldsmith (1985), Williams (1985), Giarracca (1983) y Giarracca (1985), Kesteren y Gutman (1981), Rama (1984),

Rama y Vigorito (1979), Bartra (2006).

Desde este punto de vista, se considera que las GCA —en este caso, transnacionales—, cuando alcanzan un cierto nivel de desarrollo, las políticas de diversificación geográfica y económica suponen un eje central de ventaja frente a la competencia. Sin embargo, este expansionismo se produce especialmente hacia economías periféricas —donde casi siempre logran controlar y organizar la producción y las cadenas agroalimentarias—, puesto que hacerlo en el seno de las economías centrales les supone mayores dificultades —tales como: mayores niveles salariales e impositivos, relativamente elevados niveles de organización sindical, menor capacidad de negociación con los Estados, etc.—. Así pues, en este contexto se abrió un profundo debate en torno a las limitaciones y potencialidades asociados al hecho de que Latinoamérica fuera uno de los territorios más susceptibles a recibir este tipo de inversiones. En esta lógica, Feder (1984), manifiesta:

los capitalistas extranjeros en busca de inversiones agrícolas remunerativas fuera de sus países se encuentran en el tercer mundo con una peculiar serie de elementos que, solos o combinados, les permiten ganar y repatriar beneficios sustancialmente mayores que los que les reportarían inversiones parecidas en las naciones industriales. Los inversores extranjeros ocupan una posición dominante, cuando no monopólica, en la economía local. Se benefician del valor escaso o las rentas bajas de la tierra, del agua barata, de los bajos costos de construcción, de los salarios bajos y archibajos de los obreros del campo o de las fábricas y de los bajos costos de servicios como el transporte y los servicios de utilidad pública. A esto deben añadirse dos elementos cruciales: la abundancia de recursos no empleados, o no plenamente, sobre todo la tierra, el agua y la mano de obra; y la posibilidad de irse a otro lado siempre que les resulte remunerativo (p. 371).

Retomando las investigaciones de Malassis (1981), se sostiene que las grandes corporaciones transnacionales, en el marco del régimen alimentario corporativo, controlan «la fase agraria de manera directa o indirecta». Así pues, la forma directa se materializaría mediante la propiedad de la tierra y de los medios de producción agrícolas. Un ejemplo de esta modalidad de agricultura son las plantaciones de distintos tipos. Por otra parte, la forma indirecta consiste en la participación de distintas explo-

taciones agropecuarias en el seno de los complejos agroindustriales. La producción de estas unidades agrarias es controlada y se enfoca a la concesión de los objetivos marcados por las GCA. En este caso, los nexos entre los agentes económicos que participan de esta modalidad de agricultura pueden objetivarse por distintas vías, no obstante, la AC es la más importante y expandida. En consecuencia, la característica más relevante de estas relaciones contractuales es el elevado nivel de delegación de las responsabilidades empresariales hacia la mediana o pequeña explotación agraria «desde la fase primaria», y «ha resultado un medio eficaz para asegurar a los elaboradores [las GCA] un abastecimiento adecuado que satisface las normas de calidad sin necesidad de incurrir en riesgos superiores de inversión en la producción agrícola» (Goldberg, 1974, p. 52). De ello se infiere que es comprensible que las GCA hayan impulsado de manera creciente la modalidad de la AC en este tipo de escenarios. A este respecto, Feder (1984) sostiene que:

el problema de los *proveedores* [de los países] en desarrollo más allá de las fronteras nacionales es más complejo. Al principio, las compañías internacionales escogieron la coordinación por medio de la integración vertical, conocida pero cada vez menos aceptada y más irritante. A medida que los países en desarrollo iban conformando una fuerza política y económica contrapuesta precipitaron el empleo más extendido de los métodos contractuales de coordinación, como la otorgación de licencias, los contratos de gestión, las franquicias y los contratos de producción (p. 364).

A modo de síntesis se puede decir que, para estos autores, las GCA impulsan el desarrollo de la AC a través de una serie de resortes en distintos ámbitos. En primer lugar, desde el punto de vista del *mercado*, en la medida en que la producción por contrato constituye una fuente de abastecimiento altamente segura, ya que el pequeño y mediano productor contratado realmente no puede disponer de su producción sino para entregársela a la empresa agroindustrial contratante intentando no incumplir las cláusulas de su contrato —hecho sumamente improbable por distintas razones, por ejemplo, climáticas—. Más aún, esta dependencia de los productores (López, 1976) —especialmente de los más pequeños productores contratados— crece de forma considerable debido al papel oligopólico y monopolístico de las GCA en los territorios

en los que operan, de tal manera que éstas últimas cuentan con los resortes necesarios para «oponerse a la producción y comercialización de los productos que ellas no manejan y eliminarla, de modo que un productor no tenga salida para su producción si no la contratan las compañías» (Feder, 1984, p. 365). Ahora bien, la contraparte de este hecho es la relativa estabilidad económica que obtienen en general los productores contratados en base a los considerables niveles remunerativos fruto de la AC.

En segundo lugar, desde el punto de vista *contractual-informal*, Feder (1984) afirma que, en base a «la observación sobre el terreno», se sostiene que los productores contratados no conservan en absoluto su autonomía e independencia, hecho que se desprende en gran medida de lo «vago y parcial» que resultan los contratos entre las compañías y los productores. *Vago* en la medida en que las condiciones más importantes en las que los pequeños y medianos productores contratados deben traspasar su producción agrícola no se encuentran señaladas de forma minuciosa, sino que dependen de decisiones discrecionales de la GCA contratante. En gran medida esto se explica por el hecho de que los productores casi nunca están organizados y por tanto no tienen ninguna capacidad de negociación, y, además, las compañías contratantes fomentan de manera artificial conflictos y enemistades entre ellos para evitar que estos se organicen —con la connivencia de las autoridades nacionales y regionales en no pocas ocasiones—. Más aún, como Óman y Rama (1986) argumentan:

el sistema contractual permite a las empresas beneficiarse de los bajos salarios sin tener que hacer frente a los conflictos laborales y los problemas sociales que las aquejarían si operasen conforme a la modalidad tradicional (...) Los agricultores lugareños son a menudo más capaces que los propietarios de plantaciones para restringir las exigencias salariales y las tendencias hacia la sindicalización, en parte debido a que los pequeños agricultores casi siempre trabajan junto con sus asalariados y las relaciones laborales son más personales. Además, en el régimen de contratos la fuerza de trabajo está mucho más descentralizada. Por otra parte, si en las plantaciones laboran sobre todo trabajadores adultos del sexo masculino, los agricultores por contrato emplean a menudo a mujeres y a niños (p. 890).

Y *parcial* puesto que las obligaciones del contrato

son todas referidas a la parte contratada, pero ninguna para las GCA contratantes; en este sentido, se habla de «contratos leoninos». Feder (1984) defiende que:

esto implica que la aceptación o el rechazo de la producción no los determina el contrato sino las condiciones económicas (demanda y oferta) del país o mundiales, de modo que *los riesgos de cualquier fluctuación en los precios y mercados pueden recaer directamente sobre los productores*. Las condiciones en que se aceptan o se rechazan las están decidiendo esas compañías con métodos tortuosos, disimulados y a menudo crueles, independientemente de que se trate de productores grandes o pequeños, aunque estos últimos, por la fuerza de las cosas, son los primeros en padecer de la actitud arbitraria y anticampesina de las compañías internacionales. (...) En realidad, lo que éstos [pequeños y medianos productores] hacen es casi convertirse en meros labradores y braseros de tales compañías (p. 367).

En tercer lugar, desde el punto de vista *tecnológico*, en términos generales, el papel de las GCA de transferidores de tecnología es muy limitado, tanto en el contenido como en extensión, aunque no en duración. Las GCA contratantes mantienen «*su papel de innovadoras una función permanente*», ya que renunciar a su papel de innovadoras se traduciría en debilitar sus resortes esenciales de control de los sistemas de producción-comercialización agroindustrial —sobre todo, es un factor preponderante de las GCA originarias de las economías centrales, mientras que mayoritariamente las GCA de la periferia se encargan solamente de la distribución a nivel nacional—. Fundamentalmente esta ventaja se hace «permanente» a través de al menos tres prácticas o circunstancias. Primero, limitar las transferencias tecnológicas —conocimiento técnico— a determinadas regiones, excluyendo otras. Segundo, transformar las transferencias tecnológicas en «una fuente continua de ganancias» —las semillas alteradas genéticamente son un buen ejemplo de ello, puesto que cada nueva siembra requiere la compra de un nuevo paquete de semillas, abonos y pesticidas específicos—. Y, tercero, discriminar la calidad de la tecnología que se decide transferir por parte de estas compañías. Por consiguiente, si se interpreta que uno de los objetivos fundamentales de las GCA es buscar la combinación menos costosa posible de insumos —semillas, fertilizantes, pesticidas, madurativos, etc.—, es lógico que las transferencias

tecnológicas a pequeños y medianos productores contratados sean de tal forma que eleven indebidamente los costos, «sin invertir en más conocimientos técnicos y tecnología que los estrictamente necesarios y transfiriendo sólo lo suficiente para que la producción y la elaboración continúen sin elevar los costos arbitrariamente» (Feder, 1984).

Así pues, a partir de las conclusiones a las que llegan los estudios de Voll (1980), Freeman y Karen (1982), Goldsmith (1985) y Vigorito (1994), se puede intuir que en la AC existe «un polo integrador» o «*core*», conformado por la gran corporación agroindustrial, la misma que establece prácticamente todas las condiciones de producción de los agricultores contratados o «*satellites*». Esta posición asimétrica de poder le permite a la parte contratante obtener una rentabilidad mayor que la que obtendría en una modalidad de integración vertical —es decir, en aquella en la que la GCA es la propietaria de facto de la tierra y los demás medios de producción empleados en el proceso productivo—. Desde esta perspectiva, se considera que las GCA efectúan una «apropiación de los excedentes» generados por los campesinos y «una transferencia de riesgos a largo plazo». En consecuencia, cabe esperar que tendencialmente los grandes complejos agroindustriales sustituyan la modalidad agraria de plantaciones por la AC (Óman y Rama, 1986, citado en Posada, 1999).

Finalmente, desde esta escuela de pensamiento económico cabe resaltar las aportaciones del economista Armando Bartra (2006), quien señala que, a partir de las características del régimen alimentario actual, para entender el rol de las GCA en el impulso a la AC es necesario abandonar toda visión mecánica y simplista que plantee una correspondencia lógica entre el desarrollo del capitalismo en la agricultura y un proceso de «descampesinización» de esta, es decir, no se puede afirmar taxativamente que la penetración del capitalismo en el medio rural conduzca de forma ineluctable y generalizada a la proletarización de la fuerza de trabajo. «Son numerosos los ejemplos de desarrollo del capitalismo agrario que no se expresa en un proceso lineal de proletarización sino como una dialéctica de expropiación/revinculación» (p. 357). Así, a pesar del aumento relativo del trabajo asalariado fruto de una modernización de la producción agropecuaria —«cuando se desarrolla en un medio

precapitalista»—, esto no debe ofuscar las especificidades de la producción agraria y de la demanda de fuerza de trabajo que genera. En este sentido, Bartra (2006) sostiene que en el sistema capitalista una parte significativa del trabajo y de los medios de producción agrarios pueden mantenerse «subordinados al capital» por medio de «mediaciones y con modalidades consideradas “atípicas”» —como, por ejemplo: el trabajo cuentapropista, la producción de corte mercantil no empresarial, la economía de subsistencia, el trabajo asalariado a tiempo parcial, la AC, entre otras—, todas ellas totalmente funcionales al sistema y plenamente in-crustados a la lógica de acumulación capitalista —caracterizada como una «acumulación flexible» por Goodman y Watts (1994)—, y donde «el capital “apenas crea riqueza adicional; simplemente aprovecha la riqueza producida localmente para concentrarla y reutilizarla de acuerdo con su propia lógica”»; una característica que se acentúa durante el régimen agroalimentario corporativo a partir de los años ochenta hasta la actualidad (McMichael, 2013, p. 674).

Por esta razón, Bartra (2006, pp. 103-104): argumenta en relación con la AC, lo siguiente:

la pequeña y mediana producción campesina, insertada en el ciclo del capital y sometida a una relación de explotación [...], constituye por lo menos una de las alternativas del modo de producción capitalista a la onerosa extensión de sus propias relaciones de producción en el ámbito del sector agrario. La apropiación formalmente directa de la tierra por parte de los campesinos, subsumidos sin embargo de manera real al ciclo del capital, se presenta como la alternativa a la apropiación del suelo de carácter capitalista-terrateniente. Si la extensión plena de la producción capitalista al sector agrícola entraña una renta que recorta la tasa general de ganancia del capital, la conservación refuncionalizada (o la reproducción) de unidades campesinas, representa la posibilidad de una “renta al revés” [...] una transferencia de plusproducto metamorfoseado en valor que eleva la cuota general de ganancia. Si la ley de la máxima valorización del capital global ha de imponerse no hay duda de cuál será la elección.

En pocas palabras, la corriente latinoamericana entiende el crecimiento de la modalidad producti-

va y comercial de la AC en la misma lógica expansionista y colonizadora —en términos económicos y geográficos— del sistema capitalista —a pesar de ser una modalidad que no desemboca automáticamente, como hemos visto en las aportaciones de Bartra, en la conformación íntegra y generalizada de una masa de trabajadores asalariados—. Constituyéndose la AC, adicionalmente, como un mecanismo de control efectivo de las GCA hacia los pequeños y medianos productores contratados a través de múltiples resortes, específicamente de mercado, contractual-informales y tecnológicos.

### 3 Discusión y Conclusiones

A lo largo de estos apartados se han analizado los principales estudios y aportaciones procedentes de distintas escuelas que se han considerado relevantes para los factores que han contribuido de forma decisiva en el desarrollo de la modalidad productiva y comercial del contrato en la agricultura, especialmente desde la perspectiva de las GCA. Entonces, en el transcurso de la investigación se han expuesto las aportaciones de tres corrientes diferentes: i) la corriente francesa; ii) la corriente anglosajona; y, iii) la corriente latinoamericana. A continuación, se exploran los puntos de divergencia y confluencia entre estas corrientes (Tabla 1).

En primer lugar, tanto la corriente francesa como la corriente latinoamericana entienden que la economía agraria en general, y las estrategias empresariales desplegadas por las GCA en particular, no se puede estudiar de forma independiente de las lógicas impuestas por el sistema capitalista —por eso su constante expansión a escala mundial—. En este sentido, las GCA a través de la AC, en el marco del régimen agroalimentario corporativo, «refuncionalizan» la economía agraria de tal forma que en lugar de transformar a los pequeños y medianos campesinos en proletarios completos —es decir, sin medios de producción y dependientes para sobrevivir de un salario fruto de la venta de su fuerza de trabajo— estos asumen un papel de «propietarios-proletarios» o, como afirma Watts (1994) la AC «proletariza sin desposeer» a los agricultores (citado en Dubb, 2018), es decir, su remuneración procede de dos fuentes distintas: la primera de la venta de su fuerza de trabajo, y la segunda de la propiedad de los medios de producción agra-



rios —aperos de labranza, tierra, agua, etc.—. La corriente anglosajona-norteamericana, por su parte, asume de forma natural que la economía agraria es capitalista per se, sin entrar a valorar los aspectos históricos-estructurales que explican esta caracterización tan específica de la agricultura.

**Tabla 1.** Corrientes económicas que analizan la agricultura por contrato

	<b>Corriente francesa</b>	<b>Corriente latinoamericana</b>	<b>Corriente anglosajona</b>
<b>Teorías</b>	Teoría de la agroindustrialización	Teoría de la agroindustrialización	Teoría de la organización industrial/Teorías contractualistas
<b>Lógica de funcionamiento de la economía agraria</b>	La economía agraria está insertada en la lógica del sistema capitalista	La economía agraria está supeditada a la expansión del capitalismo a escala mundial	
<b>Estrategias de expansión empresarial</b>	Integración vertical e integración indirecta o cuasi-integración	Formas directas e indirectas de control	Cadenas agroalimentarias
<b>Beneficios para las GCA de la AC</b>	Mayor transferencia del excedente integrado/ Transferencia del riesgos técnico y económico	Resortes de mercado, contractual-informales y tecnológicos	Superar las deficiencias en la transmisión de información de la cadena propias del mercado abierto
<b>Efectos sobre la estructura social agraria</b>	Refuncionalización del agro	La AC es una modalidad de integración «atípica» pero plenamente funcional al proceso de acumulación capitalista	

En segundo lugar, cabe mencionar que las tres corrientes coinciden —con ciertos matices— en la afirmación de que las estrategias de expansión desarrolladas por las GCA son, en términos generales, tres. Primero, la integración vertical o directa, es decir, la compañía incorpora nuevas fases de la cadena agroalimentaria en propiedad —por ejemplo, las plantaciones—. Segundo, la externalización, es decir, la empresa acude al mercado abierto para adquirir los insumos necesarios en su proceso productivo. Y, tercero, la integración indirecta o cuasi-integración, en este caso, la estrategia empresarial consiste en la conformación de acuerdos o pactos —especialmente materializados en contratos— con medianos y pequeños productores agrícolas para el suministro de productos agrícolas. ¿Por qué esta última estrategia empresarial presenta una serie de ventajas sobre las anteriores y se ha expandido tanto en los últimos años? En el último punto se

encuentran las respuestas que ofrecen las distintas escuelas.

En tercer lugar, en relación con los elementos con los que cuentan las GCA para incrementar los niveles de AC en los territorios, prácticamente las tres corrientes coinciden en apuntar a los mismos elementos —aunque cada escuela le otorga mayor peso a una ventaja en particular—. Así, estos elementos se pueden sintetizar en los siguientes. Primero, una mayor apropiación del excedente extraído en el proceso productivo —excedente como sinónimo de plusvalía en el caso de las corrientes francesa y latinoamericana; excedente como sinónimo de beneficio empresarial para la corriente anglosajona—. Segundo, transferencia del riesgo hacia los pequeños y medianos productores contratados —según las dos corrientes de inspiración marxista—, minimización del riesgo y la incerti-

dumbre desde la escuela neoinstitucionalista. Y, tercero, desde la corriente latinoamericana se plantean dos elementos adicionales, uno contractual-informal —resaltando la pérdida de autonomía formal y real de los campesinos contratados, y a lo largo que son los contratos para la parte contratante, es decir, para las GCA—; y otro tecnológico —relacionado con la escasa y limitada transmisión de tecnología desde el *core* a los *satellites*—.

## Referencias

- Alchian, A. y H. Demsetz (1972). «Production, information costs, and economic organization». En: *The American economic review* 62.5, 777-795. Online: <https://bit.ly/3A4Gjzk>.
- Arghiri, E. (1972). *El intercambio desigual. Ensayo sobre los antagonismos en las relaciones económicas internacionales*. Siglo XXI.
- Bain, J. (1968). *Industrial organization*. J. Wiley y Sons.
- Bardhan, P. (1989). *The Economic theory of agrarian institutions*. Oxford University Press.
- Barker, J. (1972). *Contract Farming. Report of the Committee of Inquiry on Contract Farming*. ICEFAI Books.
- Bartra, A. (1994). *La empresa, el mercado y la ley*. Alianza.
- (2006). *El capital en su laberinto: de la renta de la tierra a la renta de la vida*. ICEFAI Books.
- Bernstein, H. (2016). «Agrarian political economy and modern world capitalism: the contributions of food regime analysis». En: *The Journal of Peasant Studies* 43.3, 611-647. Online: <https://bit.ly/3AczvzT>.
- Bijman, J. (2008). *Contract farming in developing countries: An overview*. Inf. téc. 6706 KN Wageningen, Netherlands: Wageningen University, Department of Business Administration.
- Coase, R. (1937). «The Nature of the firm». En: *Economica* 4, 386-405. Online: <https://bit.ly/3JKhCCL>.
- (1960). «The problem of social cost». En: *The Journal of Law y Economics* 3, 1-44. Online: <https://bit.ly/3BZsEet>.
- Cuervo, Á. (1996). *Introducción a la administración de empresas*. Cívitas.
- Da Costa, J. (2003). «Os colonos do fumo: Tobacco pay my bills. Estudo antropológico sobre política, etnia e identidade no universo da agricultura familiar fumageira em Santa Cruz do Sul, Vale do Rio Pardo-RS». Tesis de mtría. Universidade Federal de Rio Grande do Sul.
- Davis, J. y R. Goldberg (1957). *A concept of agribusiness*. Harvard University.
- Dubb, A. (2018). «The value components of contract farming in contemporary capitalism». En: *Journal of Agrarian Change* 18.4, 722-748. Online: <https://bit.ly/3QCiQet>.
- Etges, V. (1991). «Sujeição e resistência: os camponeses gaúchos e a indústria do fumo». Tesis doct. Universidade de São Paulo.
- Feder, E. (1984). *Violencia y despojo del campesino. Latifundismo y explotación capitalista en América Latina*. Siglo XXI.
- Fenollar, R. J. (1978). «La teoría de la agroindustrialización y la estabilidad del campesinado». En: *Agricultura y Sociedad* 9, 165-186. Online: <https://bit.ly/3QCFWBH>.
- Freeman, O. y R. Karen (1982). «The farmer and the money economy: The role of the private sector in the agricultural development of LDCs». En: *Technological Forecasting and Social Change* 22.2, 183-200. Online: <https://bit.ly/3QtPjDu>.
- García, A., J. Oreja y E. González (2002). «Las relaciones verticales y el poder de negociación de los agricultores integrados en forma de cooperativa frente a los individuales». En: *CIRIEC-España, revista de economía pública, social y cooperativa* 41, 111-137. Online: <https://bit.ly/3zKi8VA>.
- Giarracca, N. (1983). «La subordinación del campesinado a los complejos agroindustriales. El tabaco en México». Tesis de mtría. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.
- (1985). «Complejos agroindustriales y la subordinación del campesinado. Algunas reflexiones y el caso de los tabacaleros mexicanos». En: *Estudios Rurales Latinoamericanos* 8.1, 21-39. Online: <https://bit.ly/3p6jzsn>.
- Glover, D. (1983). *Contract farming and the transnationals*. University of Toronto.
- (1984). «Contract farming and smallholder out-grower schemes in less-developed countries». En: *World development* 12.11-12, 1143-1157. Online: <https://bit.ly/3zORgUx>.
- (1987). «Increasing the benefits to smallholders from contract farming: Problems for farmers' organizations and policy makers». En: *World Development* 15.4, 441-448. Online: <https://bit.ly/3SzN0AR>.

- Glover, D. y K. Kusterer (1990). *Small farmers, big business. Contract farming and rural development*. Saint Martin Press.
- Goldberg, R. (1974). *Agribusiness management for developing countries-Latin America*. National Agricultural.
- Goldsmith, A. (1985). «The private sector and rural development: Can agribusiness help the small farmer?» En: *World development* 13.10-11, 1125-1138. Online:https://bit.ly/3vUXUqV.
- Goodman, D. y M. Watts (1994). «Reconfiguring the rural or fording the divide?: Capitalist restructuring and the global agro-food system». En: *The Journal of Peasant Studies* 22.1, 1-49. Online:https://bit.ly/3Qckztu.
- Harvey, D. (1984). *The new imperialism*. Siglo XXI.
- Hubbard, M. (1997). «The new institutional economics in agricultural development: insights and challenges». En: *Journal of Agricultural Economics* 48.2, 239-249. Online:https://bit.ly/3zDyH5i.
- Iglesias, D. (2000). «Competitividad de las pequeñas y medianas empresas agroalimentarias pampeanas productoras de commodities en Argentina». Tesis doct. Universidad de Córdoba.
- Jensen, M. y W. Meckling (1976). «Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure». En: *Journal of financial economics* 3.4, 305-360. Online:https://bit.ly/3bDyYO1.
- Kesteren, A. van y G. Gutman (1981). *La estructura agroindustrial en Venezuela*. Documentos de Trabajo para el Desarrollo Agroindustrial.
- Kirsten, J. y K. Sartorius (2002). «Linking agribusiness and small-scale farmers in developing countries: is there a new role for contract farming?» En: *Development Southern Africa* 19.4, 503-529. Online:https://bit.ly/3BUld84.
- Lebossé, C. J. y M. Ouisse (1979). «La evolución del campesinado. La agricultura en el desarrollo capitalista». En: ed. por M. Etzezarreta. Servicio de Publicaciones Agrarias. Cap. Las políticas de integración de la agricultura artesanal en el modo de producción capitalista, págs. 199-245.
- Lenin, V. (1981). *Obras completas. Tomo 27*. Editorial Progreso.
- López, A. (1976). «Agricultura familiar y dependencia en la producción bajo contrato». En: *Agricultura y sociedad* 1, 74-93. Online:https://bit.ly/3PhxIxI.
- Machado, M. (2019). «Economía Industrial. Introducción». En: *Clase de Economía Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Online:https://www.eco.uc3m.es/~mmachado/.
- Malassis, L. (1979). *Économie agro-alimentaire I. Économie de la consommation et de la production agro-alimentaire*. Cujas.
- (1981). «Économie agro-alimentaire. T. I. Économie de la consommation et de la production agro-alimentaire». En: *Revue économique* 32.3, 597-598. Online:https://bit.ly/3QiUO8l.
- Mandel, E. (1969). *Traité d'économie marxiste. Tome III*. Union générale d'éditions.
- Marx, K. (1975). *El capital (Crítica de la economía política), Libro I (El proceso de producción del capital)*. Siglo XXI.
- McMichael, P. (2013). «Value-chain agriculture and debt relations: Contradictory outcomes». En: *Third World Quarterly* 34.4, 671-690. Online:https://bit.ly/3BXA95h.
- Mili, S. (1980). *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press.
- (1996). *Organización de mercados y estrategias empresariales en el subsector del aceite de oliva*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Centro de Publicaciones.
- Morales, A. (2000). «Los principales enfoques teóricos y metodológicos formulados para analizar el sistema agroalimentario». En: *Revista Agroalimentaria* 6.10, 75-88. Online: https://bit.ly/3DLm0ZG.
- Óman, C. y R. Rama (1986). «Las nuevas formas de inversión internacional en la agroindustria latinoamericana». En: *Comercio Exterior* 36.10, 878-894. Online:https://bit.ly/3QCeEva.
- Palazuelos, E. (2017). «La economía mundial: enfoques críticos». En: FUHEM ecosocial y Catarata. Cap. El Análisis de la Economía Mundial desde la Perspectiva de la Economía Política, págs. 120-142.
- Porter, G. y K. Phillips-Howard (1995). «Farmers, labourers and the company: Exploring relationships on a Transkei contract farming scheme». En: *The Journal of Development Studies* 32.1, 55-73. Online:https://bit.ly/3AcPy0h.
- Posada, M. (1999). «La agricultura bajo contrato. Algunas reflexiones generales y una propuesta analítica». En: *Ciclos: En La Historia, La Economía Y La Sociedad* 9.17, 103-132. Online:https://bit.ly/3JMTjN9.

- Rama, R. (1984). «El papel de las transnacionales en la agricultura mexicana». En: *Comercio Exterior* 34.11, 1083-1095. Online: <https://bit.ly/3QiIq8u>.
- Rama, R. y R. Vigorito (1979). *El complejo de frutas y legumbres en México*. Nueva Imagen.
- Runsten, D. y K. Nigél (1996). *Agricultura por contrato en los países de desarrollo. Aspectos teóricos y análisis de algunos ejemplos mexicanos*. CEPAL.
- Shelanski, H. y P. Klein (1995). «Empirical research in transaction cost economics: a review and assessment». En: *Journal of Law, Economics, and Organization* 2.11, 335-361. Online: <https://bit.ly/3BXVUSB>.
- Soria, R., M. Rodríguez y A. Langreo (1988). «La agricultura contractual: el sector lácteo asturiano». En: *Revista de Estudios Agrosociales* 144, 221-2054. Online: <https://bit.ly/3bJKreH>.
- Vigorito, R. (1994). *La transnacionalización agrícola en América Latina*. Estudios agroindustriales.
- Voll, S. (1980). *A plough in field arable: western agribusiness in Third World agriculture*. University Presses of New England.
- Watts, M. (1994). «Living under contract: Contract farming and agrarian transformation in sub-Saharan Africa». En: University of Wisconsin Press. Cap. Life under contract: Contract farming, agrarian restructuring and flexible accumulation, págs. 120-142.
- Williams, S. (1985). «Agribusiness and the Small-Scale Farmer A Dynamic Partnership for Development». En: Press Boulder. Cap. Interaction Between Agribusiness and the Small-Scale Farmer: An Inventory of Experience in Less-Developed Countries, págs. 120-142.
- Williamson, O. (1979). «Transaction-cost economics: the governance of contractual relations». En: *The journal of Law and Economics* 22.2, 233-261. Online: <https://bit.ly/3JN9Ocn>.
- (1985). *The economics institutions of capitalism*. Free Press.
- (1988). «The logic of economic organization». En: *Journal of Economics and Organizations* 1.4, 65-93. Online: <https://bit.ly/3QjATpK>.
- (1996). *The mechanisms of governance*. Oxford University Press.



## CARACTERIZACIÓN DE NEUMONÍAS EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) EN COMUNIDADES ALTOANDINAS DE HUANCVELICA, PERÚ

### CHARACTERIZATION OF PNEUMONIA IN ALPACAS (*Vicugna pacos*) IN HIGH ANDEAN COMMUNITIES OF HUANCVELICA, PERU

Victor Carhuapoma Delacruz<sup>1\*</sup>, Nicasio Valencia Mamani<sup>2</sup>, Rufino  
Paucar-Chanca<sup>3</sup>, William Salas Contreras<sup>4</sup>, y Siever Morales-Cauti<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica Multidisciplinaria de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú.

<sup>2</sup>Laboratorio de Salud Animal, Escuela Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú.

<sup>3</sup>Laboratorio de Mejora Genética, Escuela Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú.

<sup>4</sup>Laboratorio de Genética Molecular, Escuela Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú.

<sup>5</sup>Laboratorio de Microbiología y Parasitología Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.

\*Autor para correspondencia: [yachayruacc@hotmail.com](mailto:yachayruacc@hotmail.com)

Manuscrito recibido el 04 de enero de 2021. Aceptado, tras revisión, el 15 de noviembre 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

#### Resumen

Las patologías neumónicas son de importancia clínica en crianza de alpacas; sin embargo, el conocimiento de tipos neumónicos y las causas bacterianas es muy limitado. El objetivo es caracterizar las neumonías y las bacterias causantes de neumonías en neonatos de alpacas muertas en comunidades altoandinas de Huancavelica, Perú. La muestra consistió en 365 crías muertas de alpacas menores de 45 días de edad, procedentes de 10 comunidades; se tomaron hisopados traqueales en 216 de ellas para estudios microbiológicos con buffer peptonada por resultar casos de neumonías. La identificación macroscópica de neumonías se hizo mediante el test foto documentador. Se cultivaron la *Pasteurella multocida* y *Mannheimia haemolytica* en agar Colombia enriquecidas con sangre de alpaca; *Streptococcus pneumoniae* en agar Infusión Cerebro Corazón suplementadas con sangre de alpaca e identificadas mediante caracterización morfológica, microscópica, reacciones bioquímicas y optoquina. Se encontraron 59,8% de mortalidad por neumonía y 40,2% por otras causas, caracterizándose neumonía por inflamación 55,1%; 44,9% por lesión y subtipos: Exudativa 9,5%, Supurativa 3,8%, Proliferativa 42,3%, Lobar 17,8%, Intersticial 26,6%, aislándose cepas de *Streptococcus pneumoniae* 43,7%, *Mannheimia haemolytica* 14,9%, *Pasteurella multocida* 20,9%, asociadas con *Streptococcus pneumoniae*-*Pasteurella multocida* 10,7%. Se evidenció una alta frecuencia de tipos, subtipos de neumonías asociados a bacterias Gram (+) como causales de neumonías en crías de alpaca con predominio en tres comunidades altoandinas de Huancavelica, Perú.

**Palabras clave:** Neumonías, inflamación, lesión, bacterias, alpaca.

---

**Abstract**

Pneumonic pathologies are clinically important in alpaca breeding; however, there is little information about pneumonic types and bacterial causes. The objective is to characterize pneumonias and bacteria causing pneumonias in neonates of dead alpacas in high Andean communities of Huancavelica, Peru. We sampled 365 dead alpaca pups under 45 days of age, from 10 communities, 216 of them were taken tracheal swabs for microbiological studies with peptone buffer because they were cases of pneumonia. Macroscopic identification of pneumonias was done by photodocumentation test. *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica* were grown on Colombia agar enriched with alpaca blood; *Streptococcus pneumoniae* on Brain Heart Infusion agar supplemented with alpaca blood and identified by morphological and microscopic characterization, biochemical reactions and optokine. It was found 59.8% of mortality due to pneumonia and 40.2% by other causes, characterizing pneumonia by inflammation 55.1%, 44.9% by lesion and subtypes: Exudative 9.5%, Suppurative 3.8%, Proliferative 42.3%, Lobar 17.8%, Interstitial 26.6%, isolating strains *Streptococcus pneumoniae* 43.7%, *Mannheimia haemolytica* 14.9%, *Pasteurella multocida* 20.9%, predominant associates *Streptococcus pneumoniae*-*Pasteurella multocida* 10.7%. High frequency of types and subtypes of pneumonia associated to Gram (+) bacteria were observed as causal of pneumonia in alpaca pups, with predominance in three high Andean communities of Huancavelica, Peru.

**Keywords:** Pneumonia, inflation, injury, bacteria, alpaca.

---

Forma sugerida de citar: Carhuapoma Delacruz, V., Valencia Mamani, N., Paucar-Chanca, R., Salas Contreras, W., y Morales-Cauti, S. (2023). Caracterización de Neumonías en alpacas (*Vicugna pacos*) en comunidades altoandinas de Huancavelica, Perú. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):75-85. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.06>.

---

## IDs Orcid:

Victor Carhuapoma Delacruz: <http://orcid.org/0000-0002-4330-6099>

Nicasio Valencia Mamani: <http://orcid.org/0000-0002-9408-7770>

Rufino Paucar-Chanca: <http://orcid.org/0000-0001-6820-6185>

William Salas Contreras: <http://orcid.org/0000-0001-7664-3000>

Siever Morales-Cauti: <http://orcid.org/0000-0002-5396-8889>

## 1 Introducción

La crianza de alpacas es fuente de ingreso económico de importancia para los productores alpaqueros de las comunidades andinas (Carpio, 1991), resultando la fibra de esta especie como un recurso indispensable para el criador por su alta demanda en la industria textil, pues es considerado como fibra especial (Morales y col., 2017). Así mismo las prendas elaboradas son calificadas como artículos de lujo en el mercado internacional (Rosadio y col., 2012), y su carne es conocida por su alto contenido proteico con bajo colesterol (Cirilo y col., 2012; Cruz y col., 2020); por ello esta actividad es un componente indispensable para la economía de las familias de la zona altoandinas del Perú (Cruz y col., 2020).

A pesar de las bondades presentadas en esta especie, existen multifactores que la predisponen a diversas enfermedades infecciosas respiratorias, tales como los cambios bruscos de microclimas extremos (Rosadio y col., 2011), el transporte, largos recorridos de pastoreo, hacinamiento, manejos inadecuados en las actividades productivas (sanitario, reproductivos, esquila), estrés y deficiencias inmunológicas (Svensson y col., 2003; Carbonero y col., 2011). Dentro de estas patologías que más afectan a las crías de alpacas con mayor frecuencia en la época de invierno (época de parición), está la neumonía en sus distintas presentaciones clínicas que no están reportadas y validadas científicamente en la perspectiva etiológica, sintomatológica y diagnóstica como del tratamiento y control (Cirilo y col., 2012; Guzmán y col., 2013), resultando en altos índices de mortalidad neonatal en alpacas, trayendo como consecuencia grandes pérdidas económicas y de valor genético (Cirilo y col., 2012; Morales y col., 2017), y en muchos casos los criadores suelen abandonar la actividad por resultar en una baja rentabilidad económica (Sicha y col., 2020; Cruz y col., 2020); siendo el agente patógeno responsable la *Pasteurellosis* de virulencia clínica (Zanabria, Rivera y Rosadio, 2000; Cozens y col., 2019), pero en las alpacas dicho patógeno no está muy estudiado científicamente como otras especies domésticas (Rosadio y col., 2011; Ramírez y col., 2012), lo cual hace muy complejo su tratamiento y control.

Existen reportes que indican que la *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica* y *Streptococcus*

*pneumoniae* suelen ser agentes responsables de procesos neumónicos en especies domésticas, tomando parte de la cavidad oral, tracto respiratorio, gastrointestinal (Boukahil y Czuprynski, 2018), logrando colonizarse exponencialmente en pulmones y alveolos y afectando principalmente a animales inmunocomprometidos (Cirilo y col., 2012), desarrollando manifestaciones clínicas de diferentes tipos y sub tipos neumónicos en bovinos, ovinos, porcinos, y aves con tendencias altas de mortalidades (Carbonero y col., 2011).

Se reportaron 2 sub-tipos de neumonía de manera superficial en camélidos sudamericanos, especialmente en alpacas, y se observó *Pasteurella multocida* como agente bacteriano involucrado en procesos neumónicos (Rosadio y col., 2011; Cirilo y col., 2012; Rímac y col., 2017), y que posiblemente formarían parte del microbiota nasal, como ocurre en otros animales domésticos (Rosadio y col., 2012; Rímac y col., 2017). Sin embargo, existen escasos estudios sobre la caracterización de casos neumónicos, tipos, subtipos y la identificación de los agentes bacterianos, ocasionando altos casos de mortalidad en alpacas. En ese sentido, el objetivo de este estudio es caracterizar las neumonías y bacterias causantes de neumonías en alpacas neonatos muertas en comunidades altoandinas de Huancavelica Perú, con el fin de obtener mayor conocimiento de neumonías y sus agentes etiológicos para que se puedan desarrollar estrategias de control, prevención y minimizar mortalidades de alpacas, mejorando las condiciones socioeconómicas del criador de las zonas alto andinas, en vista que la crianza de alpacas resulta indispensable para su subsistencia.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de Estudio

Los estudios de campo fueron de carácter convivencial entre los meses de enero a marzo del 2020 en las comunidades altoandinas de Pastales Huando, Cachimayo, Sacsamarca, Astobamba, Pucapampa, Asociación Lachocc, Santa Bárbara, Carhuanchu, Choclococha y Matipaccana de Huancavelica-Perú, situadas entre 4200 y 5200 msnm, con temperatura promedio anual de 5 – 8°C; previo a ello se obtuvieron la autorización comunal y el acta de consentimiento informado del criador. Los estudios bacteriológicos se realizaron en el laboratorio de Sa-

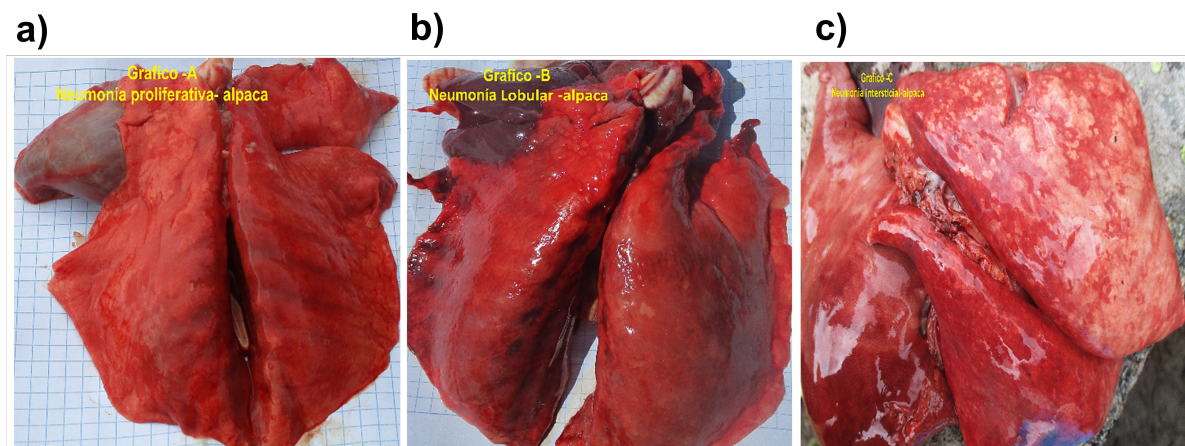
lud Animal, en el área microbiología de la Universidad Nacional Huancavelica-Perú.

## 2.2 Caracterización de neumonías

Se recolectaron 365 crías muertas de alpacas Huacaya aparentemente por causas de neumonía con edades menores de 45 días de nacidas y menores a 12 horas *post mortem* sin distinción de sexo, excluyendo a animales con tratamientos farmacológicos.

Se realizó necropsia independiente *in situ* a las 364 crías muertas de alpacas, según la técnica de necropsia en animales domésticos (Aldrete, 2002) bajo estricta medida de bioseguridad. La caracterización de casos de neumonía, tipos y subtipos neu-

mónicos se realizó mediante inspección y visualización macroscópica de lesiones y procesos inflamatorios anato-patológicos de estructura de pulmones, considerando alteraciones a nivel de lóbulos, parénquimas internos, cambio de morfología (color y/o consistencia, apariencia y distribución del exudado), focos hemorrágicos a través del uso del Test foto documentador de patologías neumónicas (Pijoan, Aguilar y Morales, 1999), registrando en fichas de registros según corresponda: neumonía reacción inflamatoria (exudativas, bronconeumonías supurativas, neumonía fibrinosa, neumonía proliferativa) y neumonía difusión de lesión (bronconeumonía, neumonía lobar, neumonía intersticial, neumonía embólica, neumonía granulomatosa), como se muestran en la Figura 1: a, b y c.



**Figura 1.** Caracterización de casos de neumonía en crías de alpacas. a) Neumonía proliferativa. b) Neumonía Lobular. c) Neumonía intersticial.

## 2.3 Estudios bacteriológicos

Se tomaron 216 muestras de líquidos traqueales mediante hisopado traqueal (Schaefer y col., 2012) en frascos estériles con búfer peptonada al 5% (10ml) de crías muertas positivas a neumonías de 10 comunidades altoandinas de Huancavelica-Perú (Figura 2: a, b y c, con estricta bioseguridad. Se rotularon y transportaron en un Termo Porta Vacunas atemperadas entre 8 – 10°C con hielo biológico (Gel Pack) al Laboratorio de Salud Animal: área de microbiología-Universidad Nacional Huancavelica, para su estudio microbiológico.

## 2.4 Aislamiento e identificación bacteriana

Las 216 muestras de hisopados traqueales positivas a neumonías fueron inoculadas de manera independiente en caldo TSA (Tryptonga Soya Agar) e incubadas a 37°C por 5 horas. Luego, se sembraron por agotamiento de manera individual en Agar Base Columbia para *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica* en Agar de Infusión Cerebro Corazón( BIH), ambos enriquecidos con sangre de alpaca desfibrinada estéril al 5% (SAD), adicionando Gentamicina (0,75 µg/mL) como inhibidor de microorganismos y se incubaron a 37°C por 24 horas en procesos aeróbicos (Avril, Donnio y Pouedras,



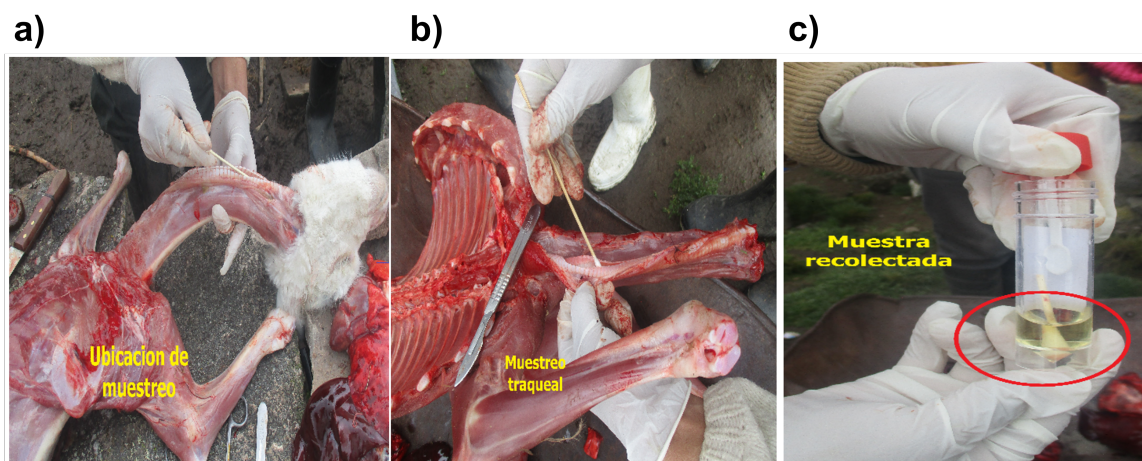
1990; Moore, Cicnjak-Chubbs y Gates, 1994). Para el cultivo de *Streptococcus pneumoniae* se utilizó Agar Infusión Cerebro Corazón (BIH) enriquecido con sangre de alpaca desfibrinada estéril al 5% (SAD), añadiendo Gentamicina (0,75 µg/mL) y se incubó a 37°C por 48 horas en condiciones anaeróbicas en Jarra Gaspar, adicionando Anaerocult® P (Moore, Cicnjak-Chubbs y Gates, 1994).

Se identificaron las cepas de *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica* y *Streptococcus pneumoniae*, mediante sus características macroscópicas (forma, color, borde, elevación y consistencia), microscópica (tención Gram), hemolítica (β hemolítica, α hemolítica, γ hemolítica), pruebas bioquímicas (TSI, LIA, SIMON, SIM), Catalasa (Fegan, Blackall

y Pahoff, 1995) y prueba de susceptibilidad a optoquina (Rosadio y col., 2012).

## 2.5 Análisis estadístico

La investigación fue de carácter descriptiva con enfoque de corte transversal prospectivo (Campbell Donald y Stanley Julian, 1995). Se determinaron la frecuencia y la relación de los casos de mortalidad en las crías de alpacas, los tipos, subtipos de neumonía y bacterias neumónicas, entre la cantidad de animales diagnosticados positivos frente al total de crías de alpacas evaluadas mediante la prueba de Chi cuadrado ( $p < 0,05$ ), usando el paquete estadístico SPSS Vers. 21.0 y expresando los resultados en frecuencias porcentuales.



**Figura 2.** Toma de muestras por hisopado traqueal en alpacas: a) Ubicación de muestreo. b) Muestreo traqueal. c) Muestra recolectada.

## 3 Resultados

Se encontró un 59,8% de mortalidad por neumonía entre las 10 comunidades. De ese total se encontraron 3 comunidades con mayor mortalidad por causa de neumonía, arrojando la comunidad de Choclococha un 10,0%, Pucapampa 8,3%, Carhuanchico 7,6% (Tabla 1), apreciándose una relación entre las causas de mortalidad y comunidad ( $p = ,000$ ) con un nivel de significancia según el análisis de Chi cuadrado ( $p < 0,05$ ).

El tipo de neumonía más frecuente encontrado fue neumonía por inflamación (55,1%) y la menos frecuente la neumonía por lesión (44,9%), de las cuales, las comunidades con altos casos de neumonía por inflamación y lesión fueron: Pastales de Huando (8,4%; 2,8%), Pucapampa (12,0%; 2,3%), Carhuanchico (7,4%; 5,6%) y Choclococha (5,6%; 10,6%), mientras que el resto de las comunidades resultaron en menor proporción (Tabla 2), encontrando una relación entre los tipos de neumonía y la comunidad ( $p = ,000$ ) según el análisis de Chi cuadrado ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 1.** Frecuencia de mortalidad de crías de alpacas (*Vicugna pacos*) por causas de neumonía en las Comunidades altoandinas de Huancavelica ( $n = 365$ ).

COMUNIDAD	MORTALIDAD POR NEUMONIA		MORTALIDAD POR OTRAS CAUSAS	
	F	%	F	%
Pastales de Huando	24	7,0	7	2,0
Pucapampa	31	8,2	5	1,4
As. Lachocc	21	6,1	17	4,5
Santa Bárbara	26	7,1	9	2,4
Sacsamarca	15	4,1	27	7,3
Astobamba	12	3,3	20	5,4
Cachimayo	14	3,7	20	5,4
Carhuanchu	28	7,6	10	2,5
Choclococha	35	10,0	8	2,2
Matipaccana	10	2,7	26	7,1
<b>TOTAL</b>	<b>216</b>	<b>59,8</b>	<b>149</b>	<b>40,2</b>

Leyenda: F= Frecuencia de mortalidad;% = porcentaje de mortalidad.

Se identificaron tipos de neumonías inflamatorias y subtipos por lesión, siendo exudativa 9,5%, supurativa 3,8%, proliferativa 42,3% y lobar 17,8%, Intersticial 26,6%; evidenciándose en 3 comunidades (Pastales Huando, Carhuanchu, Choclococha)

con altos índices de casos de 5 subtipos de neumonías (Tabla 3), encontrando relación entre subtipos de neumonía y comunidad con nivel de significancia ( $p = ,000$ ), según el análisis de Chi cuadrado ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2.** Frecuencia de tipos de neumonía en crías de alpacas (*Vicugna pacos*) en comunidades altoandinas de Huancavelica-Perú ( $n = 216$ ).

Comunidades	Sub Tipos de Neumonía									
	Neumonía por Reacción Inflamatoria					Neumonía por Difusión de Lesión				
	Exudativa		Supurativa		Proliferativa	Lobar		Intersticial		
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Pastales de Huando	4	1,8	2	0,9	12	5,6	2	0,9	4	1,8
Pucapampa	2	0,9	3	1,4	21	9,7	1	0,5	4	1,8
A. Lachocc	1	0,5	1	0,5	6	2,7	3	1,4	10	4,6
Santa Bárbara	1	0,5	-	0	9	4,2	8	3,6	8	3,6
Sacsamarca	3	1,4	1	0,5	8	3,6	3	1,4	-	-
Astobamba	-	-	1	0,5	7	3,2	4	1,8	-	-
Cachimayo	-	-	-	-	6	2,7	8	3,6	-	-
Carhuanchu	4	1,8	-	-	12	5,6	3	1,4	9	4,2
Choclococha	4	1,8	-	-	8	3,6	5	2,3	18	8,3
Matipaccana	-	-	-	-	3	1,4	2	0,9	5	2,3
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>9,5</b>	<b>8</b>	<b>3,8</b>	<b>92</b>	<b>4,3</b>	<b>39</b>	<b>17,8</b>	<b>58</b>	<b>26,6</b>

Leyenda: F= Frecuencia de casos,%= porcentaje de casos.

De un total de 216 muestras cultivadas se aislaron cepas de *Streptococcus pneumoniae* 43,1%, *Mannheimia Hemolitica* 14,7%, *Pasteurella Multocida* 20,5% y *Streptococcus pneumoniae-Pasteurella Multocida* (10,4%) con predominancia asociada doble; observando en las comunidades de Pucapampa, Pas-

tales Huando y Choclococha altas prevalencias de cepas independientes y asociadas, y el resto de comunidades con menor prevalencias (Tabla 4; Figura 3: a, b y c), hallando la relación entre agentes bacterianos y la comunidad ( $p = ,000$ ) según el análisis de Chi cuadrado ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 3.** Frecuencia de subtipos de neumonía en crías de alpacas (*Vicugna pacos*) en comunidades altoandinas de Huancavelica-Perú ( $n = 216$ ).

Comunidad	Tipos de Neumonía			
	Neumonía por Inflamación		Neumonía por lesión	
	F	%	F	%
Pastales de Huando	18	8.4	6	2.8
Pucapampa	26	12	5	2.3
Lachocc	8	3.7	13	6
Santa Bárbara	10	4.6	16	7.4
Sacsamarca	12	5.6	3	1.4
Astobamba	8	3.7	4	1.9
Cachimayo	6	2.7	8	3.7
Carhuancho	16	7.4	12	5.6
Choclococha	12	5.6	23	10.6
Matipaccana	3	1.4	7	3.2
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>	<b>55.1</b>	<b>97</b>	<b>44.9</b>

Leyenda: F= Frecuencia de mortalidad de crías de alpacas, %= porcentaje de mortalidad de crías de alpacas.

## 4 Discusión

El estudio reporta 59,8% mortalidad de crías de alpacas por causas de neumonía en 10 comunidades altoandinas de Huancavelica-Perú, resultando 3 comunidades con alto índices de casos neumónicos, que estarían implicados por modificaciones constantes de microclimas extremos (nevadas prolongadas, granizada, lluvias contantes), caminatas largas por pastoreo, manejos inadecuados en actividades ganaderas (Mamani, Condemayta y Calle, 2009), y aspiraciones del líquido amniótico al momento del parto, o de leche por falsas degluciones (Mamani, Condemayta y Calle, 2009), resultando en factores predisponentes determinantes para cuadros nemónicos en animales domésticos (Guzmán y col., 2013).

Las neumonías son de importancia clínica en la producción de alpacas; sin embargo, existen escasos estudios. Así, Mamani, Condemayta y Calle (2009) reportaron 31,12% de neumonías en alpacas, Manchego, Rivera y Rosadio (1998) encontraron mortalidades por neumonía en crías de alpacas con tendencias cíclicas e irregulares en épocas lluviosas en enero (9,5%), febrero (17,5%), marzo (2,2%). Álvarez (2011) reportó 48,1% de mortalidad en bovinos por CRB. Los resultados del estudio suelen ser ligeramente superiores a los anteriores; por lo que pareciera que los criadores no practican estrategias adecuadas de manejo sanitario en crías de alpacas.

Los tipos y subtipos de neumonía son típicos en vacunos, porcinos y cobayos (Gonçalves y col., 2001; Boukahil y Czuprynski, 2018); reportándose en el estudio tipos de neumonía: Inflamación 55,1%, lesión 44,9%; subtipos de neumonía: exudativa 9,5%, supurativa 3,8%, proliferativa 42,3%, lobar 17,8% e Intersticial 26,6%, observando tendencias altas en 3 comunidades; cifras que difieren a las reportadas por Guzmán y col. (2013) quienes encontraron 11 casos de neumonía multilobar asociados a pleuritis fibrinosa y edema pulmonar en alpacas tuis. Cirilo y col. (2012) encontraron 3 casos de bronconeumonía fibrino-necrotizante supurativa, 10 casos de bronconeumonía supurativa en alpacas neonatas; en otras especies Ramírez (2015) reportó 8% de neumonía intersticial, 6,3% de bronconeumonías supurativas crónica, 12,2% de bronquitis mucopurulentas en vacunos; por su parte, Guerrero (2011) halló 48.6% de neumonía intersticial en cuyes con predominancias en machos adultos.

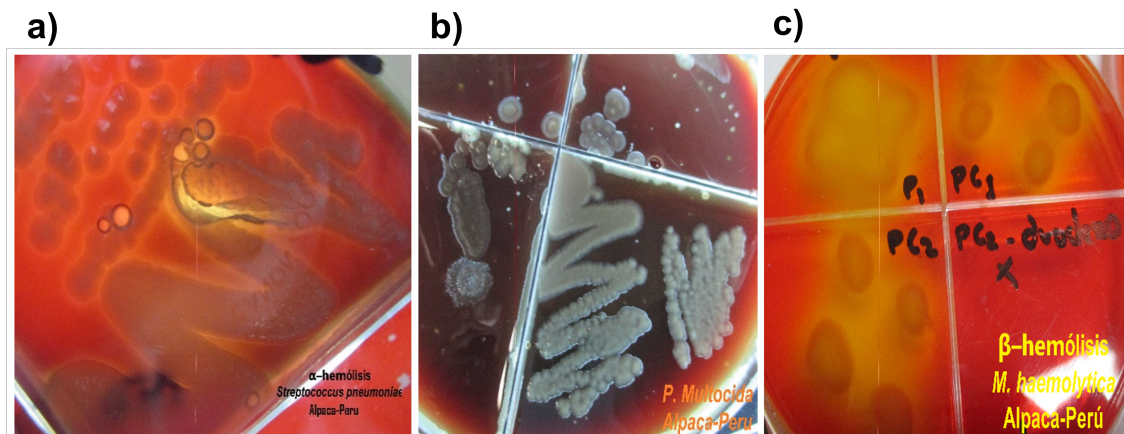
Los altos casos de tipos y subtipos de neumonías encontrados en alpacas neonatos estarían ligados a cambios extremos de microclimas en comunidades altoandinas (Rosadio y col., 2011; Rímac y col., 2017), falla completa o parcial de transferencia y bajos niveles de inmunoglobulinas en el calostro (Rímac, 2016; Lucas y col., 2016), favoreciendo la proliferación masiva de bacterias neumónicas (*M. Hemolytica*, *P. Multocida* y *S. pneumoniae*) que segregan Lipo poli sacárido (LPS), leucotoxina extra-

celular (Lkt) mediadores de citocinas proinflamatorias, procoagulantes hemorrágicos y necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) en pulmones de animales domésticos (Kumar y col., 2009; Highlander, 2001), originando lesiones tisular infamatorio en pulmones de

crías alpacas, por lo que resulta complejo el tratamiento farmacológico y en muchos casos sin éxito (Gonçalves y col., 2001; Singh, Ritchey y Confer, 2011).

**Tabla 4.** Frecuencia de agentes bacterianos neumónicos presentes en crías de alpacas (*Vicugna pacos*) en las Comunidades de Huancavelica-Perú ( $n = 216$ ).

Comunidades	Agentes bacterianos neumónicos											
	<i>Streptococcus pneumoniae</i>		<i>Mannheimia Hemolytica</i>		<i>Pasteurella Multocida</i>		<i>Streptococcus Pneumoniae-Mannheimia Hemolytica</i>		<i>Streptococcus pneumoniae-Pasteurella Multocida</i>		<i>Mannheimia Hemolytica-Pasteurella Multocida</i>	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Pastales Huando	14	6,3	0	-	7	3,2	0	-	3	1,3	0	-
Pucapampa	15	6,9	0	-	11	5,0	0	-	5	2,3	0	-
A. Lachoc	8	3,7	9	4,2	0	-	4	1,9	0	-	0	-
Santa Bárbara	12	5,5	10	4,6	0	-	4	1,9	0	-	0	-
Sacsamarca	4	1,9	3	1,3	3	1,3	2	0,9	2	0,9	1	0,5
Astobamba	3	1,3	5	2,3	0	-	4	1,9	0	-	0	-
Cachimayo	7	3,2	0	-	5	2,3	0	-	2	0,9	0	-
Carhuancho	11	5,0	5	2,3	4	1,9	3	1,3	2	0,9	3	1,3
Choclococha	16	7,4	0	-	12	5,5	0	-	7	2,8	0	-
Matipaccana	4	1,9	0	-	3	1,3	0	-	3	1,3	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>94</b>	<b>43,7</b>	<b>32</b>	<b>14,9</b>	<b>45</b>	<b>20,9</b>	<b>17</b>	<b>7,9</b>	<b>23</b>	<b>10,7</b>	<b>4</b>	<b>1,9</b>



**Figura 3.** Bacterias aisladas de crías de alpacas con casos de neumonía (S-1, P-1 y M-1): a) Cepa S-1:  $\alpha$ -hemólisis. b) Cepa P-1: *P. Multocida*. c) M-1:  $\beta$ -hemólisis.

En el estudio se reportaron *S. pneumoniae* 43,7%, *M. Hemolitica* 14,9%, *P. Multocida* 20,9%, asociados dobles entre 10,7% y 1,9%. Resultados que difieren a Rímac y col. (2017), quienes aislaron 24 cepas de *P. Multocida* de 46 pulmones de alpacas neonatos

de edades 1-2 meses con neumonía. De igual forma, Cirilo y col. (2012) en 22 muestras aislaron 11 casos positivos de *P. Multocida*, 7 de *M. Hemolitica* en neonatos de alpacas con neumonías agudas, resultados que difieren con Pijoan, Aguilar y Morales

(1999), quienes aislaron *P. Multocida* en 34 casos, *Salmonella spp.* en 12 casos y *Staphylococcus spp.* en 7 casos en becerros con neumonía. Tocqueville y col. (2017) encontraron *P. Multocida* con carga  $10^5$ ,  $10^7$  y  $10^8$  en porcinos neumónicos; Gamal y col. (2016) encontraron 5 aislados de *P. Multocida* KMT1 en oveja con 94% de homología a búfalo, y con respecto a *S. pneumoniae* diferimos a todos los reportados, resultando como el primer caso reportado en alpacas cuya virulencia estaría originado por genes PM 2.5, luxA-E, ST615 (Herbert y col., 2018; Chen y col., 2020; Panagiotou y col., 2020).

La *P. multocida*, *M. haemolytica* y *S. pneumoniae* forma parte de la microbiota de cavidad oral, tracto respiratorio, gastrointestinal en animales domésticos y salvajes (Boukahil y Czuprynski, 2018), siendo las dos primeras bacterias frecuentes en alpacas (Cirilo y col., 2012; Rímac y col., 2017); no obstante, *S. pneumoniae* si es frecuente en humanos y roedores (Sandgren y col., 2005), lo cual justifica la presencia de *P. multocida*, *M. haemolytica* encontradas en el estudio y su virulencia estaría influenciada por serovares 10, 11, 12, 15 de genes *tox*A, *tbp*A, *pfh*A de baja diversidad genética (Rímac, 2016; Rímac y col., 2017), y al uso excesivo e indebido de antimicrobianos promotores de crecimiento a posibilidades de resistencia antibacteriana (Carhuapoma y col., 2018; Cruz y col., 2020), promoviendo los procesos de colonización y reactividad cruzada a infecciones subclínicas en el animal (Díaz y col., 2017), conduciendo a las fallas respiratorias y a la muerte progresiva en crías de alpacas.

El estudio muestra que es necesario realizar estudios de caracterización de cuadros neumónicos y su etiología para entender la importancia clínica y lograr una intervención terapéutica eficaz y oportuna para una producción sostenible de alpacas y otros animales domésticos.

## 5 Conclusiones

Se evidenciaron altos índices de neumonías de diferentes tipos y subtipos asociados a bacterias neumónicas como *Mannheimia Hemolitica*, *Pasteurella Multocida* y *Streptococcus pneumoniae* en neonatos muertos de alpacas. De igual forma, se observa que tres comunidades altoandinas presentan tendencias altas de neumonías asociados a bacterias Gram (+).

## Confidencialidad de los datos

Los autores declaran que han seguido un estricto metodológico para la obtención de bases y modelo estadístico adecuado y programa para procesamiento de datos.

## Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes o animales y se requirió autorización comunal y acta de consentimiento informado del criador.

## Fuente de financiación

La presente investigación no ha recibido ningún financiamiento alguno de identidades públicas y privadas.

## Conflictos de interés

Los autores declaramos no tener ningún aprieto de intereses.

## Agradecimiento

Al administrador ejecutivo del Laboratorio Central de Investigación de Universidad Nacional de Huancavelica y criadores de alpacas de comunidades altoandinas de Huancavelica-Perú, por involucrarse en la investigación.

## Referencias

- Aldrete, J. (2002). *Técnicas de necropsia en animales domésticos*. Editorial Manual Moderno Santa Fe.
- Álvarez, I. (2011). «Análisis del comportamiento del Complejo Respiratorio Bovino en la engorda "Dos Matas", Municipio de Tierra Blanca, Veracruz, durante el periodo octubre 2009 –octubre 2010». Tesis de mtría. Universidad Veracruzana.
- Avril, J., P. Donnio y P. Pouedras (1990). «Selective medium for *Pasteurella multocida* and its use to detect oropharyngeal carriage in pig breeders». En: *Journal of Clinical Microbiology* 28.6, 1438-1440. Online: <https://bit.ly/39S66At>.

- Boukahil, I. y C. Czuprynski (2018). «Mutual antagonism between Mannheimia haemolytica and Pasteurella multocida when forming a biofilm on bovine bronchial epithelial cells in vitro». En: *Veterinary microbiology* 216, 218-222. Online: <https://bit.ly/3bmJwAl>.
- Campbell Donald, T. y C. Stanley Julian (1995). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*. Amorrortu.
- Carbonero, A. y col. (2011). «Factores de riesgo del síndrome respiratorio bovino en terneros lactantes de Argentina». En: *Archivos de zootecnia* 60.229, 41-51. Online: <https://bit.ly/3HPV6jK>.
- Carhuapoma, D. y col. (2018). «Antibacterial in vitro of effect Urtica dioica and Piper angustifolium in alpacas (Vicugna pacus) with diarrheal enteropathies». En: *MOJ Anat y Physiol* 5.2, 160-162. Online: <https://bit.ly/3nmOPCs>.
- Carpio, M. (1991). «Producción de rumiantes menores: alpacas». En: RERUMEN. Cap. Camélidos y socioeconomía andina, págs. 3-5.
- Chen, Y. y col. (2020). «PM2. 5 impairs macrophage functions to exacerbate pneumococcus-induced pulmonary pathogenesis». En: *Particle and fibre toxicology* 17.1, 1-14. Online: <https://bit.ly/3Nh8led>.
- Cirilo, E. y col. (2012). «Coexistencia de virus y bacterias en neumonías agudas en alpacas neonatas». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 23.3, 317-335. Online: <https://n9.cl/ej4mw>.
- Cozens, D. y col. (2019). «Pathogenic Mannheimia haemolytica invades differentiated bovine airway epithelial cells». En: *Infection and immunity* 87.6, e00078-19. Online: <https://bit.ly/3QYOWf0>.
- Cruz, V. Carhuapoma De la y col. (2020). «Resistencia antibiótica de Salmonella sp, Escherichia coli aisladas de alpacas (Vicugna pacus) con y sin diarrea». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 31.1, 98-109. Online: <https://n9.cl/uah8u>.
- Díaz, A. y col. (2017). «Serological survey of antibodies to Mannheimia haemolytica and Pasteurella multocida in camelids from Argentina». En: *Ann Infect Dis Epidemiol* 2.4, 1024. Online: <https://bit.ly/3OHvNCB>.
- Fegan, N., P. Blackall y J. Pahoff (1995). «Phenotypic characterisation of Pasteurella multocida isolates from Australian poultry». En: *Veterinary microbiology* 47.3-4, 281-286. Online: <https://bit.ly/3QPPBFG>.
- Gamal, M. y col. (2016). «Rapid diagnosis of virulent Pasteurella multocida isolated from farm animals with clinical manifestation of pneumonia respiratory infection using 16S rDNA and KMT1 gene». En: *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 6.1, 21-26. Online: <https://bit.ly/3OIVokF>.
- Gonçalves, R. y col. (2001). «Diferenciação clínica da broncopneumonia moderada e grave em bezerros». En: *Ciência Rural* 31, 263-269. Online: <https://bit.ly/3HQkHZP>.
- Guerrero, D. (2011). «Descripción histopatológica de patrones neumónicos en cuyes (Cavia porcellus) de la mortalidad presentada en 30 días en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño». Tesis de maestría. Universidad de Nariño-Colombia.
- Guzmán, K. y col. (2013). «Asociación de agentes virales y bacterianos en cuadros de neumonías agudas en alpacas tuis». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 24.4, 524-536. Online: <https://n9.cl/1cgku>.
- Herbert, J. y col. (2018). «Expression of the lux genes in Streptococcus pneumoniae modulates pilus expression and virulence». En: *Plos one* 13.1, e0189426. Online: <https://bit.ly/3nkITtX>.
- Highlander, S. (2001). «Molecular genetic analysis of virulence in Mannheimia (Pasteurella) haemolytica». En: *Frontiers in Bioscience-Landmark* 6.3, 1128-1150. Online: <https://bit.ly/3NnpMtQ>.
- Kumar, P. y col. (2009). «Identification of Pasteurella multocida isolates of ruminant origin using polymerase chain reaction and their antibiogram study». En: *Tropical animal health and production* 41.4, 573-578. Online: <https://bit.ly/3QL4pt>.
- Lucas, J. y col. (2016). «Pathogens involved in fatal cases of diarrhea in young alpacas in the central highlands of Peru». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú (RIVEP)* 27.1, 169-175. Online: <https://bit.ly/3xXsqR5>.
- Mamani, J., Z. Condemayta y L. Calle (2009). «Causas de mortalidad de alpacas en tres principales centros de producción ubicados en puna seca y húmeda». En: *REDVET* 10.8. Online: <https://bit.ly/3xWTxMn>.
- Manchego, A., H. Rivera y R. Rosadio (1998). «Seroprevalencia de agentes virales en rebaño mixto de una comunidad andina peruana». En: *Rev*

- Inv Pec IVITA* 9.2, 1-10. Online: <https://bit.ly/3OoMidh>.
- Moore, M., L. Cicnjak-Chubbs y R. Gates (1994). «A new selective enrichment procedure for isolating *Pasteurella multocida* from avian and environmental samples». En: *Avian Diseases*, 317-324. Online: <https://bit.ly/3ylRtiv>.
- Morales, S. y col. (2017). «Determinación de serotipos de *Escherichia coli* aisladas de crías de alpacas (*Vicugna pacos*) con y sin diarrea en Huancavelica». En: *REDVET. Revista electronica de veterinaria* 18.9, 1-14. Online: <https://bit.ly/3OphTW7>.
- Panagiotou, S. y col. (2020). «Hypervirulent pneumococcal serotype 1 harbours two pneumolysin variants with differential haemolytic activity». En: *Scientific reports* 10.1, 1-15. Online: <https://go.nature.com/3OqS4ow>.
- Pijoan, P., F. Aguilar y J. Morales (1999). «Caracterización de los procesos neumónicos en becerros lecheros de la región de Tijuana Baja California, México». En: *Vet. Méx* 30.2, 149-55. Online: <https://bit.ly/3HSGfoE>.
- Ramírez, C. (2015). «Lesiones macroscópicas y microscópicas en pulmones de bovinos engordados en corral que ameritan decomiso en rastro». Tesis de mtría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramírez, R. y col. (2012). «Presence of bovine virus diarrhoea in association with other pathologies in feedlot cattle». En: *Veterinaria México* 43.3, 225-234. Online: <https://bit.ly/3QQqAKI>.
- Rímac, R. (2016). «Caracterización molecular de *Pasteurella multocida* aislada de alpacas con signos de neumonía». Tesis de mtría. Universidad Mayor de San Marcos.
- Rímac, R. y col. (2017). «Análisis de diversidad genética de cepas de *Pasteurella multocida* aisladas de alpacas con signos de neumonía». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 28.3, 723-729. Online: <https://n9.cl/fzuey>.
- Rosadio, R. y col. (2011). «Respiratory syncytial and parainfluenza type 3 viruses coexisting with *Pasteurella multocida* and *Mannheimia hemolytica* in acute pneumonias of neonatal alpacas». En: *Small Ruminant Research* 97.1-3, 110-116. Online: <https://bit.ly/3u3bIyO>.
- Rosadio, R. y col. (2012). «El complejo entérico neonatal en alpacas andinas». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 23.3, 261-271. Online: <https://n9.cl/dhs1bv>.
- Sandgren, A. y col. (2005). «Virulence in mice of pneumococcal clonal types with known invasive disease potential in humans». En: *The Journal of infectious diseases* 192.5, 791-800. Online: <https://bit.ly/3ninZLP>.
- Schaefer, A. y col. (2012). «The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography». En: *Research in veterinary science* 93.2, 928-935. Online: <https://bit.ly/3bnkf9f>.
- Sicha, F. y col. (2020). «Análisis filogenético de cepas de *Escherichia coli* aisladas de crías de alpacas (*Vicugna pacos*) con diarrea en la sierra central del Perú». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 31.2, e17826. Online: <https://n9.cl/f4ayz>.
- Singh, K., J. Ritchey y A. Confer (2011). «*Mannheimia haemolytica*: bacterial-host interactions in bovine pneumonia». En: *Veterinary Pathology* 48.2, 338-348. Online: <https://bit.ly/39OQ4Yh>.
- Svensson, C. y col. (2003). «Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases». En: *Preventive veterinary medicine* 58.3-4, 179-197. Online: <https://bit.ly/3njOHUK>.
- Tocqueville, V. y col. (2017). «Quantification of *Pasteurella multocida* in experimentally infected pigs using a real-time PCR assay». En: *Research in veterinary science* 112, 177-184. Online: <https://bit.ly/3njPk08>.
- Zanabria, V., H. Rivera y R. Rosadio (2000). «Etiología del síndrome neumónico agudo en vacunos de engorde en Lima». En: *Rev. Inv. Vet. Perú* 11.2, 169-187. Online: <https://bit.ly/3HQsiHG>.



## RESPUESTA DEL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) A LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

RESPONSE OF THE PEA CROP (*Pisum sativum* L.) TO THE APPLICATION OF  
ORGANIC FERTILIZERS IN THE MUNICIPALITY OF PAMPLONA, NORTH OF  
SANTANDER

Ana Francisca González-Pedraza\*<sup>id</sup>, Armando José Méndez Ortega<sup>id</sup>, y Víctor  
Rafael Quesada Vergara<sup>id</sup>

*Departamento de Agronomía, Universidad de Pamplona. Código Postal 5430, Pamplona, Colombia.*

\*Autor para correspondencia: [anagonzalez11@gmail.com](mailto:anagonzalez11@gmail.com)

Manuscrito recibido el 21 de noviembre de 2020. Aceptado, tras revisión, el 13 de diciembre de 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

### Resumen

La producción de arveja en Pamplona se basa en el uso de altas dosis de fertilizantes químicos que generan daños ambientales y a la salud humana. Por lo tanto, en este estudio se comparó el efecto de diferentes abonos orgánicos con la fertilización química mediante seis tratamientos: T0: control; T1: vermicompost dosis completa (7831,00 kg/ha); T2: vermicompost mitad de la dosis (3915,50 kg/ha) + fertilizante químico (FQ 15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (703,50 kg/ha); T3: gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (ABOB: 10573,00 kg/ha); T4: ABOB mitad dosis (1407,00 kg/ha) más FQ mitad de la dosis (703,50 kg/ha); T5: FQ dosis completa (1407,00 kg/ha); T6: FQ mitad de la dosis (703,50 kg/ha). Se evaluó: altura de la planta (AP), vainas por planta (NVP); longitud de las vainas (LV) y rendimiento (kg/ha). Se aplicó un análisis de varianza al 5% y una prueba de Tukey para la separación de medias. La AP promedio fue mayor en T2 (172,27 cm). El NVP fue más alto en T3 y T5 con respecto al control, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. La LV fue estadísticamente más alta en los tratamientos con respecto al control, aunque no hubo variación entre tratamientos. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas en el rendimiento entre tratamientos, y T1 y T4 presentaron un rendimiento superior al control de 42,85% y 39,99%, respectivamente. Es posible sustituir o complementar el fertilizante químico con enmiendas orgánicas y reducir el efecto negativo de contaminación que generan sobre el ambiente y la salud de las personas.

**Palabras clave:** Vermicompost, rendimiento, fertilización química.



### Abstract

In Pamplona pea production is based on the use of high doses of chemical fertilizers that cause environmental damage and human health. Therefore, in this study the effect of different organic fertilizers was compared with chemical fertilization through six treatments: T0: control; T1: vermicompost full dose (7831.00 kg/ha); T2: vermicompost half dose (3915.50 kg/ha) + chemical fertilizer (FQ 15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) half the dose (703.50 kg/ha); T3: chicken manure + goat manure + sugarcane residues full dose (ABOB: 10573.00 kg/ha); T4: ABOB half dose (1407.00 kg/ha) plus CF half dose (703.50 kg/ha); T5: CF full dose (1407.00 kg/ha); T6: CF half the dose (703.50 kg/ha). It was evaluated: plant height (AP), pods per plant (NVP); pod length (LV) and yield (kg/ha). A 5% analysis of variance and a Tukey test for separation of means were applied. The mean AP was higher in T2 (172.27 cm). NVP was higher in T3 and T5 with respect to the control, however, between treatments no statistical differences were observed. LV was statistically higher in the treatments compared to the control, although there was no variation between treatments. Although no statistical differences were observed in the performance between treatments, T1 and T4 presented a performance superior to the control of 42.85% and 39.99%, respectively. It is possible to substitute or supplement chemical fertilizer with organic amendments and reduce the negative effect of pollution that they generate on the environment and the health of the people.

**Keywords:** Vermicompost, yield, chemical fertilization.

---

Forma sugerida de citar: González-Pedraza, A., Méndez Ortega, A. y Quesada Vergara, V. (2023). Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) a la aplicación de abonos orgánicos en el municipio Pamplona, Norte de Santander. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 37(1):86-101. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.07>.

---

IDs Orcid:

Ana Francisca González-Pedraza: <http://orcid.org/0000-0002-4392-3724>

Armando José Méndez Ortega: <http://orcid.org/0000-0003-1556-9497>

Víctor Rafael Quesada Vergara: <http://orcid.org/0000-0003-1072-2720>

## 1 Introducción

El aumento de la población conlleva al incremento en la demanda de alimentos, la cual debe ser cubierta con una mayor producción agrícola. En la agricultura convencional esto se logra con la utilización de grandes cantidades de insumos químicos, entre éstos los fertilizantes pues permiten un rápido crecimiento de las plantas. Sin embargo, estos productos generan serios problemas de contaminación de los suelos, las aguas y el aire (FAO, 2019; Latorre y Villamizar, 2019).

La arveja (*Pisum sativum* L.) pertenece a la familia de las Fabaceae. Es una importante fuente de proteínas (entre 22 y 25%), carbohidratos, fósforo, hierro, magnesio, calcio, riboflavina, niacina, tiamina y ácido ascórbico (Watt y Merrill, 1993; Dahl, Foster y Tyler, 2012). Desde el punto de vista agrícola, juega un papel importante por su contribución a la fijación de nitrógeno y mejora de la fertilidad del suelo (Davies y col., 1985; Gopinath y Mina, 2011).

En Colombia, es la leguminosa más importante después del fríjol. Se cultiva principalmente en zonas altas de clima frío y medio (2200 y 3000 msnm) y la producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima (Peñaranda y Molina, 2011; DANE, 2015; FENALCE, 2015). Este cultivo forma parte de la economía campesina de pequeños y medianos productores y es considerado un alimento básico de la canasta familiar. El 95% de la producción de arveja a nivel nacional está destinada al consumo directo humano y animal como grano rico en proteína y el 5% restante a la producción de arveja seca como semilla (Buitrago, Duarte y Sarmiento, 2006; FENALCE, 2015).

En la provincia de Pamplona, la arveja representa una alternativa para el desarrollo de la economía local, la generación de empleos e ingresos. Además, la zona posee óptimas condiciones climáticas (entre los 10 y 17 °C), y disponibilidad de mano de obra para la producción (Peñaranda y Molina, 2011). En este cultivo, los agricultores tradicionalmente fertilizan con fórmulas químicas debido que estos permiten una rápida disponibilidad de los elementos para la planta, favoreciendo algunas variables de crecimiento y rendimiento. Sin embargo, ello implica altos costos para la adquisición de los insumos además del daño ambiental ocasionado por la fer-

tilización química (González, Mosquera y Trujillo, 2015).

Existe una creciente conciencia sobre el daño ambiental causado por el uso de recursos químicos no renovables en la agricultura. Por lo tanto, se ha dirigido un gran esfuerzo de investigación hacia alternativas como la implementación de abonos orgánicos, que se está expandiendo rápidamente a nivel mundial (Willer y col., 2020; Flores y col., 2021; González-García y col., 2021). Estas técnicas resultan menos costosas y más amigables con el ambiente, de tal forma que los productos agrícolas obtenidos bajo estas condiciones son más saludables y de mejor calidad. Adicionalmente, el uso de abonos orgánicos solos o en combinación con fertilizantes químicos contribuye a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Heinze, Raupp y Joergensen, 2010; Lalito y col., 2018; Mohammed y col., 2019; Flores y col., 2021). Específicamente incrementan el contenido de carbono orgánico del suelo, proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, y reducen temporalmente la toxicidad del aluminio soluble e intercambiable debido a la formación de complejos o quelatos con sustancias orgánicas en suelos ácidos, viéndose reflejado en un aumento del crecimiento vegetativo y el rendimiento de las plantas (Suresh y col., 2004; Al-Bayati y col., 2019; Mohammed y col., 2019; Mátyás y col., 2020)

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos fertilizantes orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en el municipio Pamplona, Norte de Santander en comparación con la fertilización química con el fin de ofrecer una alternativa de producción ambientalmente amigable, económicamente viable y socialmente aceptable.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las parcelas de experimentación del Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos (CISVEB) de la Universidad de Pamplona, municipio Pamplona, Norte de Santander. Esta zona se encuentra ubicada a una altura de 2331 msnm, en un clima cálido y templado y

según la clasificación del clima de Köppen-Geiger es marítimo de costa occidental (oceánico) (Cfb). La temperatura media anual oscila alrededor de los 14,4 °C, siendo mayo el mes más caluroso del año con un promedio de 15,0 °C y enero el más frío del año, con una temperatura media de 13,3 °C. La precipitación promedio anual es de 921 mm, y hay precipitaciones durante todo el año, siendo el mes más seco en enero con 21 mm y el mes más húmedo en abril con un promedio de 141 mm (Climate-Data.Org, 2020).

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de los suelos en el área en donde se llevó a cabo el experimento.

**Tabla 1.** Características físicas y químicas de los suelos del Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos (CIS-VEB) de la Universidad de Pamplona, municipio Pamplona, Norte de Santander.

Variable de suelo	Valor
Clase textural	Franco arenoso
Arena (%)	62,00
Arcilla (%)	22,00
Limo (%)	16,00
pH	6,00
Carbono orgánico (%)	2,46
Fósforo (ppm)	15,1
Calcio (meq/100 g)	17,1
Magnesio (meq/100 g)	1,09
Sodio (meq/100 g)	0,12
Potasio (meq/100 g)	0,29
Boro (ppm)	0,24
Hierro (ppm)	83,8
Manganeso (ppm)	2,76
Cobre (ppm)	0,67
Zinc (ppm)	1,36

Fuente: Laboratorio químico de suelos (2018). Universidad Industrial de Santander.

## 2.2 Diseño del experimento

Se realizó un diseño de bloques al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Se seleccionó un área experimental de 504 m<sup>2</sup> que fue dividida en tres bloques de 21 m × 7 m (147 m<sup>2</sup> cada bloque) y una separación de 1,5 m entre bloques. Cada bloque fue dividido en siete parcelas de 7 m × 3 m (21 m<sup>2</sup>/parcela) para la distribución de los respectivos tratamientos con una separación de 30 cm entre

parcelas. En cada parcela se sembraron tres surcos a una distancia de un metro entre ellos y de tres centímetros aproximadamente entre semillas, resultando en una densidad poblacional de 333333,00 plantas/ha.

Se aplicaron siete tratamientos como se describen a continuación: T0: Control; T1: Vermicompost dosis completa (VC100% = 7831,00 kg/ha o 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T2: Vermicompost mitad de la dosis (VC50% = 3915,50 kg/ha o 8,22 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T3: Gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (GCR100% = 10573,00 kg/ha o 22,20 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T4: GCR mitad de la dosis (GCR50% = 5286,50 kg/ha o 11,10 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T5: Fertilizante Químico dosis completa (FQ100% = 1407,00 kg/ha o 2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T6: Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

El cálculo de las dosis de abonos orgánicos y fertilizante químico en kg/ha se realizó a partir de la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo según los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio y los requerimientos nutricionales del cultivo.

## 2.3 Aplicación de abonos orgánicos, fertilizante químico y manejo del cultivo

Se utilizaron dos abonos orgánicos comerciales:

- Vermicompost: elaborado a base de abono de lombriz y conocido comercialmente como Ferticampo. Este abono presenta un porcentaje de nitrógeno total de 2,70%, 0,82% de fósforo total, 3,06% de potasio total, 2,63 de óxido de calcio, 0,68% de magnesio, 13,70% de carbono oxidable total, una relación C/N de 10,77 y una capacidad de intercambio catiónico de 34,42 cmol(+)/kg de suelo. La dosis calculada de vermicompost fue de 7831,00 kg/ha de acuerdo con los resultados del análisis de suelos, mientras que para el área experimental la dosis equivalente fue de 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>.

- GCR: abono orgánico compuesto de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar conocido comercialmente como Abonos orgánicos de Boyacá (ABOB). Esta enmienda cuenta con un 2,00% de nitrógeno total, 5,00% de fósforo total ( $P_2O_5$ ), 3,0% de potasio soluble en agua ( $K_2O$ ), 10,00% de calcio ( $CaO$ ), 24,00% de silicio ( $SiO_2$ ), 35,00% de materia orgánica, 9,00% de carbono oxidable, relación C/N de 7,50 y capacidad de intercambio catiónico de 25,00 cmol(+)/kg de suelo. La dosis calculada por hectárea fue de 10573,00 kg, mientras que para el área de cada parcela fue de 22,20 kg.
- Fertilizante químico: se utilizó el fertilizante químico Triple 15 (15% N 15%  $P_2O_5$  15%  $K_2O$ ) a una dosis calculada de 1407,00 kg/ha (2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

La preparación del terreno se hizo con motocultor para un mejor acondicionamiento del suelo al momento de la siembra, siguiendo los métodos de siembra de los productores de la zona. La fertilización tanto química como orgánica se efectuó a los 15 días después de la siembra. Treinta días después de la siembra se realizó el establecimiento del tutorado para las plantas de arveja, con el fin de facilitar las labores del cultivo, y un mejor manejo en el control de malezas y enfermedades. El control de maleza se realizó de manera manual cada ocho días, retirando las malezas que pudieran competir y reducir el rendimiento del cultivo, ya que la arveja es poca competidora y necesitaba de un control de malezas estricto para evitar un bajo rendimiento al final de la cosecha.

El control de plagas y enfermedades se llevó a cabo de manera química y manual al principio de la siembra debido a la presencia de babosas, aves y trozadores, aplicando diferentes productos como Babosil a una dosis de 20 kg/ha cada 15 días. Se aplicó Lorsbán (2,50% × 1 kg (Clorpirifos) de 3,00 a 5,00 cc/L) para minimizar el daño de las plantas durante su crecimiento y desarrollo. Adicionalmente se colocaron espantapájaros en varios puntos de los lotes. Para el control de enfermedades causadas por algunos hongos presentes como antracnosis (*Ascochyta* spp) se aplicó Mancozed (gránulos dispersables: WG 75%) en dosis de 200 g/100L de agua de forma preventiva durante la etapa inicial de crecimiento de las plantas y con una frecuencia de siete a 10 días. Para el control de mildew veloso (*Peronospora*

*ra corda*) se aplicó Ziram (dimetil-ditiocarbamato de zinc 760 g/Kg en gránulos dispersable: WG 76%) a una dosis de 240 a 300 g/100L de agua de forma preventiva antes y después de la floración, especialmente por las condiciones climáticas de alta precipitación que se presentaron durante el desarrollo del experimento.

El riego se efectuó de forma manual con una frecuencia cada dos días dependiendo de las condiciones climáticas. Se aplicaron de 250 a 380 mm de agua aproximadamente durante todo el ciclo del cultivo, asegurando siempre buena disponibilidad de humedad en el suelo. La cosecha se realizó a los 105 días después de la siembra de forma manual cuando las vainas de la arveja habían alcanzado su madurez.

## 2.4 Variables de estudio

Para la siembra se utilizaron semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Rabo de gallo, el cual es muy conocido y preferido por los productores locales de la vereda Monte Adentro, debido a sus características de buena calidad, grano grande, gran número de granos por vaina y alta resistencia al ataque de plagas. Las variables evaluadas fueron:

### 2.4.1 Altura de planta (AP)

La altura de la planta se midió a los 30, 60 y 90 (AP30, AP60 y AP90, respectivamente) días después de la siembra. Para ello se tomaron 20 plantas al azar por unidad experimental y se midió la altura desde la base de la planta hasta el último foliolo en los días antes señalados, utilizando para ello una cinta métrica. Los datos fueron expresados en cm.

### 2.4.2 Longitud de las vainas verde (cm) (LV)

La longitud de las vainas se efectuó al momento de la cosecha. De cada parcela experimental se tomaron 20 plantas, y de cada planta se seleccionaron 5-10 vainas del segundo tercio donde se concentraban las vainas más desarrolladas y se obtuvo la longitud promedio expresada en cm.

### 2.4.3 Número de vainas verdes por plantas (VP)

De las 20 plantas seleccionadas en cada parcela experimental se procedió a contar el número total de vainas por planta.

#### 2.4.4 Rendimiento (kg/ha)

Se determinó pesando el número total de vainas por parcela experimental. La cosecha del cultivo se realizó cuando las plantas se encontraban en el estadio principal número 7, código 79 según la escala BBCH, en el cual las vainas ya han alcanzado el tamaño típico (madurez verde), completamente formadas (Enz y Dachler, 1998).

#### 2.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó un análisis de la varianza de una vía (ANOVA). Cuando el ANOVA fue significativo ( $p < 0,05$ ) se aplicó una prueba de Tukey para la separación de medias. Para analizar la relación entre las variables de estudio se empleó un análisis de correlación Lineal de Pearson. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 21 a un nivel de significancia de 0,05.

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Altura de las plantas

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 2, se puede apreciar que a los 30 días después de la siembra en campo la altura de las plantas (AP) en T0 fue significativamente más alto ( $p < 0,05$ ) que el resto de los tratamientos, con excepción de T6 que no presentó diferencias con T0.

A los 60 días después de la siembra, la AP fue estadísticamente menor ( $p < 0,05$ ) en T4 con respecto a T2, T3 y T6, mientras que entre T0, T1, T2, T3, T5 y T6 no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). La AP a los 60 días permite evidenciar una mejor respuesta del cultivo a los tratamientos. La mayor altura se aprecia en T6 (FQ50%) y T2 (VC50% + FQ50%), pero no hubo diferencias entre ellos. La menor altura se observó en T4 con la mezcla GCR + 50% + FQ50%, lo que evidencia que las plantas no respondieron favorablemente a esta combinación.

La mayor altura de las plantas a los 90 días después de la siembra se encontró en T2 ( $172,27 \pm 12,70$  cm), el cual solamente fue estadísticamente mayor que T0, T4 y T6 (Tabla 2).

De acuerdo con estos resultados, es posible que al inicio del ensayo la AP en T0 haya sido mayor debido a que los abonos orgánicos y el fertilizante químico no se aplicaron al momento de la siembra sino a los 15 días, por lo tanto, no había transcurrido el tiempo suficiente para que ellos se solubilizaran (Álvarez-Sánchez y col., 2006; Flores y col., 2021).

Por otro lado, pero a los 90 días después de la siembra la altura de las plantas de arveja fue 19,33% mayor en el tratamiento en el que se usó la combinación de la mitad de la dosis recomendada de abono orgánico vermicompost equivalente a 3915,50 kg/ha, más la mitad de la dosis de fertilizante químico triple 15 (703,50 kg/ha) sugerida según los resultados del análisis de suelos, con respecto al tratamiento control en donde no se aplicó ningún tratamiento. En tal sentido, el uso combinado de la enmienda orgánica a base de vermicompost con el fertilizante químico ejerció un efecto positivo importante en la altura de las plantas en comparación con el tratamiento control. Se ha señalado en diferentes trabajos que las enmiendas orgánicas pueden aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes químicos cuando se aplican de manera combinada, constituyendo una estrategia particularmente importante cuando la adquisición de fertilizantes químicos es costosa o no son fácilmente accesibles, puesto que permite mantener y aumentar los rendimientos a largo plazo (Van Zwieten, 2018; El-Salehein y col., 2019).

Aunque el uso de vermicompost más fertilizante químico (T2) fue estadísticamente superior al control, no presentó diferencia entre los tratamientos en los que se usó vermicompost en la dosis completa (T1: 7831,00 kg/ha); dosis completa del abono comercial compuesto de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar (T3: 10573,00 kg/ha) y la dosis completa de fertilizante químico triple 15 (T5: 1407 kg/ha). El hecho de no encontrar diferencias en la altura de las plantas entre estos tratamientos (T1, T2, T3 y T5) demuestra que se puede reducir el uso de fertilizantes químicos o ser sustituido por enmiendas orgánicas, tomando en cuenta que la disponibilidad de nutrientes de fertilizantes orgánicos como el estiércol animal y el compost suele ser baja a corto plazo, por lo que la respuesta del cultivo es más visible a largo plazo.

**Tabla 2.** Altura de las plantas de arveja a los 30, 60 y 90 días después de la siembra en respuesta a la fertilización orgánica y química en el municipio Pamplona, Norte de Santander.

Tratamientos	Altura de la planta (cm)		
	30 días	60 días	90 días
T0	25,72±2,94 <sup>ac</sup>	97,80±9,04 <sup>ab</sup>	144,36±18,97 <sup>a</sup>
T1	23,81±2,74 <sup>b</sup>	97,43±12,75 <sup>ab</sup>	165,85±14,92 <sup>b</sup>
T2	23,67±2,99 <sup>b</sup>	102,13±8,34 <sup>b</sup>	172,27±12,70 <sup>b</sup>
T3	22,73±2,98 <sup>b</sup>	101,88±13,24 <sup>b</sup>	171,76±20,43 <sup>b</sup>
T4	22,56±3,33 <sup>b</sup>	93,96±9,41 <sup>a</sup>	155,37±16,10 <sup>a</sup>
T5	22,33±3,03 <sup>b</sup>	99,56±10,03 <sup>ab</sup>	165,55±19,76 <sup>6b</sup>
T6	24,81±3,30 <sup>c</sup>	103,41±12,18 <sup>b</sup>	162,13±22,75 <sup>a</sup>

Valores promedios ± desviación típica acompañados por letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. T0: Control; T1: Vermicompost dosis completa (VC100% = 7831,00 kg/ha o 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T2: Vermicompost mitad de la dosis (VC50% = 3915,50 kg/ha o 8,22 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T3: Gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (GCR100% = 10573,00 kg/ha o 22,20 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T4: GCR mitad de la dosis (GCR50% = 5286,50 kg/ha o 11,10 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T5: Fertilizante Químico dosis completa (FQ100% = 1407,00 kg/ha o 2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T6: Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,5 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

Por otro lado, la aplicación de la mezcla de la mitad de la dosis de abono comercial ABOB (T4: 5286,50 kg/ha) más la mitad de la dosis del fertilizante químico triple 15 (T4: 703,50 kg/ha), y el uso sólo de fertilizante químico triple 15 a la mitad de la dosis recomendada (703,50 kg/ha<sup>2</sup>) no representó un incremento significativo en la altura de las plantas en comparación con el tratamiento control. A este respecto, las evidencias científicas señalan que el suministro de nutrientes provenientes de las enmiendas orgánicas depende en buena medida de la fuente y la calidad de los abonos orgánicos utilizados, así como de la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos presentes (Mukai, 2018; Van Zwieten, 2018).

Resultados similares fueron reportados por El-Salehe y col. (2019), en donde el tratamiento con estiércol de granja + fertilizante NPK a la mitad de la dosis recomendada resultó en incrementos significativos en el crecimiento de *Pisum sativum* L., cuajado de frutos, contenido químico de hojas, rendimiento de vaina verde y sus componentes y calidad de la semilla. Lalito y col. (2018) también encontraron que la combinación de la fertilización química, vermicompost y restos vegetales mejoraron los atributos de crecimiento, rendimiento y

propiedades del suelo en relación con el control, tales como: mayor altura de planta, número de hojas por planta, número de ramas por planta, número de vainas por planta, número de semillas por vaina, rendimiento de semillas, y valores más altos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O disponible en el suelo después de la cosecha del cultivo.

Bautista-Zamora y col. (2017) también encontraron una respuesta análoga en la evaluación del efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) y fertilizante comercial sobre el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* var. Cerinza, en donde la altura de las plantas a los 56 días después de siembra fue significativamente mayor en los tratamientos de compost y vermicompost en relación con la fertilización comercial.

Al comparar la altura de las plantas observada en este estudio con otros trabajos se encontró que ésta resultó mucho mayor a la obtenida por ejemplo por Checa, Narváez y Bastidas (2017), en una investigación en la cual realizaron una evaluación agronómica de diferentes variedades de arveja en diferentes épocas de siembra. Santamaría y col. (2010) también obtuvieron valores de altura de las plantas por debajo a los encontrados en este estudio.

dio a los 60 días después de la siembra, aunque vale destacar que la mejor respuesta que encontraron en la altura de las plantas fue con la utilización de abono orgánico en comparación con el fertilizante químico.

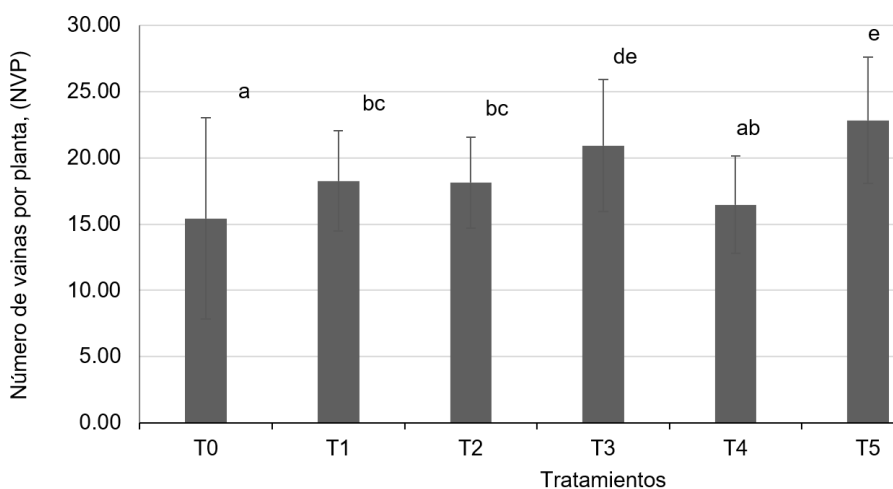
Este resultado probablemente se deba al tipo de semilla utilizada. En este caso, se trata de la variedad conocida localmente como Rabo de gallo, la cual presenta una alta adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas de la zona y posee buenos rendimientos. Se trata de una semilla no certificada, obtenida por los mismos agricultores de la zona y comercializada en los diferentes establecimientos de productos agropecuarios de municipios como Pamplona y Ragonvalia en el departamento Norte de Santander (Amaya, 2017).

### 3.2 Número de vainas por planta (NVP)

En la Figura 1 se observa que T5 presentó un mayor número de vainas por planta (NVP) en comparación con el resto de los tratamientos ( $p < 0,05$ ), con excepción de T3 donde se usó la dosis completa del

abono comercial compuesto de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar en la dosis completa (ABOB: 10573,00 kg/ha). T0 presentó menor NVP ( $p < 0,05$ ) con respecto a T1, T2, T3, T5 y T6, pero no se diferenció con T4. Por otro lado, no se observaron diferencias entre T1, T2 y T4 al igual que entre T3 y T6. Por último, T4 resultó en menor NVP en comparación con T3, T5 y T6 ( $p < 0,05$ ).

El número de vainas por planta es un componente de rendimiento muy importante que determina la productividad del cultivo. El promedio de NVP varió desde 15,43 en el tratamiento control hasta alcanzar valores de 20,93 con el abono comercial compuesto de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar en la dosis completa (ABOB: 10573,00 kg/ha) y 22,83 con la dosis completa del fertilizante químico triple 15, no encontrando diferencia entre estos dos últimos. A este respecto, Jasssem, Atab y Abed (2015) encontraron que tanto la fertilización química como orgánica condujo a un aumento significativo en el número de vainas por planta, la longitud de las vainas y el rendimiento de semillas de las plantas de habas (*Vicia faba* L.).



**Figura 1.** Número de vainas por planta (NVP) en el cultivo de arveja en respuesta a la fertilización orgánica y química en el municipio Pamplona, Norte de Santander. Barras con valores promedios  $\pm$  desviación típica acompañadas con letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. T0: Control; T1: Vermicompost dosis completa (VC100% = 7831,00 kg/ha o 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T2: Vermicompost mitad de la dosis (VC50% = 3915,50 kg/ha o 8,22 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T3: Gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (GCR100% = 10573,00 kg/ha o 22,20 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T4: GCR mitad de la dosis (GCR50% = 5286,50 kg/ha o 11,10 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T5: Fertilizante Químico dosis completa (FQ100% = 1407,00 kg/ha o 2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T6: Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,5 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

Al igual que en este estudio, Al-Bayati y col. (2019) encontró que la aplicación de diferentes dosis de abonos orgánicos y fertilizantes químicos, sólo o combinados, generan distintas respuestas por parte del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.). Por ejemplo, la aplicación del abono orgánico solo al 100% de la dosis requerida aumentó el rendimiento biológico, el número de semillas por vaina y el rendimiento de semillas verdes. La combinación 3/4 químico + 1/4 orgánico aumentó el número de ramas por planta, porcentaje de materia seca durante el crecimiento vegetativo, el peso y la longitud de las vainas. La mezcla de 1/4 químico + 3/4 orgánico aumentó el número de vainas por planta, el rendimiento de vainas por planta y el rendimiento total de vainas.

Adicionalmente, se pudo apreciar una respuesta diferente a las diferentes fuentes de enmienda orgánica, siendo la enmienda ABOB la que generó una mejor respuesta. En este sentido, en un trabajo desarrollado por Mukai (2018) se demostró que incluso dentro de productos orgánicos similares puede existir una alta variabilidad en el suministro de nutrientes, en comparación con los fertilizantes químicos en donde los nutrientes están disponibles de inmediato para los cultivos, por lo que son absorbidos rápidamente por las plantas. No obstante, la disponibilidad de nutrientes y los rendimientos de los cultivos pueden llegar a ser similares tanto para la fertilización orgánica como química cuando se evalúan los efectos a largo plazo.

El número promedio de vainas por planta obtenido en los diferentes tratamientos evaluados, así como en el control, estuvo por debajo a los reportados por Checa, Narváez y Bastidas (2017) quienes presentaron valores promedio de número de vainas por planta entre 33 y 35, para las épocas lluviosas del año, bajo condiciones de adecuada disponibilidad de humedad similar a las de este estudio. Mientras que Casanova, Solarte y Checa (2012) obtuvieron número de vainas por plantas (NVP) promedio de 19,20, 20,25 y 20,10 a densidades de siembra de 333333,00 250000,00 y 200000,00 plantas/ha, respectivamente. Mientras que el NVP en el tratamiento con mayor número de plantas (666666,00 plantas/ha) fue estadísticamente más bajo (16,05 vainas por planta) en siete líneas promisorias de ar-

veja arbustiva (*Pisum sativum* L.).

El número de vainas por planta es una variable susceptible a la densidad poblacional, debido a que a más alta es la densidad de plantas mayor competencia intraespecífica, por lo que la producción de vainas por planta suele ser más baja. En este estudio, no se evaluó la densidad poblacional, sin embargo, la densidad poblacional fue de 333333,00 plantas/ha igual para todos los tratamientos, y los valores de número de vaina por planta oscilaron entre 15,43 en el tratamiento control y 22,83 para el tratamiento de fertilización química al 100% de la dosis. Esto indica que el número de vainas por plantas es susceptible a las diferentes dosis y fuentes de fertilización tanto orgánica como química.

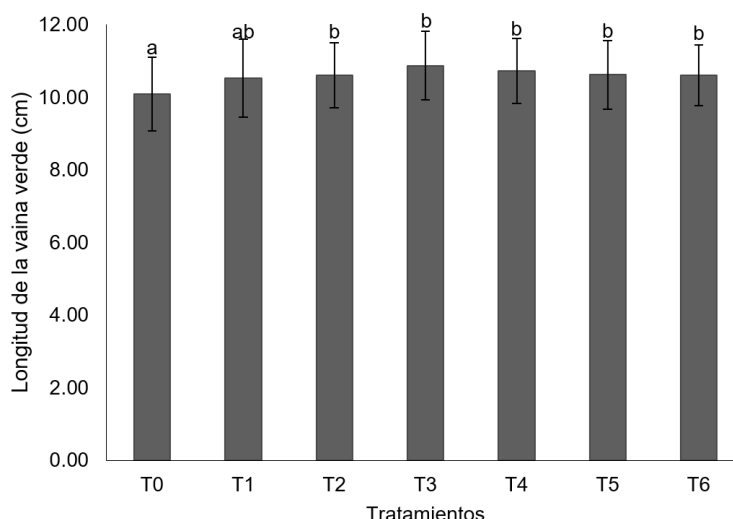
Por su parte, Galindo y Clavijo (2009) obtuvieron valores promedio entre 9,70 y 9,90 vainas/planta, relativamente por debajo a los obtenidos en este estudio. Esas diferencias probablemente se deban a factores como fertilidad natural de los suelos y comportamiento de cada una de las variedades cultivadas en cada zona de estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se puede deducir que la variedad Rabo de gallo responde de manera positiva tanto a la fertilización química como a la fertilización orgánica y que, además, presenta una buena producción de vainas tanto sin fertilización como con fertilización orgánica o química, razón por la cual es preferida por los agricultores de la zona.

### 3.3 Longitud de las vainas verdes (LV)

En la Figura 2 se puede apreciar que la LV del cultivo de arveja fue significativamente más baja en T0 con respecto al resto de los tratamientos, con excepción de T1, el cual no tiene diferencias significativas entre sí ( $p > 0,05$ ). No se observaron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre el resto de los tratamientos. Esto indica que el cultivo de arveja respondió favorablemente a los tratamientos aplicados con respecto al testigo; y con la aplicación del abono orgánico GCR100% (T3) se obtuvo el valor promedio más alto en la longitud de las vainas verdes ( $10,87 \pm 0,947$  cm).





**Figura 2.** Longitud de las vainas verdes (LV) en el cultivo de arveja en respuesta a la fertilización orgánica y química en el municipio Pamplona, Norte de Santander. Barras con valores promedios  $\pm$  desviación típica acompañadas con letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. T0: Control; T1: Vermicompost dosis completa (VC100% = 7831,00 kg/ha o 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T2: Vermicompost mitad de la dosis (VC50% = 3915,50 kg/ha o 8,22 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T3: Gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (GCR100% = 10573,00 kg/ha o 22,20 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T4: GCR mitad de la dosis (GCR50% = 5286,50 kg/ha o 11,10 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T5: Fertilizante Químico dosis completa (FQ100% = 1407,00 kg/ha o 2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T6: Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,5 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

De acuerdo con los resultados, la longitud de las vainas fue estadísticamente menor ( $p < 0,05$ ) en el tratamiento control donde no se usó ningún fertilizante con respecto a los tratamientos con enmiendas orgánicas y fertilizante químico, a excepción del tratamiento donde se usó 100% vermicompost. Sin embargo, no se observaron diferencias entre tratamientos. Por lo tanto, al igual que la variable de número de días a floración, es probable que esta variedad presente una condición genética que la hace más estable para este parámetro, a pesar de las diferentes dosis y fuentes de abonos orgánicos, así como del fertilizante químico utilizado. Los valores obtenidos en este estudio están por encima a los datos reportados por el DANE (2015) para las variedades Santa Isabel y Guatecana con longitud de las vainas de 4 a 6 cm de largo, 4 a 5 cm para Piquinegra, 4 a 8 cm para la variedad Sindamanoy; mientras que las variedades Obonuco San Isidro y Alcalá presentan longitud de las vainas verdes de 7,00 a 9,60 cm y 7,00 a 9,20 cm, respectivamente. Esta es otra característica que hace que esta variedad sea de preferencia por los agricultores de la zona; por lo tanto, resulta necesario ahondar en la procedencia de las semillas,

su adecuada identificación, así como en las posibilidades de realizar un proceso de certificación y comercialización.

### 3.4 Rendimiento del cultivo

La cosecha del cultivo se realizó cuando las plantas se encontraban en el estadio principal número 7, código 79 según la escala BBCH, en el cual las vainas ya han alcanzado el tamaño típico (madurez verde), completamente formadas (Enz y Dachler, 1998).

En relación con el efecto de la fertilización orgánica y química sobre el rendimiento del cultivo de arveja de acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 3, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos. El rendimiento osciló entre 5079,36 kg/ha para T6 como valor más bajo y 7936,51 kg/ha para T4 como valor más alto.

En este estudio los valores de rendimiento (kg/ha) obtenidos son relativamente superiores al promedio nacional especialmente en los tratamien-

tos con fertilización orgánica. Por ejemplo, de acuerdo con los datos publicados por el DANE (2015) en Colombia se han reportado rendimientos en vaina verde de 4000 a 5600 kg/ha para la variedad Santa Isabel, para la variedad Piquinegra el rendimiento se ubica entre los 2000 a 4500 kg/ha, para la variedad Guatecana el rendimiento oscila entre los 3000 a 5000 kg/ha, 4197 kg/ha para la variedad Sindamanoy, mientras que la Variedad Obonuco andina puede alcanzar rendimiento de hasta 6608 kg/ha, siendo las variedades Alcalá y Sureña las que presentan el mayor rendimiento (12000 y 14990 kg/ha, respectivamente).

**Tabla 3.** Rendimiento del cultivo de arveja (kg/ha) en respuesta a la fertilización orgánica y química en el municipio Pamplona, Norte de Santander.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
T0	5555,56±3993,57 <sup>a</sup>
T1	7777,78±991,27 <sup>a</sup>
T2	7460,32±1198,38 <sup>a</sup>
T3	6031,74±1454,78 <sup>a</sup>
T4	7936,51±3170,63 <sup>a</sup>
T5	6190,47±4151,33 <sup>a</sup>
T6	5079,36±1672,32 <sup>a</sup>

Barras con valores promedios ± desviación típica acompañadas con letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. T0: Control; T1: Vermicompost dosis completa (VC100% = 7831,00 kg/ha o 16,44 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T2: Vermicompost mitad de la dosis (VC50% = 3915,50 kg/ha o 8,22 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T3: Gallinaza + caprinaza + residuos de caña de azúcar dosis completa (GCR100% = 10573,00 kg/ha o 22,20 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T4: GCR mitad de la dosis (GCR50% = 5286,50 kg/ha o 11,10 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>) + Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,50 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T5: Fertilizante Químico dosis completa (FQ100% = 1407,00 kg/ha o 2,95 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>); T6: Fertilizante Químico (15N 15P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15K<sub>2</sub>O) mitad de la dosis (FQ50% = 703,5 kg/ha o 1,48 kg/parcela de 21 m<sup>2</sup>).

Autores como Khan y col. (2013), en condiciones lluviosas encontraron rendimientos con un rango entre 3,74 a 10,43 t·ha<sup>-1</sup>; mientras que Checa, Narváez y Bastidas (2017) reportaron rendimientos entre 6,04 t·ha<sup>-1</sup> para la época seca; y valores entre 10,21 y 12,96 t·ha<sup>-1</sup> durante la época de lluvia.

Por su parte, Mishra (2014) reportó rendimientos de 5,5 t·ha<sup>-1</sup>, en tanto Celis y Prett (1995), obtuvieron rendimientos de 20 t·ha<sup>-1</sup> para el cultivo de arveja, este último muy superior al reportado en esta investigación. Casanova, Solarte y Checa (2012) reportaron rendimientos en vaina verde entre 4076,90; 4725,56; 5968,61 kg/ha para densidades de siembra de 666666, 333333 y 200000 plantas/ha.

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos, es importante destacar una tendencia en la que se puede apreciar que el uso solo de vermicompost al 100% de la dosis recomendada (T1: 7831 kg/ha) representó un incremento del rendimiento con respecto al tratamiento control de 39,99%. El uso combinado de vermicompost a la mitad de la dosis (3915,50 kg/ha) + fertilizante químico triple 15 mitad de la dosis (703,50 kg/ha) resultó en un incremento del 34,28%; mientras que en T4 en el que se aplicó la combinación de la enmienda ABOB al 50% (5286,50 kg/ha) más la mitad de la dosis del fertilizante químico FQ50% (703,50 kg/ha) el rendimiento fue 42,85% más alto que el control. El menor incremento del rendimiento correspondió al T3 (ABOB: 10573,00 kg/ha) con 8,57% y en T5 con fertilización química a una dosis de 1407,00 kg/ha de triple 15 el incremento apenas fue de 11,42%. Cuando se usó la mitad de la dosis de fertilizante químico el rendimiento se ubicó 8,58% por debajo del control.

En un metaanálisis realizado por Chivenge, Vanlauwe y Six (2011) se reportan rendimientos de hasta 60% con el uso de enmiendas orgánicas en comparación con el control no enmendado, mientras que el uso combinado de enmiendas orgánicas y fertilizantes nitrogenados puede resultar en un aumento de rendimiento de hasta 114%.

Resultados relativamente similares fueron encontrados por Rojas (2017) en condiciones agroclimáticas de Tiabaya-Arequipa, Perú, en donde la mayor producción de vainas verdes de arveja var. Quantum se obtuvo con la fertilización orgánica en una mezcla de 6 t·ha<sup>-1</sup> de humus de lombriz y 1 t·ha<sup>-1</sup> de guano de islas y biol (líquido producido por un biodigestor y se usa como abono foliar en una concentración de 40%) con rendimientos de hasta 12,80 t·ha<sup>-1</sup> significativamente superiores a los obtenidos en este estudio. Santamaría y col. (2010) también encontraron una mayor producción

de arveja verde en vaina con el uso del fertilizante orgánico líquido Fertigran en tres etapas fenológicas del cultivo, en comparación con la fertilización convencional.

En una revisión llevada a cabo por Van Zwieten (2018) se exploró el papel a largo plazo de las enmiendas orgánicas y se presentó evidencia sólida sobre los beneficios en el rendimiento de estas enmiendas en comparación con los controles no fertilizados. Es posible que las enmiendas orgánicas no proporcionen una dosis de nutrientes adecuada o equilibrada, por lo que se debe tener en cuenta la cantidad de nutrientes presentes en la enmienda y la aplicación de algún fertilizante adicional. Por lo tanto, se necesita una comprensión básica de las características del tipo de enmienda utilizada, especialmente en los contenidos de N y P total aportados.

El vermicompost es un abono orgánico que se obtiene a partir de la acción de la lombriz californiana conocido también como humus sólido de lombriz. La enmienda usada en este estudio es un producto certificado con porcentajes adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como con una capacidad de intercambio catiónica alta (34,42 cmol(+)/kg de suelo). Por su parte, el ABOB es un abono certificado producido comercialmente a base de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar con un aporte de nitrógeno y potasio similar al vermicompost, pero con concentraciones mucho más altas de fósforo y silicio, y con una capacidad de intercambio catiónico menor que la del vermicompost (25,00 cmol(+)/kg de suelo).

Al tratarse de enmiendas con distintas fuentes de material orgánico es lógico que el aporte y la liberación de nutrientes sea distinta entre ambos, evidenciándose en incrementos diferenciales del rendimiento. En este estudio, el mejor rendimiento fue con el vermicompost sólo y con la combinación de ABOB con el fertilizante químico.

### **3.4.1 Análisis de correlación de Pearson entre el rendimiento y las diferentes variables desarrollo y crecimiento evaluadas en el cultivo de arveja en respuesta a los tratamientos**

En la Tabla 4 se presenta el análisis de correlación de Pearson realizado a los datos obtenidos en los

diferentes tratamientos. El rendimiento se correlacionó significativa y positivamente con la altura de la planta a los 90 días ( $p < 0,05$  y correlación de Pearson 0,53), mientras que el número de vainas por planta (VP) presentó una correlación altamente significativa y positiva ( $p < 0,01$  y correlación de Pearson 0,55) con la altura de la planta a los 90 días (AP90D).

Del análisis presentado en la Tabla 4 se desprende que en la medida que aumenta la altura de la planta en respuesta a los tratamientos, aumenta también el número de vainas por planta y en consecuencia el rendimiento es mayor.

La aplicación de los abonos orgánicos solos o en combinación con el fertilizante químico generó efectos variados en los atributos de crecimiento y rendimiento evaluados. Autores como Pandey (2017), señalan que la combinación orgánica e inorgánica del suministro de nutrientes puede ser sinérgica en el cultivo de arveja, debido a que la fuente orgánica mejora el entorno físico y biológico del suelo, lo que a su vez aumenta la disponibilidad de nutrientes de la fuente inorgánica. El aumento en el rendimiento de semillas se debe al efecto acumulativo de los atributos de crecimiento y rendimiento.

A pesar de que en este estudio los suelos presentan buena fertilidad fue posible observar una respuesta positiva de los tipos de enmiendas solas o en combinación con la fertilización química. Las enmiendas orgánicas aportan carbono orgánico al suelo, el cual es importante para estimular el crecimiento de la biomasa microbiana del suelo, especialmente en el largo plazo. Se ha reportado incrementos del carbono orgánico del suelo de hasta 49% después de la adición de enmiendas orgánicas en comparación con un control no fertilizado y de 29% con respecto a un control fertilizado (Chen y col., 2018; Murillo-Montoya, Mendoza-Mora y Fadul-Vásquez, 2020). De igual forma, las enmiendas orgánicas pueden suministrar directamente tanto macro como micronutrientes, y el suministro a largo plazo de N está regulado por la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos añadidos. Adicionalmente, el contenido de nutrientes depende en gran medida de la fuente y la calidad de los compuestos orgánicos añadidos (Van Zwieten, 2018).

**Tabla 4.** Análisis de correlación de Pearson entre el rendimiento y las diferentes variables de crecimiento y desarrollo evaluadas en el cultivo de arveja en respuesta a la fertilización orgánica y química en el municipio Pamplona, Norte de Santander.

Correlaciones		Rendimiento	AP30D	AP60D	AP90D	DF	VP	LV
Rendimiento	Correlación de Pearson	1	-0,06	0,27	<b>0,53*</b>	-0,08	0,20	-0,12
	Sig. (bilateral)		0,81	0,23	<b>0,01</b>	0,72	0,40	0,62
	N	21	21	21	21	21	21	21
AP30D	Correlación de Pearson	-0,06	1	0,50*	0,04	-0,26	-0,07	-0,43
	Sig. (bilateral)	0,81		0,02	0,87	0,26	0,75	0,06
	N	21	21	21	21	21	21	21
AP60D	Correlación de Pearson	0,27	0,50*	1	0,72**	-0,06	0,51*	0,07
	Sig. (bilateral)	0,23	0,02		0,00	0,80	0,02	0,77
	N	21	21	21	21	21	21	21
AP90D	Correlación de Pearson	0,53*	0,04	0,72**	1	0,19	0,56**	0,32
	Sig. (bilateral)	0,01	0,87	0,00		0,42	0,01	0,16
	N	21	21	21	21	21	21	21
DF	Correlación de Pearson	-0,08	-0,26	-0,06	0,19	1	-0,23	0,43
	Sig. (bilateral)	0,73	0,26	0,80	0,42		0,31	0,05
	N	21	21	21	21	21	21	21
VP	Correlación de Pearson	0,20	-0,07	0,51*	<b>0,56**</b>	-0,23	1	0,18
	Sig. (bilateral)	0,40	0,75	0,02	<b>0,01</b>	0,31		0,43
	N	21	21	21	21	21	21	21
LVS	Correlación de Pearson	-0,12	-0,43	0,07	0,32	0,43	0,18	1
	Sig. (bilateral)	0,62	0,06	0,77	0,16	0,05	0,43	
	N	21	21	21	21	21	21	21

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

AP30D: Altura de la planta a los 30 días; AP60D: Altura de la planta a los 60 días; AP90D: Altura de la planta a los 90 días; DF: Número de días a floración; VP: Número de vainas por planta; LV: Longitud de la vaina verde.

## 4 Conclusiones

La altura de las plantas fue afectada positivamente por el uso combinado de vermicompost a la mitad de la dosis recomendada (3915,50 kg/ha) más la mitad de la dosis de fertilizante químico triple 15 (703,50 kg/ha) en comparación con el tratamiento control.

El número de vainas por planta fue mayor con la enmienda a base de gallinaza, caprinaza y residuos de caña de azúcar a la dosis completa en comparación con la fertilización química.

La longitud de las vainas verdes estuvo por en-

cima del promedio nacional y respondió muy bien a la aplicación sola o combinada de los abonos orgánicos y el fertilizante químico en comparación con el control. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento entre los diferentes tratamientos, T1 y T4 presentaron un rendimiento superior al control de 42,85% y 39,99%, respectivamente.

En el caso del vermicompost, la combinación con el fertilizante químico favoreció una mayor altura de las plantas, probablemente debido a una más rápida disponibilidad de nutrientes.

La combinación de las enmiendas orgánicas con

el fertilizante químico generó efectos positivos en el cultivo de arveja. La variedad Rabo de gallo respondió muy bien a aplicación sola o combinada de abonos orgánicos y fertilizante químico, razón por la cual es preferida por los agricultores de la zona. Por lo tanto, es posible sustituir o complementar el fertilizante químico con enmiendas orgánicas y reducir el efecto negativo de contaminación que generan sobre el ambiente y la salud de las personas.

## 5 Recomendaciones

Combinar el uso de las enmiendas orgánicas con el fertilizante químico, debido a la mejor respuesta obtenida en las variables del cultivo.

Evaluar diferentes dosis de enmiendas orgánicas sobre las variables de crecimiento del cultivo.

Estudiar la variedad de arveja Rabo de gallo, indagar sobre su procedencia, estudiar diferentes distancias de siembras, distintos tipos de suelos, incluir un mayor número de variables del cultivo y compararla con otras variedades utilizadas a nivel nacional.

Analizar el efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en el corto, mediano y largo plazo.

## Referencias

- Al-Bayati, H. y col. (2019). «Role of organic and chemical fertilizer on growth and yield of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.)» En: *Plant Archives* 19.Supplement 1, 1249-1253. Online: <https://bit.ly/3rH7rzM>.
- Álvarez-Sánchez, E. y col. (2006). «Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo». En: *Terra Latinoamericana* 24.2, 261-268. Online: <https://bit.ly/3vD1ULV>.
- Amaya, C. (2017). «Establecimiento de un proyecto productivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en un área de 5.000 m<sup>2</sup> como alternativa económica ante la deforestación en el municipio de Ragonvalia, Norte de Santander». Tesis de maestría. Universidad de La Salle, Yopal, Casanare.
- Bautista-Zamora, D. y col. (2017). «Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* cv. ICA Cerinza». En: *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11.1, 122-132. Online: <https://n9.cl/2zoda>.
- Buitrago, J. Y., C. J. Duarte y A. Sarmiento (2006). *El cultivo de la arveja en Colombia*. Ed. Produmedios.
- Casanova, L., J. Solarte y O. Checa (2012). «Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.)» En: *Revista de Ciencias Agrícolas* 29.2, 129-140. Online: <https://bit.ly/3Mo3Qic>.
- Celis, A. y G Prett (1995). «Producción estival de arvejas en la costa interior en la Décima Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias». En: *Boletín Técnico Remehue* 232.
- Checa, O., C. Narváez y J. Bastidas (2017). «Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado». En: *Revista UDCA Actualidad y divulgación científica* 20.2, 279-288. Online: <https://bit.ly/3ETBpGc>.
- Chen, Y. y col. (2018). «The long-term role of organic amendments in building soil nutrient fertility: a meta-analysis and review». En: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 111.2, 103-125. Online: <https://bit.ly/37TrtAi>.
- Chivenge, P., B. Vanlauwe y J. Six (2011). «Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis». En: *PloS one* 342, 1-30. Online: <https://bit.ly/3rVDYIE>.
- Climate-Data.Org (2020). *Clima Pamplona, Norte de Santander Colombia*.
- DANE (2015). «El cultivo de la arveja en Colombia». En: *Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria* 33, 1-78. Online: <https://bit.ly/3MxuYv5>.
- Dahl, W., L. Foster y R. Tyler (2012). «Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.)» En: *British Journal of Nutrition* 108.S1, S3-S10. Online: <https://bit.ly/3vZ6fZN>.
- Davies, D.R. y col. (1985). «Grain Legume Crops». En: ed. por R.J. Summerfield y E.H. Roberts. Collins, London. Cap. *Pisum sativum* L.)@ Pea (*Pisum sativum* L.)
- El-Salehein, E. y col. (2019). «Utilization of Friendly Fertilizers as an Organic and NPK Fertilizers on Peas (*Pisum sativum* L.)» En: *Int. J. Environ* 8.2, 85-94. Online: <https://bit.ly/3y5MJO5>.





- Enz, M. y Ch. Dachler (1998). *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas escala BBCH extendida*.
- FAO (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*.
- FENALCE (2015). *Catálogo de semillas*. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Online: <https://fenalce.co/>.
- Flores, Y. y col. (2021). «Efecto de abonos biológicos y fertilizantes químicos en el cultivo de maíz, FLASA Cojedes Venezuela: Effect of biological fertilizers and chemical fertilizers in corn cultivation, FLASA Cojedes Venezuela». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6.1, 21-27. Online: <https://bit.ly/3F40NsV>.
- Galindo, J. y J. Clavijo (2009). «Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 10.1, 5-15. Online: <https://bit.ly/3LyOBCX>.
- González-García, H. y col. (2021). «Efecto de la tiamina sobre el crecimiento y desarrollo del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en el sector la Grita, estado Táchira, Venezuela: Effect of thiamine on the growth and development of paprika (*Capsicum annuum* L.) in the La Grita sector, Táchira state, Venezuela». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6.1, 3-8. Online: <https://bit.ly/3Kz0pDX>.
- González, J., J. Mosquera y A. Trujillo (2015). «Efectos e impactos ambientales en la producción y aplicación del abono supermagro en el cultivo de sandía». En: *Ingeniería y Región* 13, 103-111. Online: <https://bit.ly/3vw9MQw>.
- Gopinath, K. y B. Mina (2011). «Effect of organic manures on agronomic and economic performance of garden pea (*Pisum sativum*) and on soil properties». En: *Indian Journal of Agricultural Sciences* 81.3, 236-239. Online: <https://bit.ly/3s3VB38>.
- Heinze, S., J. Raupp y R. Joergensen (2010). «Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture». En: *Plant and Soil* 328.1, 203-215. Online: <https://bit.ly/3LufUyd>.
- Jasem, A., H. Atab y H. Abed (2015). «Effect of organic and chemical fertilizers and their interaction with foliar fertilizers on yield of broad bean (*Vicia faba* L.)». En: *Euphrates Journal of Agriculture Science* 7.4, 44-48. Online: <https://bit.ly/3yb1sY2>.
- Khan, T. y col. (2013). «Morphological performance of peas (*Pisum sativum*) genotypes under rainfed conditions of Potowar region». En: *J. Agric. Res* 51.1, 51-60. Online: <https://bit.ly/37WVEXm>.
- Laboratorio químico de suelos, ed. (2018). *Resultado análisis de suelos*. Vol. 1. Universidad Industrial de Santander.
- Lalito, C. y col. (2018). «Effect of different organic and inorganic nitrogenous fertilizers on growth, yield and soil properties of pea (*Pisum sativum*, L.)». En: *J. Pharmacognosy and Phytochemistry* 7.4, 2114-2118. Online: <https://bit.ly/3vTuqSA>.
- Latorre, A. y Q. Villamizar (2019). «Evaluación del efecto de la fertilización en el rendimiento de cuatro clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et. Buk) en Mutiscua, Norte de Santander: Evaluation of the effect of fertilization on the yield of four promising Creole potato clones (*Solanum phureja* Jud. Et. Buk) in Mutiscua, Norte de Santander». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 4.1, 3-9. Online: <https://bit.ly/3s8ySTp>.
- Mátyás, B. y col. (2020). «Comparación de los efectos ejercidos por los biofertilizantes, los fertilizantes NPK y los métodos de cultivo sobre la respiración del suelo en el suelo de Chernozem». En: *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* 32.2, 8-18. Online: <https://n9.cl/mijxg>.
- Mishra, N. (2014). «Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to Integrated Nutrient Management-A Review». En: *Journal of plant and pest science* 1.2, 87-95. Online: <https://bit.ly/3s8OV3L>.
- Mohammed, H. y col. (2019). «The effect of the source and the level of residues in some of the characteristics of the soil and yield of broad bean (*Vicia faba* L.)». En: *Plant Archives* 19.1, 898-903. Online: <https://bit.ly/3KzMkpD>.
- Mukai, S. (2018). «Historical role of manure application and its influence on soil nutrients and maize productivity in the semi-arid Ethiopian Rift Valley». En: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 111.2, 127-139. Online: <https://bit.ly/38M79AY>.
- Murillo-Montoya, S., A. Mendoza-Mora y C. Fadul-Vásquez (2020). «La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola». En: *Revista Colombiana de*

- Investigaciones Agroindustriales* 7.1, 58-68. Online: <https://bit.ly/3ygnJE5>.
- Pandey, V. (2017). «Impact of Integrated Nutrient Management on Seed Yield and Its Attributes in Field Pea (*Pisum sativum* L.)» En: *Chemical Science Review and Letters* 6.23, 1428-1431. Online: <https://bit.ly/38GLU3D>.
- Peñaranda, G. y G. Molina (2011). «La producción de arveja (*Pisum sativum* L.) en la Vereda Monteadentro, Provincia de Pamplona, Norte de Santander». En: *Revista Face* 11.1, 43-56. Online: <https://bit.ly/3LNmaBu>.
- Rojas, H. (2017). «Producción de arveja verde “quantum” (*Pisum sativum* L.) con aplicaciones de humus de lombriz, guano de islas y biol en condiciones agroclimáticas de Tiabaya – Arequipa». Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Agronomía.
- Santamaría, M. y col. (2010). «Evaluación de dos fertilizantes orgánicos frente al fertilizante compuesto mineral 10 30 10 y sus mezclas, en el cultivo de arveja *Pisum sativum* L. En Madrid Cundinamarca». En: *Inventum* 5.9, 14-18. Online: <https://bit.ly/3y9bicY>.
- Suresh, K. y col. (2004). «Microbial biomass carbon and microbial activities of soils receiving chemical fertilizers and organic amendments». En: *Arch. Agron. Soil Sci* 50.7, 641-647. Online: <https://bit.ly/382kHbF>.
- Van Zwieten, L. (2018). «The long-term role of organic amendments in addressing soil constraints to production». En: *Nutrient cycling in Agroecosystems* 111.2, 99-102. Online: <https://bit.ly/3OPIMUZ>.
- Watt, B.K. y A.L. Merrill (1993). *Composition of Foods*. Ed. por U.S. Department Agriculture. 8.
- Willer, H. y col. (2020). *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trend 2020*.



# CEBOS PARA *Anastrepha fraterculus* CON PROTEÍNA HIDROLIZADA DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES PRETRATADOS CON RADIACIÓN GAMMA

BAITS FOR *Anastrepha fraterculus* WITH HYDROLYZED PROTEIN FROM  
AGROINDUSTRIAL BY-PRODUCTS PRETREATED WITH GAMMA RADIATION

Marco Vinicio Sinche Serra\*<sup>1</sup>, Gonzalo Rafael Jácome Camacho<sup>1</sup>, Juan  
Patricio Castillo Domínguez<sup>1</sup>, María Belén Constante Pila<sup>2</sup>, y Cristhian  
Patricio Castro Valencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Nucleares, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 170517, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 170517, Quito, Ecuador.

\*Autor para correspondencia: marco.sinche@epn.edu.ec.

Manuscrito recibido el 15 de octubre de 2020. Aceptado, tras revisión, el 04 de octubre de 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

## Resumen

La mosca de la fruta (*Anastrepha fraterculus*) afecta a varios cultivos ecuatorianos con potencial de exportación. En la actualidad, para el monitoreo de esta plaga, se emplea un cebo importado que tiene un alto costo. La presente investigación tiene como objetivo formular cebos atrayentes de mosca de la fruta que puedan reemplazar al cebo comercial. Como materia prima se empleó torta de soya, torta de palmiste, sangre bovina y suero; cada material fue irradiado con una dosis de 20 kGy, en una fuente de cobalto-60 como pretratamiento. Luego, la proteína se extrajo y se hidrolizó con una solución de bromelina de 0,025 UA mL<sup>-1</sup>, a pH 7,0 y 50°C durante 30 min. Los cebos fueron formulados con proteína hidrolizada, melaza, agua y bórax y se colocaron en trampas McPhail. La evaluación en campo se llevó a cabo en cultivos de chirimoya (*Annona cherimola*) y guayaba (*Psidium guajava*). En el proceso enzimático se alcanzaron grados de hidrólisis entre 19,16 y 26,64%. Por electroforesis SDS-PAGE se determinó que los hidrolizados proteicos contenían péptidos con pesos moleculares entre 5 y 20 kDa. Se encontró que el cebo de proteína hidrolizada de palmiste y el cebo comercial fueron estadísticamente iguales en la cantidad de moscas atrapadas, mientras que el de suero presentó un mayor índice MTD (moscas capturadas por trampa, por día). Los cebos formulados podrían ser una alternativa más económica que el cebo importado para el monitoreo de la mosca de la fruta en el Ecuador.

**Palabras clave:** Cebos atrayentes, hidrolizados proteicos, mosca de la fruta, radiaciones ionizantes.



### Abstract

The fruit fly (*Anastrepha fraterculus*) affects several Ecuadorian crops with export potential. Currently, a costly imported bait is used to monitor and control this pest. The aim of this research is to formulate baits for the fruit fly that could replace the commercial bait. Soy cake, palm kernel cake, bovine blood and whey were used as raw material. Each material was irradiated with a dose of 20 kGy with a Cobalt-60 source as a pretreatment. Then, the protein was extracted and hydrolyzed with a 0.025 AU mL<sup>-1</sup> bromelain solution at pH 7,0 and 50°C, for 30 min. The baits were formulated with hydrolyzed protein, molasses, water, and borax, and they were placed in McPhail traps. The field evaluation was carried out in cherimoya (*Annona cherimola*) and guava (*Psidium guajava*) orchards. The hydrolysis degrees that were reached in the enzymatic process had values between 19.16 and 26.64%. According to an SDS-PAGE electrophoresis, the hydrolysates had peptides with molecular weights between 5 and 20 kDa. The bait made with palm kernel cake hydrolyzed protein and the commercial bait were statistically equal in the number of captured flies, whereas the bait made with whey protein had a higher FTD index (flies caught per trap, per day). The formulated baits could be an inexpensive alternative to the commercial bait for monitoring fruit flies in Ecuador.

**Keywords:** Attractant baits, protein hydrolysates, ionizing radiation, fruit fly.

---

Forma sugerida de citar: Sinche, M., Jácome, G., Castillo, J., Constante, M.B. y Castro, C. (2023). Cebos para *Anastrepha fraterculus* con proteína hidrolizada de subproductos agroindustriales pretratados con radiación gamma. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):102-116. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.08>.

---

IDs Orcid:

Marco Vinicio Sinche Serra: <http://orcid.org/0000-0003-1367-682X>  
Gonzalo Rafael Jácome Camacho: <http://orcid.org/0000-0003-2323-6529>  
Juan Patricio Castillo Domínguez: <http://orcid.org/0000-0002-9902-9262>  
María Belén Constante Pila: <http://orcid.org/0000-0002-2632-5845>  
Cristhian Patricio Castro Valencia: <http://orcid.org/0000-0002-6054-4355>

## 1 Introducción

Entre el año 2012 y el 2017, el incremento en la exportación de productos ecuatorianos no tradicionales como pitahaya, mango y granadilla superó al crecimiento de varios productos tradicionales como banano, cacao y café industrializado (Verdugo y Andrade, 2018). Sin embargo, no se ha logrado abrir mercados para otras frutas con alto potencial de exportación, debido a que persiste un manejo inadecuado de la mosca de la fruta (Vilatuña, Sandoval y Trigero, 2010). Entre los mercados internacionales que no admiten el ingreso de frutas sin un tratamiento adecuado, provenientes de países afectados por esta plaga, se encuentran Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (Vilatuña y col., 2016; IAEA, 2019). Los requisitos fitosanitarios impuestos por los países importadores buscan impedir el ingreso de esta plaga a zonas consideradas como libres (García-Rosero y col., 2015).

La mosca de la fruta pertenece a la familia *Tephritidae* del orden *Diptera*. En Ecuador predominan el género *Anastrepha*, originario de Centro y Sudamérica, y *Ceratitis*, un género introducido del Mediterráneo alrededor de 1976 (Vilatuña, Sandoval y Trigero, 2010). Esta es considerada como una de las principales plagas de interés económico a escala mundial, debido a los daños que causa en frutas y cultivos en regiones tropicales y subtropicales (White y Elson-Harris, 1992; Hafsi y col., 2016). La mosca de la fruta tiene la capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales e infectar frutos en diferentes fases de su maduración. Las hembras son atraídas por ciertos aromas que las frutas emiten al comenzar su maduración, y cuando eso ocurre depositan huevecillos en su interior. Al nacer, las larvas se alimentan de la pulpa y forman galerías que facilitan el ingreso de agentes patógenos como hongos y bacterias, lo que provoca la pudrición de los frutos y su consecuente rechazo para el consumo, la exportación y la agroindustria (INIAP, 2004).

Adicionalmente, la presencia de la mosca de la fruta genera un incremento en los costos de producción porque se debe incurrir en gastos de investigación y aplicación de medidas de monitorización y control (Salcedo-Baca, Lomelí-Flores y Terrazas-González, 2009). Por ejemplo, se ha logrado la exportación de mango ecuatoriano a mercados como el estadounidense (Fundación Mango Ecuador,

2019), pero para ello se necesitan aplicar pesticidas durante el cultivo y el tratamiento hidrotérmico postcosecha de los frutos (AGROCALIDAD, 2016). Gracias a que este y otros cultivos tienen una importancia creciente en el país (MAG-CGINA, 2022), se ha incrementado el interés por controlar esta plaga mediante opciones más ecoamigables.

La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD) empezó el "Proyecto Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta" en el 2014 con el propósito de declarar áreas libres o de baja prevalencia a las zonas destinadas a la producción de frutos, mediante estrategias de manejo integrado en los cultivos hospederos de la mosca (Vilatuña y col., 2016). El manejo integrado requiere del conocimiento de la densidad poblacional de la plaga y de sus variaciones en el tiempo (Vilatuña, Sandoval y Trigero, 2010). Cebos formulados a partir de compuestos orgánicos como la putrescina, acetato de amonio o proteína hidrolizada líquida se han empleado efectivamente como atrayentes en programas para la detección y monitorización de varias especies de moscas de la fruta (Heath y col., 1997; López-Guillén, Toledo y Rojas, 2010). Se utiliza proteína hidrolizada debido al contenido de compuestos nitrogenados asociados con la atracción de las moscas hacia las frutas (Bateman, Morton y Brown, 1981; Mazor, 2009). La presencia de aminoácidos esenciales para los insectos como la metionina (Dadd, 1985), también puede contribuir con el poder atrayente de los cebos (Díaz-Fleischer y Castrejón-Gómez, 2012).

El cebo elegido por el Proyecto Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta es un producto comercial que tiene como componente principal proteína vegetal hidrolizada (Vilatuña y col., 2016), es fabricado en Argentina y tiene un precio de 14,60 USD por litro de concentrado (Edifarm, 2016). Por ello, existe la oportunidad de formular un cebo que pueda ser producido en el país a un menor costo, que posea una efectividad similar o mayor y que genere beneficios ambientales y sociales. Bajo esa perspectiva, se pueden emplear subproductos agroindustriales como materia prima que contengan proteína y que posean un bajo valor comercial (Zahari y Alímon, 2005). En el Ecuador, existen tortas de palmiste y de soya provenientes de industrias extractoras de aceite vegetal, así como de suero de leche y sangre bovina, resultantes de la fabricación de queso y

faenamiento de ganado, respectivamente. Estos son generados en grandes cantidades y comúnmente son desechados o destinados a la alimentación animal (Figuerola, Zapata y Gutiérrez, 2012).

La inclusión de un pretratamiento de las materias primas (subproductos agroindustriales) puede incrementar el rendimiento de la proteína extraída. Herrero y col. (2009) indican que las radiaciones ionizantes podrían modificar la estructura de las proteínas y provocar, según su intensidad, hasta la desaminación, descarboxilación, reducción de enlaces disulfuro y otros cambios que facilitarían la separación de estas en procesos de extracción. Estas proteínas, luego de la hidrólisis enzimática con proteasas como la bromelina (Guadix y col., 2000), se podrían utilizar para la formulación de los cebos atrayentes (Barrera, 2006), por su amplio contenido de compuestos amoniacales y su alta solubilidad (Benítez, Ibarz y Pagan, 2008). Además, la irradiación a dosis intermedias y altas permite reducir la carga microbiana (Kuan y col., 2013).

El objetivo de esta investigación fue formular cebos atrayentes de mosca de la fruta (*Anastrepha fraterculus*), a partir de proteína hidrolizada obtenida de los subproductos agroindustriales mencionados, y evaluar su desempeño en la monitorización de la plaga en campo. Además, se determinó el efecto del pretratamiento de las materias primas con irradiación gamma sobre el rendimiento de la extracción de proteína.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Evaluación de los cebos en campo

#### 2.1.1 Zona de estudio

El ensayo en campo se realizó durante 5 semanas, del 18 de agosto al 22 de septiembre de 2017, en Puéllaro, una parroquia rural del cantón Quito, provincia de Pichincha. Se identificaron 4 zonas cercanas a la cabecera parroquial, denominadas Estadio, La Esperanza, La Merced y Sigsihuayco, en las cuales existen cultivos de chirimoya (*Annona cherimola*) y de guayaba (*Psidium guajava*), que son especies hospederas de la mosca de la fruta (Ver Material complementario 1).

### 2.1.2 Servicio de las trampas

Se emplearon dos trampas tipo McPhail para cada tipo de cebo, las cuales fueron colocadas en los árboles de chirimoya o de guayaba, con una separación mínima de 30 m, sobre puntos de detección determinados con base en las rutas de monitorización manejadas en el "Programa Nacional de la Mosca de la Fruta". Cada trampa tuvo 250 mL de solución atrayente.

Cada 7 días se cuantificó la capacidad atrayente de cada cebo mediante el índice MTD, que corresponde al número promedio de moscas capturadas por trampa, por día (Imbachi y col., 2012) (Ver Material complementario 2). Luego, se lavaron las trampas y se colocaron 250 mL de la solución atrayente fresca (Asaquibay, Núñez y Gallegos, 2010) para mantenerlas operativas durante el periodo de experimentación (Vilatuña, Sandoval y Trigerero, 2010).

### 2.1.3 Diseño experimental para la evaluación de los cebos en campo

La evaluación de la efectividad de los cebos descrita correspondió a un diseño de bloques aleatorizado trifactorial  $5 \times 5 \times 4$ , en el que los factores fueron el tipo de cebo (5 niveles), la semana (5 niveles) y el sector (4 niveles), mientras que los bloques correspondieron a subdivisiones realizadas en cada sector. La variable de respuesta fue el índice MTD. Los datos se analizaron con el programa Statgraphics Centurion XVIII, a través de un análisis de varianza (ANOVA) con el 95% de confianza y una prueba de rangos múltiples con el método de Fisher o de diferencia mínima significativa (LSD).

### 2.2 Materias primas y reactivos

Las materias primas empleadas para la elaboración de los cebos atrayentes de la mosca de la fruta fueron: torta de soya, torta de palmiste, suero y sangre bovina. También se usó el cebo comercial que actualmente se utiliza en el Ecuador para la monitorización de la mosca de la fruta (Ver Material complementario 3).

Para la extracción proteica, la hidrólisis enzimática y la formulación de los cebos se emplearon los siguientes reactivos: NaOH (JTBaker; 98,5% de pureza), HCl (Riedel de Haen; 37%), bromelina (Sigma-Aldrich; B4882), flavourzima (Granotec),

caseína (Merck, 102244, grado analítico), fosfato dibásico de sodio (Sigma; S9763), ácido tricloroacético (Analar; 99% de pureza), seroalbúmina bovina (Sigma; A4503, grado electroforesis), carbonato de sodio (Merck; 99,5% de pureza), sulfato cúprico (Sigma; 99% de pureza), tartrato de sodio y potasio (Merck, 99% de pureza), reactivo de fenol según Folin-Ciocalteu (Sigma; F9252), persulfato de amonio (Promega; 99% de pureza), bórax (grado técnico) y 2-mercaptoetanol (Merck; CAS 60-24-2). Los siguientes reactivos, que fueron empleados para la determinación molecular, fueron de grado electroforesis: acrilamida (Bio-Rad), azul brillante de tetrabromofenol (Sigma), bisacrilamida (Bio-Rad), azul brillante de Coomassie (Merck), dodecil sulfato de sodio (Sigma) y Tris HCl (Sigma-Adrich). El reactivo de Biuret se preparó con sulfato cúprico pentahidratado (Fluka, Biochemika; 99% de pureza), EDTA (J.T. Baker, grado analítico), yoduro de potasio (Panreac; 99% de pureza) y una solución de NaOH 6 N (J.T. Baker; 98,5% de pureza).

## 2.3 Obtención de extractos proteicos

### 2.3.1 Torta de soya

La proteína se extrajo a partir de la torta de soya molida. Para ello, se colocó la torta en agua, en una relación 1:5 de sólido a líquido, y se alcalinizó con NaOH 6 N; luego, se hizo una precipitación isoeléctrica de la proteína solubilizada, como se indica en el método descrito por Vioque y col. (2001), que se detalla en Material complementario 4.

### 2.3.2 Torta de palmiste

Se mezcló la harina de palmiste con una solución 0,03 M de NaOH, en relación 1:30 de sólido a líquido. Esta mezcla se agitó por 45 min a 35°C (Zarei y col., 2012) y se filtró para obtener un sobrenadante libre de sólidos y residuos de grasa. Finalmente, el sobrenadante se secó por 16 h a 50°C y se almacenó en refrigeración (Arifin y col., 2009).

### 2.3.3 Suero de leche

Muestras de 100 mL de suero se homogeneizaron y se ajustó su pH a 5,2 con una solución 6 N de HCl. Las muestras se centrifugaron a 210×g por 15 min con el fin de separar la grasa del suero; se vertió la fase acuosa en vasos de precipitación y estos se calentaron a 93°C, por 30 min (Ver Material comple-

mentario 5). Las muestras fueron enfriadas por 20 min y se filtraron durante 3 h en papel filtro (Vázquez, Villegas y Mosqueda, 2010).

### 2.3.4 Sangre bovina

Se secaron muestras de 100 mL de sangre irradiada a 110°C, durante 6 h, en una estufa Memert DIN 40 050-IP 20, hasta obtener un concentrado con un 5 a 10% de humedad (Figuroa, Zapata y Gutiérrez, 2012). La concentración de proteína soluble en todas las muestras se determinó mediante el método de Biuret descrito por Fernández y Galván (2010).

## 2.4 Evaluación de un pretratamiento de las materias primas con radiación gamma

### 2.4.1 Pretratamiento con radiación gamma

Se evaluó el efecto que tiene la radiación gamma sobre el rendimiento de extracción de proteína para cada materia prima. Las dosis evaluadas para las tortas de soya y de palmiste fueron 15, 20, 25 kGy, mientras que para el suero y la sangre bovina fueron 10, 15 y 20 kGy. En cada caso se determinó el porcentaje de proteína recuperado (Ver Material complementario 6).

En los ensayos de extracción proteica, las unidades experimentales para las tortas de soya y de palmiste fueron bolsas de polietileno con 1 kg de muestra; para el suero y la sangre bovina fueron fundas de 3 L. Las muestras se colocaron a 30 cm de la fuente de cobalto-60, en la cámara de irradiación del Laboratorio de Tecnología de Radiaciones de la Escuela Politécnica Nacional. Las muestras fueron volteadas a la mitad del tiempo de exposición, para asegurar la uniformidad de la dosis (Maity y col., 2009). El experimento tuvo tres réplicas.

### 2.4.2 Diseño experimental para la evaluación del pretratamiento

Se empleó un diseño completamente aleatorizado para cada materia prima. En cada uno de estos diseños, la variable de diseño fue la dosis de irradiación; sus niveles fueron 15, 20 y 25 kGy para las materias primas de origen vegetal, y de 10, 15 y 20 kGy para las materias primas de origen animal. La variable de respuesta fue la cantidad de proteína recuperada. Se tuvieron tres réplicas. El análisis estadístico se realizó en el programa Statgraphics Centurion

XVIII; se hizo un ANOVA con el 95% de confianza y una prueba de rangos múltiples con el método de Fisher.

## **2.5 Hidrólisis enzimática de los extractos proteicos**

Las concentraciones de sustrato y de enzima para los procesos de hidrólisis fueron seleccionadas de forma experimental, como se describe a continuación.

### **2.5.1 Selección de la concentración de sustrato**

Los aislados proteicos fueron solubilizados en tampón fosfato de sodio 0,1 M pH 7,0, en concentraciones de 20, 40, 60, 90, 120, 150 y 200 mg mL<sup>-1</sup>; las soluciones se agitaron durante 10 min a 900 rpm y posteriormente fueron centrifugadas a 1 698 ×g por 15 min. Luego, 600 μL del sobrenadante se mezclaron con 2 400 μL de tampón fosfato (Cheftel, Cucy y Lorient, 1989) y se determinó la cantidad de proteína soluble mediante el método de Biuret (Fernández y Galván, 2010). Se seleccionó la concentración que permitió obtener la mayor cantidad de proteína soluble para cada sustrato (Ver Material complementario 7).

### **2.5.2 Selección de la concentración de enzima y el tiempo de hidrólisis**

En primer lugar, se verificó que las enzimas bromelina y flavourzima conserven su actividad proteolítica de acuerdo con el método descrito por Castillo y col. (2012) (Ver Material complementario 8). Se prepararon soluciones de 0,020 UA mL<sup>-1</sup> de bromelina, 24,0 LAPU mL<sup>-1</sup> de flavourzima y 10 mg mL<sup>-1</sup> de caseína, para garantizar que la concentración de enzima sea menor a la del sustrato y generar condiciones de saturación (Nelson y Cox, 2013). A 100 μL de cada solución enzimática se añadieron 1 100 μL de caseína y se incubaron por 20 min, a 37°C. Luego, se añadieron 1 800 μL de TCA al 5% a cada mezcla para detener la reacción y precipitar la proteína soluble. Después, las muestras fueron centrifugadas a 2 821 ×g durante 20 min; del sobrenadante se tomaron alícuotas de 1 000 μL y se midió su absorbancia a 280 nm en un espectrofotómetro UV-VIS Hitachi U-19000 (Castillo y col., 2012). Los blancos se prepararon de la misma forma, pero el

TCA se adicionó inmediatamente después de mezclar cada solución enzimática con el sustrato. El ensayo se realizó por duplicado.

A continuación, se realizaron ensayos de hidrólisis con diferentes concentraciones de cada enzima. Para cada sustrato se usaron las concentraciones seleccionadas como se indicó en la sección 2.4.1. Se evaluaron las siguientes concentraciones de bromelina: 0,002; 0,006; 0,015; 0,020 y 0,025 UA mL<sup>-1</sup> y de flavourzima: 2,0; 4,7; 6,0; 12,0; 24,0 y 40,0 LAPU mL<sup>-1</sup>. Las condiciones de hidrólisis para la bromelina fueron pH 7,0; 40°C por 1 h y para la flavourzima pH 7,0; 50°C por 5 h (Benítez, Ibarz y Pagan, 2008). Después, se eligió la concentración de enzima que permitió obtener la mayor cantidad de proteína soluble en el menor tiempo para cada materia prima (Ver Material complementario 9).

Se tomaron alícuotas de 200 μL de la mezcla de reacción a diferentes tiempos con el fin de cuantificar la proteína soluble. Para las reacciones con bromelina, se extrajeron alícuotas a 0, 1, 3, 5, 10, 20, 30 y 60 min; mientras que para las reacciones con flavourzima a 0, 15, 30, 60, 120, 180, 240 y 300 min. En cada caso, se añadieron 2 000 μL de TCA (10%) para detener la reacción enzimática. Luego, las muestras fueron centrifugadas a 2 821 ×g durante 15 min, se tomó el sobrenadante de cada muestra y se midió el contenido de proteína soluble por el método de Biuret (Fernández y Galván, 2010).

Finalmente, se realizaron curvas de velocidad de formación de producto en función del tiempo para todas las concentraciones de cada enzima y se seleccionó la enzima que permitió obtener una mayor concentración de hidrolizados proteicos en el menor tiempo de reacción (Ver Material complementario 10 y 11).

### **2.5.3 Grado de hidrólisis enzimática**

El grado de hidrólisis se determinó mediante la Ecuación 1. La cantidad de proteína soluble se determinó durante la hidrólisis de cada aislado proteico a las condiciones previamente indicadas por 1 h. Se tomaron alícuotas de 1 mL a diferentes tiempos (0, 3, 5, 10, 20, 30 y 60 min), se mezcló cada alícuota con 1 mL de TCA al 10% y se centrifugaron a 2 821 ×g durante 10 min (Molina-Ortiz y Wagner, 2002). El contenido de proteína total se determinó

mediante la hidrólisis de 0,05 g de cada aislado con 2 mL de HCl 6 N a 110°C, durante 48 h. Los hidrolizados fueron centrifugados a 2 821 ×g durante 10 min (Wilchek y Miron, 2003). Los contenidos de proteína soluble y total se cuantificaron en el sobrenadante mediante el método de Biuret (Ver Material complementario 12).

$$GH(\%) = \frac{\text{Proteína Soluble en TCA}(10\%)}{\text{Proteína Total}} \times 100 \quad (1)$$

#### 2.5.4 Determinación del tamaño molecular de los hidrolizados obtenidos mediante electroforesis SDS-PAGE

La determinación de los pesos moleculares para cada materia prima se realizó por electroforesis SDS-PAGE (Ver Material complementario 13), se siguió el procedimiento señalado por Laemmli (1970) y modificado por Castillo y col. (2012).

### 2.6 Formulación de los cebos para mosca de la fruta con proteína hidrolizada

Para formular los cebos atrayentes, se determinó la concentración de proteína soluble en los hidrolizados obtenidos y se caracterizó el cebo comercial (Ver Material complementario 14). Luego, se estableció la cantidad de cada tipo de hidrolizado proteico que se debía colocar en las trampas, de manera que todas las soluciones resultantes tengan la misma cantidad de proteína (Ver Material complementario 15 y 16). La formulación de referencia contiene un 10% del cebo comercial, 3% de bórax y 87% de agua (OIEA, 2005).

## 3 Resultados

### 3.1 Evaluación de un pre-tratamiento de las materias primas con radiación gamma

La Figura 1 muestra la cantidad de proteína extraída de las materias primas irradiadas con dosis de 0 (control) a 25 kGy. La irradiación tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre el proceso de extracción en la torta de soya, de palmiste y suero. A partir de la torta de soya irradiada con la dosis de 20 kGy se obtuvo el mayor rendimiento, que fue 10% superior

al conseguido con la muestra control. En la torta de palmiste, se observaron incrementos significativos en los tratamientos con 20 y 25 kGy; a 20 kGy se extrajo un 12% más de proteína en comparación con la muestra control; como se aprecia en el literal a). A la misma dosis, se obtuvo el mayor rendimiento de extracción para el suero, con un 0,82% de incremento con respecto a la muestra control. Las muestras de sangre no presentaron diferencias significativas en comparación con el control, como se evidencia en el literal b). Esto se debería a que el proceso de extracción incluyó un secado de las muestras de sangre, como una forma de concentrar la proteína. Este método no se fundamenta en la desnaturalización y precipitación proteica (Figuerola, Zapata y Gutiérrez, 2012), por ello, no se vio beneficiado por el tratamiento con radiaciones ionizantes que, en cambio, propicia la precipitación (Gaber, 2005).

En consecuencia, la dosis de irradiación seleccionada para todas las materias primas fue la de 20 kGy, porque con ella se obtuvieron mejores rendimientos a partir de la torta de soya y del suero. En el caso de la torta de palmiste, el tratamiento con 20 kGy generaría resultados estadísticamente iguales a los obtenidos con la dosis de 25 kGy, pero representaría un menor tiempo y costo de irradiación. En cuanto a la sangre bovina, no se alcanzarían incrementos en el porcentaje de proteína recuperada, pero se obtendrían otros beneficios, como la descontaminación microbiana.

En general, los tratamientos con radiación aumentaron el rendimiento de extracción de proteína. Consistentemente, Castillo, Mendieta y Sinche (2019) reportaron el incremento del porcentaje de proteína extraída en plumas de pollo expuestas a 25 kGy. Así también, Kuan y col. (2013) señalaron las modificaciones en la estructura secundaria de las proteínas al exponerse a dosis mayores a 10 kGy, lo cual favorece su extracción.

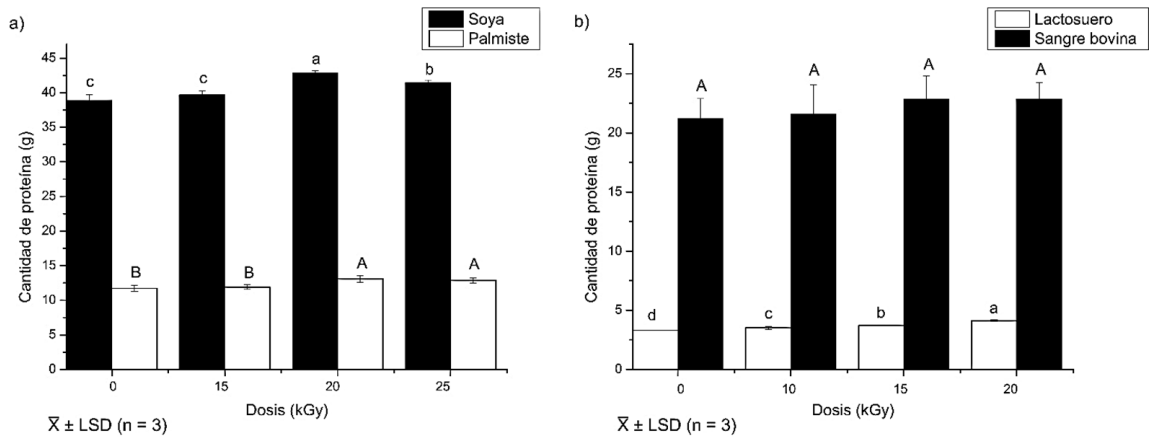
### 3.2 Hidrólisis enzimática de los extractos proteicos

#### 3.2.1 Concentración de sustrato seleccionada

Se seleccionó la concentración de sustrato de 15% en peso sobre volumen (p/v) para la torta de soya y de palmiste, debido a que produjo la mayor cantidad de proteína soluble. En el caso del suero y san-

gre bovina, se eligieron 12 y 15% (p/v), ya que la solubilidad de la proteína disminuyó a concentra-

ciones mayores, posiblemente por el exceso de soluto (Cheftel, Cuq y Lorient, 1989).



**Figura 1.** Efecto de la dosis sobre la cantidad de proteína extraída de las materias primas irradiadas a) tortas de soya y de palmiste, b) suero de leche y sangre bovina.

### 3.2.2 Concentración de enzima y tiempo de hidrólisis seleccionados

Aunque ambas enzimas presentaron actividad proteolítica para usarse en la hidrólisis de los aislados proteicos, las reacciones catalizadas con flavourzima requirieron mayor tiempo de reacción y concentración de enzima que las reacciones con bromelina, para alcanzar similares concentraciones de proteína soluble en los hidrolizados. Por ello, se seleccionó a la bromelina para los ensayos posteriores. Además, se descartó el uso combinado de bromelina y flavourzima porque no se observaron efectos sinérgicos.

La Figura 2 muestra los gráficos de concentración de proteína soluble en función del tiempo que se obtuvieron al hidrolizar concentrados proteicos de las materias primas con bromelina a concentraciones entre 0,002 y 0,025 UA mL<sup>-1</sup>. Se muestra que con una concentración de 0,025 UA mL<sup>-1</sup> de bromelina se alcanzan los mayores valores de concentración de proteína soluble para todos los sustratos. Esta es una ventaja que presentan los hidrolizados en comparación con la proteína original, pues al romperse en péptidos de menor peso molecular, se incrementa el número de grupos polares, debido al aumento de la exposición de grupos carboxílicos y aminos libres, lo que mejora su solubilidad (Bení-

tez, Ibarz y Pagan, 2008). El tiempo de reacción escogido fue de 30 min, ya que permitió alcanzar concentraciones de proteína de 11,94; 3,23; 7,24 y 8,53 mg mL<sup>-1</sup> para la soya, palmiste, suero y sangre bovina, respectivamente, las cuales fueron cercanas a los valores máximos observados, a los 60 min.

### 3.2.3 Grado de hidrólisis

En la Figura 3, se presentan los grados de hidrólisis de los concentrados proteicos correspondientes a cada materia prima, durante 60 min de reacción con 0,025 UA mL<sup>-1</sup> de bromelina, bajo las condiciones de pH y temperatura establecidas.

Se puede observar que a los 30 min de reacción, se alcanzaron porcentajes de hidrólisis del 33,87 para la soya, del 38,89 para el palmiste, 18,42 para el suero y 20,24 para la sangre. Estos hidrolizados son considerados de tipo extensivo y pueden ser utilizados para la formulación de sustancias proteicas líquidas, debido a su alta solubilidad y a que este tipo de hidrolizados son fácilmente absorbidos por los organismos vivos (Vioque y col., 2001). A los 60 min, los valores de grado de hidrólisis no presentaron incrementos que justifiquen un mayor tiempo de reacción; por tal motivo, en las siguientes etapas se trabajó con los hidrolizados correspondientes a 30 min de reacción.

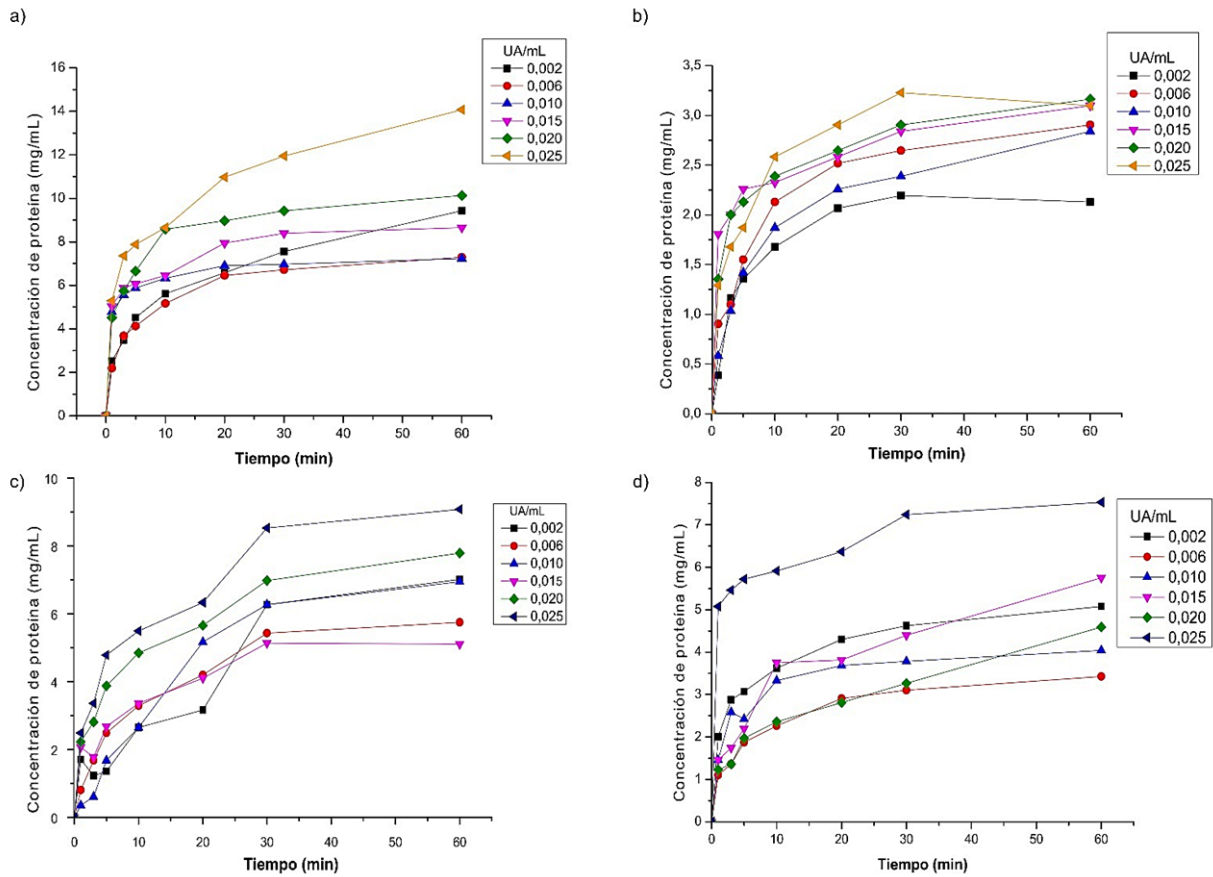


Figura 2. Concentración de proteína soluble según el tiempo de hidrólisis con bromelina a diferentes concentraciones, para a) soya, b) palmiste, c) suero, d) sangre.

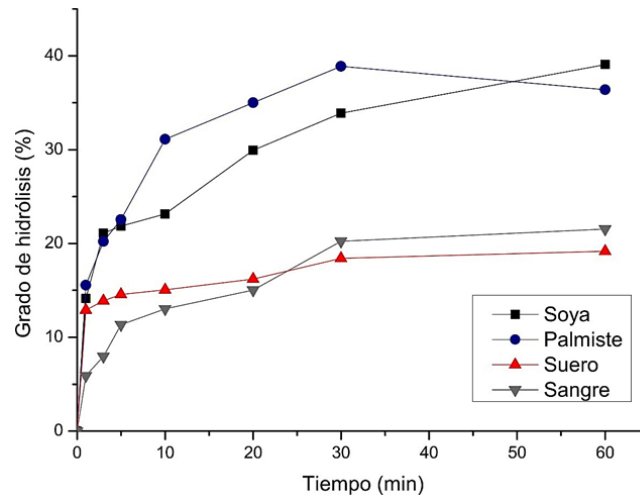


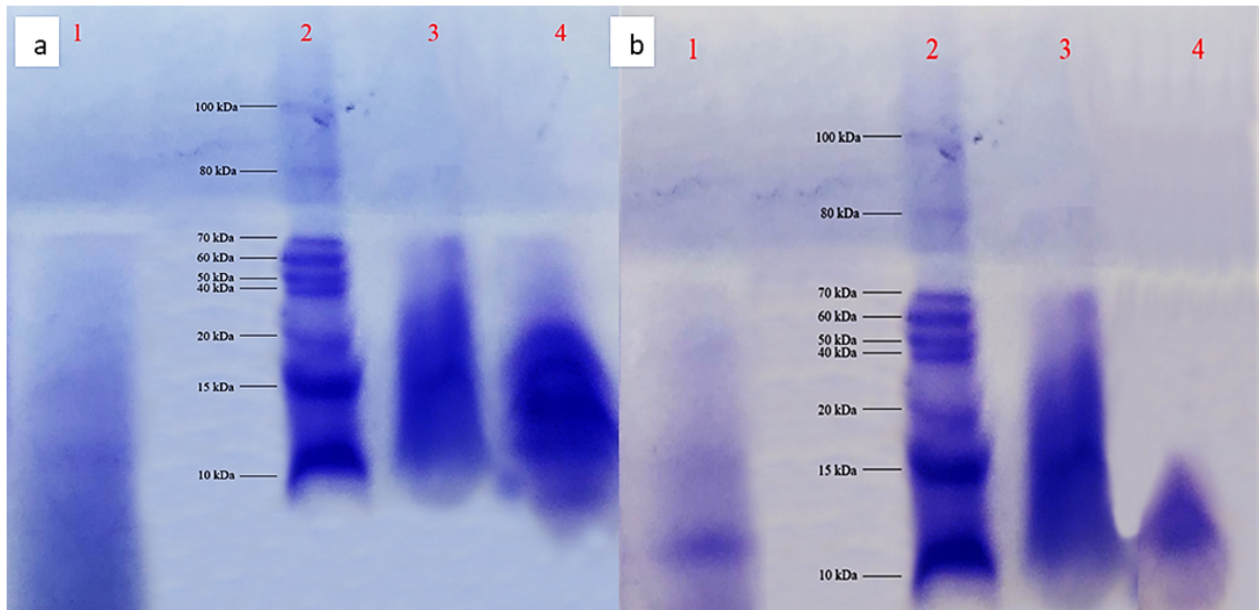
Figura 3. Grado de hidrólisis para cada materia prima durante la reacción con bromelina.



### 3.2.4 Electroforesis SDS-PAGE

En la Figura 4 se muestran los resultados de la caracterización molecular mediante electroforesis SDS-PAGE. En el cebo comercial se identificaron péptidos con pesos moleculares entre 10 y 70 kDa. Los hidrolizados de soya exhibieron bandas correspondientes a pesos moleculares de 10 a 20 kDa y en palmiste, en su mayoría, menores a 15 kDa (Figura

4a). Los péptidos del hidrolizado de sangre tuvieron pesos moleculares de 10 a 70 kDa y el suero de 10 a 15 kDa (Figura 4b). El cebo comercial y los hidrolizados de las materias primas estudiadas presentaron péptidos con tamaños moleculares entre 10 y 15 kDa, fracciones muy digeribles que posibilitarían formular un cebo que pueda reemplazar al que actualmente se importa.



**Figura 4.** Gel de electroforesis a) 1. Hidrolizado de palmiste, 2. Estándar, 3. Cebo comercial y 4. Hidrolizado de Soya b) 1. Hidrolizado de sangre, 2. Estándar, 3. Cebo comercial y 4. Suero de leche.

### 3.3 Evaluación en campo de los cebos para mosca de la fruta

Las soluciones atrayentes colocadas en las trampas para la evaluación en campo fueron formuladas de modo que presenten una concentración de proteína soluble de  $12,55 \text{ mg mL}^{-1}$  igual a la del cebo comercial; es decir que se colocaron distintas cantidades de los extractos proteicos para llegar a una misma cantidad de proteína en cada cebo.

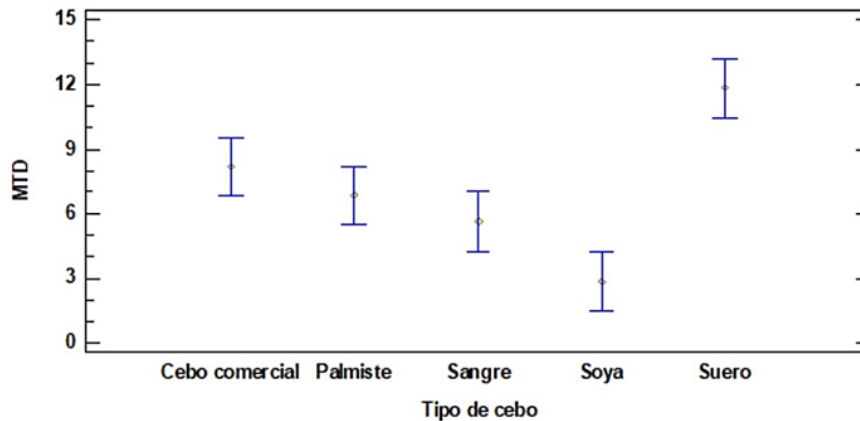
El ANOVA indicó que el tipo de cebo utilizado sí tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la cantidad de moscas atrapadas. La Figura 5 presenta el gráfico de medias del índice MTD en función del tipo de cebo. Se observa que el cebo de suero mostró el mayor índice MTD (LSD, 95%). La efectividad de

los cebos de palmiste y sangre fue estadísticamente igual a la del cebo comercial. Por ello, se les podría considerar como alternativas para la monitorización y control de la mosca de la fruta en el Ecuador. En tanto que el cebo de soya evidenció un menor índice MTD que el cebo comercial.

La diferencia de efectividad de los cebos se debió, posiblemente, al tamaño molecular y naturaleza de los péptidos obtenidos por la acción proteolítica de la bromelina. Se conoce que la bromelina cataliza la hidrólisis de enlaces peptídicos formados con residuos no polares (Benítez, Ibarz y Pagan, 2008). El diferente resultado obtenido con el cebo de palmiste y el de soya pudo deberse a la variación entre los perfiles de aminoácidos de los extractos proteicos correspondientes, dado que la proteína de

palmiste posee 7 de los 8 aminoácidos hidrofóbicos (Alimon, 2004; Nelson y Cox, 2013), mientras que la proteína de soya posee únicamente 5 (Calderón de la Barca, Ruiz-Salazar y Jara-Marini, 2000). La eficiencia del cebo de suero para capturar moscas de la fruta posiblemente se debió a la presencia de péptidos ricos en nitrógeno, con pesos moleculares entre 10 y 15 kDa. Según Canal, Gonzáles y Pérez (2010), las moscas de la fruta perciben y asimilan con faci-

lidad péptidos de cadena corta, con bajo peso molecular. Además, las proteínas del suero tienen abundante presencia de lisina, lo cual proporciona una mayor cantidad de nitrógeno que otras fuentes proteicas (Jovanović, Barac y Mačej, 2005). El nitrógeno es un factor necesario para el crecimiento del díptero, que le permite alcanzar la madurez sexual (Montoya, Toledo y Hernandez, 2010).



**Figura 5.** Índice MTD en función del tipo de cebo, durante las 5 semanas de evaluación en campo (media  $\pm$  LSD, 95%).

En la Figura 6 se presenta el índice MTD en función del tiempo para cada cebo. En todos los casos, se obtuvieron valores de MTD mayores a 1; por tanto, Puéllaro puede ser considerada como una zona infestada por la mosca de la fruta. Los cebos de palmiste y suero presentaron los valores más altos durante el tiempo evaluado. Los picos de MTD podrían deberse a las primeras lluvias de la temporada previas a la instalación de las trampas. Esto pudo favorecer el desarrollo de las pupas de la plaga y en consecuencia aumentar la incidencia

de adultos. Consistentemente, Tucuch-Cauich, Chi-Que y Orona-Castro (2008) señalaron una relación directa entre la presencia de precipitaciones y el aumento en la incidencia de *Anastrepha* spp. Se presume, que la afinidad de las moscas de la fruta hacia los hidrolizados de proteína utilizados en esta investigación fue influenciada por factores como el clima, estado fenológico de las moscas, tipo de cultivo, la ubicación de la trampa, densidad de trapeo y nivel de población (Canal, Gonzáles y Pérez, 2010).

## 4 Conclusiones

La aplicación de una dosis de radiación gamma de 20 kGy como pre-tratamiento permitió obtener un mayor rendimiento en la recuperación de proteína para la soya con valores de 67,24%, para el palmiste 60,53% y para el suero 35,7%. Los tratamientos con radiación no evidenciaron diferencias significativas sobre el rendimiento de concentración de proteína para la sangre bovina.

Las condiciones seleccionadas para la hidrólisis enzimática fueron: pH 7,0; 50°C; concentración de sustrato (p/v) 15% (torta de soya, sangre bovina y torta de palmiste) y 12% (suero); 0,025 UA mL<sup>-1</sup> de bromelina y tiempo 30 min. Los porcentajes de hidrólisis fueron de 33,87 para la soya, 38,89 para el palmiste, 24,78 para el suero y 19,94 para la sangre, luego de 30 min de reacción. Se obtuvieron hidrolizados proteicos con pesos moleculares similares a

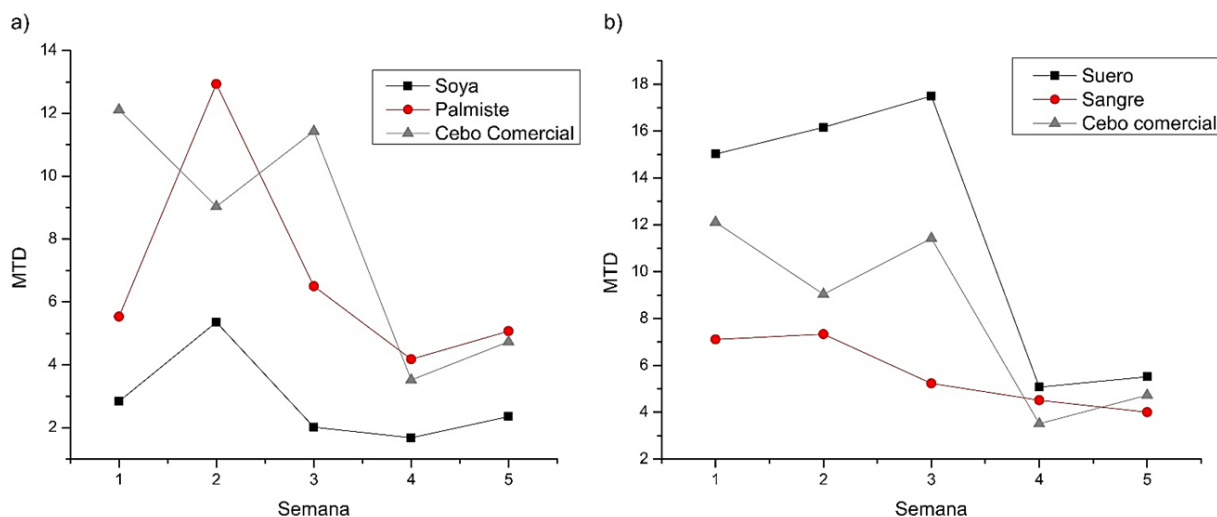


Figura 6. Variación del MTD de mosca de la fruta de la semana 1 a la 5.

los hallados en el cebo comercial (10 a 50 kDa).

La proteína hidrolizada de suero en primer lugar, o las de palmiste y de sangre bovina como segunda opción, podrían ser una alternativa a la proteína que emplea el cebo comercial, con base en los resultados del índice MTD. Es necesario investigar el desempeño de los cebos propuestos en experimentos de mayor alcance, en distintos cultivos y locaciones del Ecuador en las que se haya detectado la presencia de la mosca de la fruta. Esto se debe a que un tipo de atrayente puede ser efectivo para una especie determinada de mosca de la fruta, pero no para otra, inclusive si pertenecen al mismo género (Aluja y col., 2001).

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Politécnica Nacional por el financiamiento del proyecto semilla PIS 16-04: "Obtención de hidrolizados de proteína a partir de residuos agroindustriales y su aplicación como cebo en el monitoreo y control de mosca de la fruta en cultivos ecuatorianos con potencial de exportación" y a los Ingenieros Diego Carrión, Cristina Sosa y José Vilatuña, de AGROCALIDAD por su apoyo y guía en las pruebas en campo.

## Declaración de interés

Se declara que no existen conflictos de interés en ninguno de los autores.

## Contribución de los autores

MS fue el director del proyecto de investigación; supervisó el pretratamiento de las materias primas con radiaciones ionizantes, los diseños experimentales y análisis estadísticos, así como la discusión de los resultados. PC supervisó los procesos de obtención de proteína hidrolizada. GJ supervisó la evaluación de los cebos en campo; CC y MC realizaron los ensayos de laboratorio y el servicio de las trampas.

## Material complementario

El material complementario de este artículo se puede encontrar debidamente enlistado en línea en <https://bit.ly/3DKQg5x>.

## Referencias

AGROCALIDAD (2016). *Guía para el manejo integrado de moscas de la fruta en el cultivo de mango (Mangifera indica)*. Online:<https://bit.ly/3e0VRc1>.

- Alimon, A. (2004). «The nutritive value of palm kernel cake for animal feed». En: *Palm Oil Dev* 40.1, 12-14. Online:https://bit.ly/3eR4Pf5.
- Aluja, M. y col. (2001). «Effects of age, diet, female density, and the host resource on egg load in *Anastrepha ludens* and *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae)». En: *Journal of insect physiology* 47.9, 975-988. Online:https://bit.ly/3DA9SLp.
- Arifin, B. y col. (2009). «Protein extraction from palm kernel meal.» En: *Journal of Applied Sciences* 9.17, 2996-3004. Online:https://bit.ly/3SisK5w.
- Asaquiabay, C., V. Núñez y P. Gallegos (2010). *Control de mosca de la fruta Anastrepha fraterculus en chirimoya Anona cherimola*. Online:https://bit.ly/3xutNp90. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento Nacional de Protección Vegetal.
- Barrera J. ans Montoya, P. (2006). «Trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica». En: *Simposio Trampas y Atrayentes en Detección, Monitoreo y Control de Plagas de Importancia Económica*.
- Bateman, M., T. Morton y G. Brown (1981). «The importance of ammonia in proteinaceous attractants for fruit flies (family: Tephritidae). Appendix 1. Analysis of test attractancy data.» En: 32.6, 883-903. Online:https://bit.ly/3BSasmd.
- Benítez, R., A. Ibarz y J. Pagan (2008). «Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones». En: *Acta bioquímica clínica latinoamericana* 42.2, 227-236. Online:https://bit.ly/3AKSSOG.
- Calderón de la Barca, A., R. Ruiz-Salazar y M. Jara-Marini (2000). «Enzymatic hydrolysis and synthesis of soy protein to improve its amino acid composition and functional properties». En: *Journal of Food Science* 65.2, 246-253. Online:https://bit.ly/3RX5Tgl.
- Canal, N., L. González y M. Pérez (2010). «La orina humana como atrayente natural de *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae)». En: *Revista Colombiana de Entomología* 36.1, 31-37. Online:https://bit.ly/2T5tFO0.
- Castillo, P., G. Mendieta y M. Sinche (2019). «Obtención de queratina hidrolizada a partir de plumas irradiadas con un haz de electrones acelerados». Pat. PI-2019-011. Ecuador: Servicio Nacional de Derechos Intelectuales.
- Castillo, P. y col. (2012). «Aislamiento, purificación y caracterización parciales de las proteasas obtenidas de hierba mora (*Solanum nigrum*) e higuerón (*Ficus apollinaris*)». En: *Revista Politécnica* 31.1, 75-83. Online:https://bit.ly/2SZPSNf.
- Cheftel, J., J. Cuq y D. Lorient (1989). *Proteínas alimentarias: Bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas*. Acribia.
- Dadd, R. (1985). «Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology». En: Elsevier. Cap. Regulation: Digestion, Nutrition, Excretion, págs. 313-390.
- Díaz-Fleischer, F. y V. Castrejón-Gómez (2012). «El papel de los semioquímicos en el manejo de las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae)». En: *El Colegio de la Frontera Sur*, 401-426. Online:https://bit.ly/3BvjhkO.
- Edifarm (2016). *Cebo proteico CPH – SUSBIN*. Online:https://bit.ly/3qXhqiZ00. Edifarm.
- Fernández, E. y A. Galván (2010). «Prácticas Generales de Bioquímica y Biología Molecular». En: Universidad de Córdoba. Cap. Métodos para la cuantificación de proteínas, págs. 1-7.
- Figueroa, O., J. Zapata y G. Gutiérrez (2012). «Modelamiento de la cinética de hidrólisis enzimática de proteínas del plasma bovino». En: *Revista EIA* 17.1, 71-84. Online:https://bit.ly/3qVATBd.
- Fundación Mango Ecuador (oct. de 2019). *Estadísticas Exportaciones*. Fundación Mango Ecuador. Accedido: 29 de octubre de 2019.
- Gaber, M. (2005). «Effect of  $\gamma$ -irradiation on the molecular properties of bovine serum albumin». En: *Journal of bioscience and bioengineering* 100.2, 203-206. Online:https://bit.ly/3qZNcga.
- García-Rosero, M. y col. (2015). «Modelando a *Ceratitis Capitata* (Diptera: Thepirtidae) para Ecuador.» En: *Revista Científica y Tecnológica UPSE* 2.3, 203-206. Online:https://bit.ly/3LwBIKg.
- Guadix, A. y col. (2000). «Procesos tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas». En: *Ars Pharmaceutica (Internet)* 41.1, 79-89. Online:https://bit.ly/3SpkErQ.
- Hafsi, A. y col. (2016). «Host plant range of a fruit fly community (Diptera: Tephritidae): does fruit composition influence larval performance?» En: *BMC ecology* 16.1, 1-12. Online:https://bit.ly/3qYI63D.
- Heath, R. y col. (1997). «Adding methyl-substituted ammonia derivatives to a food-based synthetic attractant on capture of the Mediterranean and Mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae)». En: *Journal of Economic Entomology* 90.6, 1584-1589. Online:https://bit.ly/3SnQ3Lw.

- Herrero, A. y col. (2009). «Raman spectroscopic study of electron-beam irradiated cold-smoked salmon». En: *Food research international* 42.1, 216-220. Online: <https://bit.ly/3xJLkf2>.
- IAEA (2019). *IAEA Supports the Protection and Production of Ecuador's Most Valuable Fruits*.
- INIAP (2004). *Manejo integrado de moscas de la fruta en el Litoral ecuatoriano*. Online: <https://bit.ly/3wpGgcd>.
- Imbachi, K. y col. (2012). «Evaluación de tres proteínas hidrolizadas para la captura de adultos de la mosca del botón floral de la pitahaya amarilla, *Dasiops saltans* Townsend (Diptera: *Lonchaeidae*)». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13.2, 159-166. Online: <https://bit.ly/3DrC9lw>.
- Jovanović, S., M. Barac y O. Mačej (2005). «Whey proteins-properties and possibility of application». En: *Mljekarstvo* 55.3, 215-233. Online: <https://bit.ly/3R9Lt2i>.
- Kuan, Y. y col. (2013). «Radiation processing of food proteins—A review on the recent developments». En: *Trends in Food Science & Technology* 30.2, 105-120. Online: <https://bit.ly/3BDM4n3>.
- Laemmli, U. (1970). «Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4». En: *nature* 227.5259, 680-685. Online: <https://go.nature.com/3dA6R33>.
- López-Guillén, G., J. Toledo y J. Rojas (2010). «Response of *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) to fruit odors and protein-based lures in field trials». En: *Florida Entomologist* 93.2, 317-318. Online: <https://bit.ly/3UwWNso>.
- MAG-CGINA (2022). *Sistema de Información Pública Agropecuaria. Comercio exterior del sector agropecuario y agroindustrial*. MAG-CGINA.
- Maity, J. Prakash y col. (2009). «Effects of gamma irradiation on edible seed protein, amino acids and genomic DNA during sterilization». En: *Food chemistry* 114.4, 1237-1244. Online: <https://bit.ly/3BBwatE>.
- Mazor, M. (2009). «Competitiveness of fertilizers with proteinaceous baits applied in Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae) control». En: *Crop Protection* 28.4, 314-318. Online: <https://bit.ly/3qVlnpf>.
- Molina-Ortiz, S. y J. Wagner (2002). «Hydrolysates of native and modified soy protein isolates: structural characteristics, solubility and foaming properties». En: *Food research international* 35.6, 511-518. Online: <https://bit.ly/3DLzrsM>.
- Montoya, P., J. Toledo y E. Hernandez (2010). *Moscas de la fruta: Fundamentos y procedimientos para su manejo*. S y G Editores.
- Nelson, D. y M. Cox (2013). *Lehninger: Principles of biochemistry*. Freeman y Company.
- OIEA (2005). *Guía para el trampeo en programas de control de mosca de la fruta en áreas amplias*. Online: <https://bit.ly/3DL2PiU0>.
- Salcedo-Baca, D., J. Lomelí-Flores y G. Terrazas-González (2009). *Evaluación económica del Programa MOSCAMED en México 1978-2008*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Tucuch-Cauich, F., G. Chi-Que y F. Orona-Castro (2008). «Dinámica poblacional de adultos de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) en Campeche, México». En: *Agricultura técnica en México* 34.3, 341-347. Online: <https://bit.ly/36u9uMJ>.
- Vázquez, F., G. Villegas y P. Mosqueda (2010). «Precipitación de proteínas lactoséricas en función de la acidez, temperatura y tiempo, de suero producido en Comonfort, Guanajuato, México». En: *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1.2, 157-169. Online: <https://bit.ly/3R3rMJl>.
- Verdugo, N. y V. Andrade (2018). «Traditional And Non-Traditional Products Of Ecuador: Positioning And Efficiency In The International Market For The 2013-2017 Period». En: *The International Journal of Engineering and Science* 7.8, 20-32. Online: <https://bit.ly/3LBzBFc>.
- Vilatuña, J., D. Sandoval y J. Trigerero (2010). *Manejo y control de moscas de la fruta*. AGROCALIDAD.
- Vilatuña, J. y col. (2016). «Hospederos de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) en Ecuador». En: *Revista Científica Ecuatoriana* 3.1. Online: <https://bit.ly/3C2d7tj>.
- Vioque, R. y col. (2001). «Obtención de aplicaciones de concentrados y aislados proteicos: información tecnológica». En: *Grasas y aceites* 52.2, 127-131. Online: <https://bit.ly/3BJxdb4>.
- White, I. y M. Elson-Harris (1992). *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics*. CAB international.
- Wilchek, M. y T. Miron (2003). «Oriented versus random protein immobilization». En: *Journal of biochemical and biophysical methods* 55.1, 67-70. Online: <https://bit.ly/3BEumQl>.

Zahari, M. y A. Alímon (2005). «Uso de la torta de palmiste y subproductos de palma de aceite en concentrados para animales». En: *Revista Palmas* 26.1, 57-64. Online:<https://bit.ly/3R6o2H5>.

Zarei, M. y col. (2012). «Production of defatted palm kernel cake protein hydrolysate as a valuable source of natural antioxidants». En: *International Journal of Molecular Sciences* 13.7, 8097-8111. Online:<https://bit.ly/3dz2llg>.



## INDICADORES FISICOQUÍMICOS DEL SUELO CON MANEJO CONVENCIONAL DEL ARROZ (*Oriza sativa* L.) BAJO RIEGO

### PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF SOIL WITH CONVENTIONAL RICE (*Oriza sativa* L.) MANAGEMENT UNDER IRRIGATION

Daniel Trigos-Becerril<sup>1</sup>, Nelino Florida-Rofner\*<sup>1</sup>, y Alex Rengifo-Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Económicas. Facultad de Ciencias Económicas y administrativas. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

\*Autor para correspondencia: [nelinof@hotmail.com](mailto:nelinof@hotmail.com)

Manuscrito recibido el 04 de febrero de 2021. Aceptado, tras revisión, el 17 de enero de 2022. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

#### Resumen

La investigación evaluó el efecto del manejo convencional del arroz bajo riego en indicadores fisicoquímicos del suelo, en los fundos Mercedes y Pérez, en Yurimaguas, Perú. Es una investigación no experimental comparativa, con ajuste estadístico de diseño completamente aleatorizado, donde los tratamientos lo constituyen el bosque secundario (BS), el manejo convencional del arroz de: uno (A1), cinco (A5) y nueve años (A9); evaluándose indicadores fisicoquímicos del suelo en estratos de 0,0 a 0,2 y 0,2 a 0,4 m. Los resultados mostraron diferencias en las fracciones, con reducción inicial de arena, limo e incremento de arcilla y en el tiempo ligera recuperación de la fracción arena, limo y reducción de arcilla. Los indicadores químicos según tratamientos y estratos presentan diferencias, excepto el potasio (K); el manejo afecta significativamente al inicio del proceso productivo (A1) reduciendo los niveles del potencial de hidrogeno (pH), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ ) y magnesio ( $Mg^{2+}$ ) e incrementando el aluminio ( $Al^{3+}$ ), acidez cambiante (AC) y saturación de aluminio (SAl); de igual forma, se observa la recuperación en el tiempo (A9), excepto en MO y N que descienden a niveles muy bajos. En conclusión, el manejo convencional muestra efectos significativos entre tratamientos e indicadores evaluados en ambos estratos, afectando negativamente al inicio (A1) y recuperándose con el tiempo (A9); sin embargo, se observan efectos negativos a largo plazo en los niveles de MO y N.

**Palabras clave:** Fertilización química, indicadores físicos, indicadores químicos, materia orgánica, residuos de cosecha, Yurimaguas, Perú.

---

**Abstract**

The research evaluated the effect of conventional management of irrigated rice on the physicochemical indicators of the soil, in the Mercedes and Pérez farms, in Yurimaguas, Peru. It is a comparative non-experimental investigation, with statistical adjustment of a completely randomized design, where the treatments are made up of the secondary forest (BS), the conventional rice management of one (A1), five (A5) and nine years (A9), evaluating physicochemical indicators of the soil in strata from 0.0 to 0.2 and 0.2 to 0.4 m. The results showed differences in the fractions, with initial reduction of sand, silt and clay increase and in time slight recovery of the sand, silt fraction and clay reduction. The chemical indicators according to treatments and strata show differences, except K; management significantly affects the beginning of the production process (A1) reducing the levels of pH, MO, N, P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  and increasing  $Al^{3+}$ , AC and SAI, and there is a recovery over time (A9), except in MO and N which decrease to very low levels. In conclusion, conventional management shows significant effects between treatments and indicators evaluated in both strata, negatively affecting the beginning (A1) and recovering over time (A9); however, there are long-term negative effects on OM and N levels.

**Keywords:** Chemical fertilization, physical indicators, chemical indicators, organic matter, crop residues, Yurimaguas, Peru.

---

Forma sugerida de citar: Trigoso-Becerril, D., Florida-Rofner, N. y Rengifo-Rojas, R. (2023). Indicadores físico-químicos del suelo con manejo convencional del arroz (*Oriza sativa* L.) bajo riego. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 37(1):117-129. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.09>.

---

IDs Orcid:

Daniel Trigoso-Becerril: <http://orcid.org/0000-0001-6850-7789>

Nelino Florida-Rofner: <http://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

Alex Rengifo-Rojas: <http://orcid.org/0000-0002-7103-6903>



# 1 Introducción

Perú posee áreas con gran potencial para la producción de arroz bajo riego en diferentes regiones, que en los últimos 17 años (2001-2017) observan una tendencia ascendente en la producción nacional, pues la superficie cosechada creció 2% y el rendimiento creció 0,4% promedio por año. Las principales regiones productoras son: San Martín con 27%, Lambayeque 13, Piura 12%, Amazonas 10% y la Libertad con 7% de participación (MINAGRIDGESEP, 2018). El rendimiento promedio nacional es de  $7,2t\ ha^{-1}$ , mientras que Loreto (Yurimaguas) presenta una media de  $2,9t\ ha^{-1}$ , ocupando el puesto 13 a nivel nacional. Por lo que la producción en esta región está lejos de la media nacional y de la media de regiones como Arequipa ( $13,9t\ ha^{-1}$ ), Ancash ( $11,9t\ ha^{-1}$ ), Tumbes ( $8,5t\ ha^{-1}$ ), y Lambayeque con  $8t\ ha^{-1}$  (Contreras, 2016; MINAGRIDGESEP, 2018; Quevedo, Beltrán y Barragán, 2019). Además, la producción en estas zonas está basada en el manejo convencional del cultivo, con malas prácticas agrícolas como: el control de plagas con agroquímicos, control de malezas con herbicidas y uso intensivo de fertilizantes químicos.

La aplicación del manejo convencional se justifica por la baja eficiencia que tendría la aplicación de enmiendas orgánicas, que puede afectar la rentabilidad del cultivo (Alvarez, Daza y Mendoza, 2008), aspecto que ha contribuido en algunos casos a disminuir el rendimiento medio. El arroz (*Oryza sativa* L.) es un grano alimenticio esencial para aproximadamente la mitad de la población (Das y col., 2014; Çay, 2018; Lv y col., 2018), siendo un componente básico en la estabilidad política, económica, social y para nuestra supervivencia (Quevedo, Beltrán y Barragán, 2019) y con aportes importantes en la economía. En Perú tiene gran incidencia en la generación de empleo, debido a que el cultivo se realiza manualmente en más del 95% del área cultivada, el proceso requiere en promedio 130 jornales· $ha^{-1}$ , el cual generó en el año 2017 aproximadamente un total de 222 mil puestos de trabajo permanente (Sanjinez, 2019). Por tanto, la estabilidad económica y la seguridad alimentaria dependen en gran medida de la disponibilidad de este grano (Sanjinez, 2019; Effendi, Zuhry y Ariani, 2021).

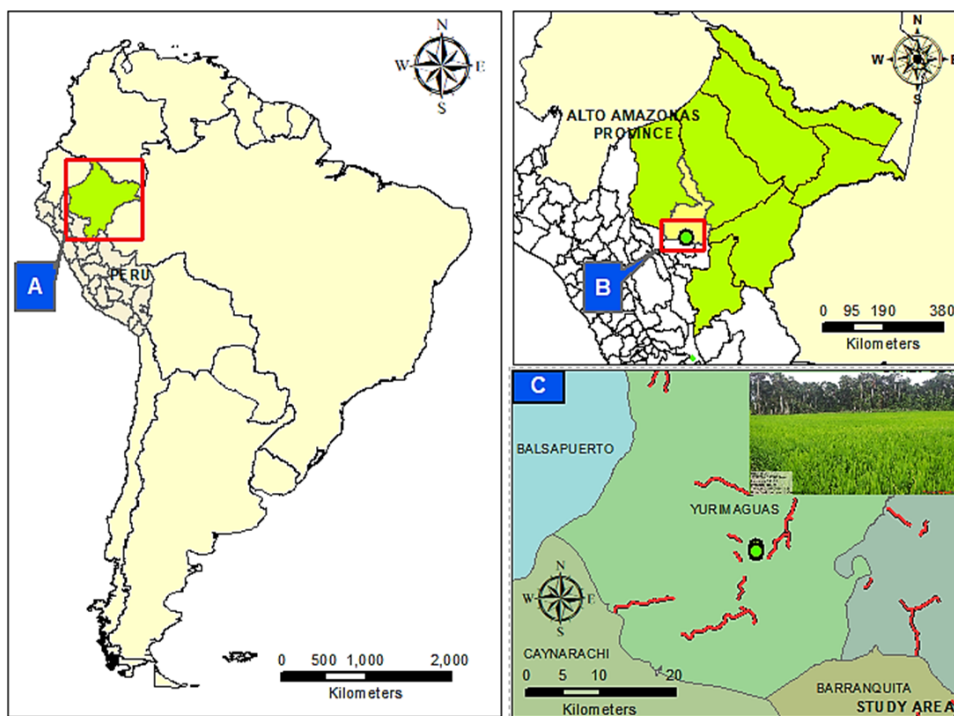
En general, las prácticas agrícolas como el monocultivo, la mecanización y el uso de agroquímicos, generalmente conducen a cambios en la calidad del suelo, degradando su estructura y potencial productivo (Stehlíková y col., 2016; Florida y Núñez, 2020). El arroz bajo riego es un monocultivo con características especiales (Guzmán, 2006; Ruiz, Díaz y Polón, 2005; Vignola y col., 2018), y la mecanización y aplicación de fertilizantes y otras actividades en el desarrollo de este cultivo son causa fundamental de la degradación de propiedades físicas del suelo: destrucción de los macroporos, incremento de la densidad (Çay, 2018), compactación, erosión, mal drenaje, acumulación de P, K y otros en la capa superficial (Lv y col., 2015) que influyen de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces y el desarrollo morfofisiológico de las plantas (Castillo, 2000; Pérez, González y Castro, 2002; Ruiz, Díaz y Polón, 2005). También, el encharcamiento puede generar circulación de agua hacia abajo, lo que provoca la pérdida de partículas de arcilla y limo (Castillo, 2000; Alejandro, 2016) y acelera la degradación de las características químicas, reduciendo los niveles de MO, bases intercambiables y un proceso de acidificación causado por el fuerte lavado (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001; Alejandro, 2016; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016).

En este contexto, es necesario evaluar los efectos que genera el cultivo de arroz sobre la calidad del suelo. Por ello, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del manejo convencional del arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego en los principales indicadores fisicoquímicos del suelo, en los fundos Mercedes y Pérez, en Yurimaguas, provincia Alto Amazonas-región Loreto, Perú.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Ubicación del área en estudio

La investigación se desarrolló en los fundos Mercedes y Pérez (Figura 1). Ambos fundos se encuentran en la jurisdicción del sector Suniplaya, en el distrito de Yurimaguas, ubicado en la parte sur de la provincia Alto Amazonas en la región Loreto.



**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio, Fundo Mercedes y Pérez (C), Yurimaguas en Alto Amazonas (B) región Loreto-Perú (A).

## 2.2 Características bioclimáticas

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo de Holdridge (2000), el área pertenece a un bosque húmedo Tropical (bh-T); según Pulgar (2014) esta zona pertenece a la Ecorregión Omagua o selva baja. Tiene un clima ecuatorial, cálido y húmedo con abundantes lluvias, típicas de la llanura amazónica; la temperatura media es de  $26,6^{\circ}\text{C}$ ; la humedad relativa mínima es de 74,5% y la máxima de 81,5%, con una precipitación media anual de 2098 mm al año (World Climate Data, 2020). Se encuentra sobre la orilla izquierda del río Huallaga, a unos 100 km aguas arriba de la confluencia con el río Marañón, pertenecientes ambos a la gran cuenca del río Amazonas (Paredes, 2013). El tipo de suelo corresponde a un Inceptisols, con un horizonte B poco desarrollado y sobre una terraza media inundable.

## 2.3 Arroz con manejo convencional

Las áreas con cultivos de arroz tuvieron un proceso secuencial de intervención que se subdivide en:

- (a) **Primera intervención del bosque** Se realizó sobre áreas de bosque primario, con la ayuda de una tractor oruga que realizó el desmonte y limpieza de los tocones y árboles caídos en el área. También, en esta etapa con la misma maquinaria se realiza la nivelación del terreno, se construyen los bordes, los canales, accesos a las carreteras y los drenes; después de esta etapa el área queda lista para iniciar el proceso de preparación del suelo e instalación del cultivo de arroz.
- (b) **Preparación del suelo antes de la siembra** En el régimen seco (junio - octubre) se realizó el rastreo con un tractor agrícola, implementado con rastra de discos, lo que permite la inversión de la capa arable del perfil del suelo y la incorporación de los residuos de la cosecha anterior. En el régimen lluvioso (entre noviembre a mayo) se realiza el fanguero directo con tractor agrícola implementado con el arado rotativo, previa inundación del terreno. Finalmente, se realiza la nivelación de las pozas con tractor agrícola implementado de lampón y se refina la nivelación

con motocultores y el área quedó lista para la siembra del arroz.

- (c) **Instalación del cultivo** Culminado el proceso de fanguero, en un espacio independiente y dentro del área preparada, se realiza el almacigo de arroz (variedad HP 102 FL- EL VALOR) para su posterior trasplante de plántulas al terreno definitivo. El procedimiento implicó remojar 80 kg de semilla por hectárea, la semilla es sembrada al voleo y se abona con urea en dosis de  $8\text{kg ha}^{-1}$ ; finalmente, cuando las plántulas del almacigo alcanzan 25 a 30 días y unos 20 cm de altura, se trasplantan en el terreno definitivo.
- (d) **Plan de manejo y fertilización del cultivo en diferentes etapas productivas** Refierase a la Tabla 1.
- (e) **Cosecha** Esta etapa se realizó a los 135 días aproximadamente, desde el almacigo e instalación del cultivo y se utilizó maquina cosechadora equipada con orugas de jebe.

**Tabla 1.** Plan de manejo del cultivo de arroz.

Descripción de la actividad	Momento	Detalle de la aplicación
Primer abonamiento o abonamiento de fondo	Antes del trasplante	100 kg de fosfato di amónico y 100 kg de cloruro de potasio
Control de malezas	A 7 días del trasplante	Se aplicó un herbicida preemergente butaclor
	A 10 días del preemergente	Se realizó la fumigación con herbicidas pos emergentes Florpyrauxifen-benzyl (loyant), y Cyhalofop butil (clincher) + su insecticida chlorpyrifos (tifón).
Segundo abonamiento	A los 51 días	Se aplicó con una lámina de agua, 100 kg de nitro s (nitrato de amonio) y 100 kg de cloruro de potasio
Tratamiento para macollamiento	A los 60 días	Se aplicó bioestimulante a base de aminoácido, fungicida carbendazin (protexin) e insecticida imidacloprid y benzoate (Agryben duo).
Tercer abonamiento	A los 70 días	Se aplicó con lámina de agua, 75 kg de nitrato de amonio (Nitro S).
Tratamiento para formación y protección de espigas	A los 75 días	Se aplicó fungicidas tebucunazole, Difeconazole, Propiconazole, Insecticidas imidacloprid y foliares de potasio, fosforo, calcio, boro.
Rendimiento	Dos últimas campañas	A1 ( $7000\text{kg ha}^{-1}$ ), A5 ( $8500\text{kg ha}^{-1}$ ), A9 ( $8500\text{kg ha}^{-1}$ )

Estas áreas producen 2 campañas por año.

## 2.4 Bosque secundario

Las áreas con manejo convencional de arroz se compararon con bosque secundario (BS), bosque adyacente a estos cultivos que presentan una gran intervención de especies con valor comercial, cuya composición actual es a base de especies como: moena (*Aniba amazónica* Meiz), pashaco blanco (*Macrolobium acaciaefolium* Benth), oje (*Ficus insípida* Willd.), Capirona (*Calycophyllum Spruceanum* (Bent.) Hook), palo lápiz (*Polyscias murrayi* F. Muel), ana caspi (*Apuleia procox* C. Martius), bellaco caspi (*Himatanthus sucuuba* Woods), tornillo (*Cedrelinga*

*cateniformis* D. Ducke), Cashimbo (*Cariniana periformis* Miers), setico (*Cecropia membranacea* Trécul), topa (*Ochroma pyramidale* Cav. Ex. Lamb), yarina (*Phytelephas macrocarpa* Ruiz et Pav), el huasai (*Euterpe oleracea* Mart.) y otras especies de bajo valor comercial.

## 2.5 Muestreo y análisis físico químico del suelo

Sobre las áreas se desarrollan dos campañas por año. En ellas se realizó el muestreo antes de la

segunda campaña del 2020 (agosto-diciembre), en parcelas de arroz con manejo convencional de un año (A1), cinco años (A5), nueve años (A9) y bosque secundario (BS) como referencia. En ellas se seleccionó una subárea de 2000 m<sup>2</sup> y se realizó el muestreo en 5 puntos al azar en cada subparcela, según la metodología de la Soil Taxonomy (2014), considerando estratos de 0,0 a 0,2 y 0,2 a 0,4 m de profundidad, evaluándose indicadores físicos (textura) y químicos: pH, materia orgánica *MO*, *N*, *P*, *K*<sup>+</sup>, *Ca*<sup>2+</sup>, *Mg*<sup>2+</sup>, *Al*<sup>3+</sup>, capacidad de intercambio de cationes CIC, acidez cambiante AC y saturación de aluminio (SAI), siguiendo los protocolos descritos por Bazán (2017).

## 2.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Es una investigación no experimental comparativa (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) ajustada estadísticamente al diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro tratamientos: bosque secundario (BS), Arroz con 1 año (A1), cinco años (A5) y nueve años de manejo (A9) y un tamaño de muestra  $n = 5$  (40 muestras en total), en estratos de 0,0 a 0,2 m y 0,2 a 0,4 m. Cada unidad experimental estuvo conformada por una subárea de 1000 m<sup>2</sup>. Metodo-

logías de estudios similares han sido aplicadas por Navarro, Florida y Navarro (2018) y Florida y Núñez (2020). Los datos fueron sometidos al análisis de varianza ANOVA y prueba HSD-Tukey con un nivel de significancia del 5% ( $p < 0,05$ ) para la comparación de medias y medir los efectos del manejo sobre indicadores fisicoquímicos del suelo en diferentes estratos, con el software libre IBM-SPSS 25.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Indicadores físicos

El único indicador físico evaluado es la textura del suelo. La Tabla 2 muestra que los diferentes tratamientos evaluados presentan una clase textural arcillosa (con % de arcilla > 42%) en ambos estratos (0,0-0,2 y 0,2-0,4 m). Además, se observan cambios en el % de las fracciones arena y limo, que muestran variaciones con tendencia de disminución en A1, A5 y ligera recuperación en A9; por el contrario, la fracción arcilla se incrementa en A1 y tiende a disminuir en A5 y A9 en ambos estratos; esta fracción es la menos alterada. En general, se produjo inicialmente una reducción de la fracción arena, limo e incremento notable de arcilla y en el tiempo se observa un efecto contrario en ambos estratos.

Tabla 2. Estadística de las fracciones y clase textural.

Tratamientos	Fracciones			Clase textural
	Arena	Arcilla	Limo	
Estrato 0,0-0,2 m				
BS	28,6±3,29 <sup>b</sup>	48,8±3,03 <sup>a</sup>	22,6±2,61 <sup>bc</sup>	Arcilloso
A1	7,4±0,89 <sup>a</sup>	80±4,69 <sup>b</sup>	12,6±4,56 <sup>a</sup>	Arcilloso
A5	9,4±6,54 <sup>a</sup>	73,6±9,94 <sup>b</sup>	17±3,46 <sup>ab</sup>	Arcilloso
A9	14,6±3,58 <sup>a</sup>	60±6,78 <sup>a</sup>	25,4±4,34 <sup>c</sup>	Arcilloso
EEM	16,8	44	14,6	
Sig.	0,00**	0,00**	0,00**	
CV (%)	61,93	21,07	31,85	
Estrato 0,2-0,4 m				
BS	21±7,21 <sup>b</sup>	48,4±6,07 <sup>a</sup>	30,6±4,98 <sup>b</sup>	Arcilloso
A1	7,4±1,67 <sup>a</sup>	79,6±5,18 <sup>b</sup>	13±4,24 <sup>a</sup>	Arcilloso
A5	7,8±1,79 <sup>a</sup>	78,4±5,55 <sup>b</sup>	13,8±4,15 <sup>a</sup>	Arcilloso
A9	16,6±9,21 <sup>ab</sup>	57,6±8,41 <sup>a</sup>	25,8±3,9 <sup>b</sup>	Arcilloso
EEM	35,7	41,3	18,8	
Sig.	0,005**	0,00**	0,00**	
CV (%)	61,36	22,67	42,07	

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, \*\*: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ( $p = 0,05$ ).

Los resultados pueden explicarse considerando que el sistema de preparación del suelo tiene como objetivo mullir y desmenuzar el terreno previo a la siembra, para crear un lecho adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Vignola y col., 2018); por ello, se levanta y revuelve la tierra desde una profundidad de 10 a 20 cm, fraccionando los agregados y afectando la relación suelo-agua (Pérez, González y Castro, 2002; Ruiz, Díaz y Polón, 2005). Además, el encharcamiento genera circulación de agua hacia abajo, lo que provoca la pérdida de partículas finas, arcilla y limo (Castillo, 2000; Alejandro, 2016). Estas referencias explican la reducción de la fracción limo en A1 y arcilla en A9 en ambos estratos; sin embargo, no explican la reducción de arena e incremento de arcilla en A1 y la recuperación de la fracción arena y limo en A9; probablemente el acondicionamiento inicial de la parcela que incluye cortes y rellenos para aplanar el terreno sea el responsable de los cambios iniciales y recién en A5 y A9.

### 3.2 Indicadores químicos

La Tabla 3 muestra las medias de los indicadores de fertilidad; los niveles de pH en ambos estratos tienden a disminuir ligeramente en A1 y luego a incrementar en A5 y A9, este último presentando la media más alta. La media en MO y N en ambos estratos tiende a disminuir en A1, A5 y A9 presenta la media más baja; el P disminuye en A1 y luego tiende a estabilizarse y a mostrar tendencias de recuperación en A5 y A9, similar al BS; además, los niveles medios del estrato superficial son mayores. Contrariamente en el caso del  $K^+$ , los niveles medios en A1, A5 y A9 son mayores al BS en ambos estratos y las medias más altas lo presenta el estrato de 0,4 m. En general, el pH, P y  $K^+$  disminuyen en A1 y luego muestran tendencias de recuperación en A5 y A9, excepto MO y N que tienden a disminuir. Además, se encontraron diferencias significativas en el pH, MO, N y P, excepto en el  $K^+$ , que no muestra diferencias entre los tratamientos y estratos evaluados.

**Tabla 3.** Estadística de indicadores químicos de fertilidad.

Tratamientos	Indicadores				
	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Estrato 0,0-0,2 m					
BS	4,74±0,14 <sup>a</sup>	3,82±0,68 <sup>b</sup>	0,19±0,03 <sup>b</sup>	7,04±0,48 <sup>a</sup>	72,37±0,99 <sup>a</sup>
A1	4,64±0,12 <sup>a</sup>	2,26±0,44 <sup>a</sup>	0,11±0,02 <sup>a</sup>	4,01±1,03 <sup>a</sup>	77,02±2,31 <sup>a</sup>
A5	4,97±0,16 <sup>b</sup>	2,48±0,55 <sup>b</sup>	0,12±0,03 <sup>a</sup>	6,79±2,26 <sup>ab</sup>	76,27±7,43 <sup>a</sup>
A9	4,76±0,08 <sup>ab</sup>	1,58±0,46 <sup>a</sup>	0,08±0,02 <sup>a</sup>	7,09±2,1 <sup>b</sup>	75,77±3,68 <sup>a</sup>
EEM	16	293	1	2706	18743
Sig.	0,007**	0,00**	0,000**	0,025*	0,367ns
CV (%)	3,56	38,19	38,46	32,1	5,8
Estrato 0,2-0,4 m					
BS	4,76±0,13 <sup>ab</sup>	1,39±0,12 <sup>ab</sup>	0,07±0,01 <sup>ab</sup>	3,21±0,78 <sup>a</sup>	73,26±1,06 <sup>a</sup>
A1	4,63±0,1 <sup>a</sup>	1,52±0,32 <sup>ab</sup>	0,08±0,02 <sup>ab</sup>	2,6±0,8 <sup>a</sup>	80,98±5,38 <sup>a</sup>
A5	4,97±0,07 <sup>bc</sup>	1,65±0,52 <sup>b</sup>	0,08±0,03 <sup>b</sup>	5,43±1,47 <sup>b</sup>	82,46±7,31 <sup>a</sup>
A9	5,16±0,16 <sup>c</sup>	0,88±0,35 <sup>a</sup>	0,04±0,02 <sup>a</sup>	3,5±1,14 <sup>ab</sup>	81,37±5,56 <sup>a</sup>
EEM	0,01389	0,1269325	0	1178	28598
Sig.	0,00**	0,02*	0,021*	0,005**	0,056**
CV (%)	4,71	32,35	33,82	39,8	7,76

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, \*\*: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ( $p = 0,05$ ).

El comportamiento de los resultados de la Tabla 3 puede explicarse considerando que la MO y N son indicadores fuertemente alterados por el manejo convencional (Çay, 2018), y ocurren como consecuencia de permanecer en condiciones de al-

to encharcamiento (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001; Alejandro, 2016), elevado tránsito de maquinaria agrícola que compacta el suelo y altera la disponibilidad de oxígeno (Alejandro, 2016), y el uso excesivo de herbicidas para el control de malezas

(Ramírez, Hoyos y Plaza, 2017). Por tanto, los valores de *MO* y *N* en A1, A5 y A9 no son ideales ya que Domínguez y col. (2020) considera normal para el desarrollo del cultivo valores superiores al 3% de *MO*. A pesar de que la preparación del suelo incluye la incorporación de los residuos de cosecha, esto no parece ayudar a incrementar los niveles de *MO* y *N*, tal como lo señala Guzmán (2006), Alvarez, Daza y Mendoza (2008) y Li y col. (2011) y Liqun y col. (2014); además, se registran niveles muy bajos en A9 en ambos estratos evaluados, lo que podría afectar los niveles de absorción de *N*, *P* y *Mg*, elementos relacionados con la producción de materia verde (Aguilar, 2010). Por lo tanto, es necesario determinar la tasa de aplicación de fertilizantes, para optimizar la eficiencia del uso de *N* y evitar efectos adversos (Zhang y col., 2009).

Respecto al pH, el uso intensivo de maquinaria y los altos volúmenes de agua causan fuerte lavado de las bases intercambiables y un acentuado proceso de acidificación (Ruiz, Muñoz y Polón, 2016); aunque es posible mejorar o corregir con aplicación de enmiendas calcáreas, en este caso la inundación favorece su rápida incorporación, elevando los niveles de pH (Morales, 2004). Sin embargo, los re-

sultados no muestran este proceso de acidificación y según Sanjinez (2019) están muy cerca de los niveles óptimos para este cultivo (5,5 a 6,5 de pH). Respecto al  $K^+$ , no se observa diferencias y tiende a incrementarse con el tiempo, esto puede explicarse considerando (Tabla 1) que se aplica 100 Kg de cloruro de potasio antes del trasplante, 100 kg mas a 51 días del trasplante y foliares a base de *K*, *P*,  $Ca^{2+}$  y *B* a los 75 días, generándose una acumulación. Esto puede alterar la relación que mantiene este elemento con los cationes *Ca*, *Mg* y con los nutrientes *N* y *P*, e influenciar negativamente en la absorción de estos y limitar la producción (Aguilar, 2010; Das y col., 2014), ya que la cantidad aplicada a las áreas supera lo recomendado por Alejandro (2016), dosis entre 80 – 150 kg de  $K_2O$ ,  $ha^{-1}$ , y por Paredes y Becerra (2015) quienes sugieren no usar más de 60 unidades de  $K^+$  antes del trasplante. Por lo tanto, es necesario considerar las curvas de absorción del cultivo para poder aportar los nutrientes necesarios en cada fase fenológica del cultivo (Tinoco y Acuña, 2009; Zhang y col., 2009). Si la tendencia del desequilibrio de *K* no se invierte, el potencial para mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes *N* y *P* y el rendimiento de los cultivos será limitado.

**Tabla 4.** Estadística de indicadores químicos intercambiables.

Tratamientos	Indicadores			
	Ca	Mg	Al	CICe
Cmol(+)/kg				
Horizonte 0,0-0,2 m				
BS	4,41±0,78 <sup>a</sup>	0,65±0,09 <sup>a</sup>	7,42±1,16 <sup>ab</sup>	12,61±1,22 <sup>a</sup>
A1	4,04±0,82 <sup>a</sup>	0,61±0,11 <sup>a</sup>	13,1±1,57 <sup>c</sup>	18,36±2,58 <sup>b</sup>
A5	5,97±0,45 <sup>b</sup>	0,87±0,09 <sup>b</sup>	5,14±1,58 <sup>a</sup>	12,17±1,92 <sup>a</sup>
A9	4,95±0,59 <sup>ab</sup>	0,74±0,06 <sup>ab</sup>	7,94±1,09 <sup>b</sup>	13,93±1,56 <sup>a</sup>
EEM	459	8	1870	3561
Sig.	0,002**	0,001**	0,00**	0,00**
CV (%)	20,04	18,31	38,54	21,37
Horizonte 0,2-0,4 m				
BS	4,59±0,73 <sup>ab</sup>	0,66±0,08 <sup>a</sup>	8,55±1,59 <sup>b</sup>	14,33±1,87 <sup>a</sup>
A1	4,05±0,69 <sup>a</sup>	0,61±0,09 <sup>a</sup>	12,26±2,13 <sup>c</sup>	18,15±2,2 <sup>b</sup>
A5	6,4±0,91 <sup>c</sup>	0,91±0,08 <sup>b</sup>	4,63±1,67 <sup>a</sup>	12,66±1,31 <sup>a</sup>
A9	5,85±0,58 <sup>bc</sup>	0,83±0,05 <sup>b</sup>	5,75±0,44 <sup>ab</sup>	12,91±0,76 <sup>a</sup>
EEM	539	6	2517	2652
Sig.	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	22,56	19,28	42,97	18,61

EEM: error estándar de la media, Sig.: Significancia, \*\*: altamente significativo, BS: bosque secundario, A1, A5 y A9 área con cultivo de arroz de 1 año, 5 y 9 años respectivamente. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por la prueba de Tukey ( $p = 0,05$ ).

La Tabla 4 muestra que las medias de los niveles de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  en ambos estratos tienden a disminuir ligeramente en A1 y luego a incrementar en A5 y A9; por el contrario, los niveles de  $Al^{3+}$ , AC y SAL se incrementan en A1 y luego disminuyen en A5 y A9. En general, todos los indicadores intercambiables presentan diferencias altamente significativas según el tratamiento y el estrato evaluado en comparación al suelo de bosque secundario.

El comportamiento de los indicadores intercambiables (Tabla 4), puede explicarse considerando que los suelos arroceros conducen al establecimiento de un horizonte iluvial compacto, poco permeable e enriquecido con hierro y manganeso y otro eluvial empobrecido, que se manifiesta por un lavado intenso de bases (Castillo, 2000; Navarro y col., 2001); además, los iones  $NH^4+$ ,  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  liberados después de la inundación pueden desplazar cantidades considerables de  $Mg^{2+}$  de los sitios de intercambio por el fuerte lavado (Bacha, 2002; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016). Esto explica la reducción de

$Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y el incremento de  $Al^{3+}$ , AC y SAL en A1; sin embargo, estas referencias no explican la recuperación de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y la reducción de  $Al^{3+}$ , AC y SAL en A5 y A9; probablemente es por la incorporación de los residuos de cosecha y por el aporte de fertilizantes en algunos casos en exceso como el  $K^+$  (Tabla 1), en el proceso de producción.

### 3.3 Comparaciones múltiples de los indicadores físicos

Todas las fracciones evaluadas en los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas (Tabla 3) y las comparaciones múltiples HSD-Tukey (Tabla 5), muestra que la fracción arena en los tratamientos A1, A5 y A9 son diferentes al BS, excepto A9 a 40 cm de profundidad. En el caso de la fracción arcilla, A1 y A5 presentan diferencias con BS en ambos estratos y en la fracción limo A1 es diferente a BS en el estrato superficial, en el estrato de 40 cm tanto A1 como A5 son diferentes al BS.

Tabla 5. Test HSD-Tukey para indicadores físicos.

Variable dependiente	Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv, Error	Sig,	
Arena	A1	21,2*	2,59	0,000	
	BS20	A5	19,2*	2,59	0,000
	A9	14*	2,59	0,000	
	BS40	A1	13,6*	3,78	0,012
	A5	13,2*	3,78	0,014	
	A9	4,4	3,78	0,657	
Arcilla	A1	-31,2*	4,2	0,000	
	BS20	A5	-24,8*	4,2	0,000
	A9	-11,2	4,2	0,072	
	BS40	A1	-31,2*	4,06	0,000
	A5	-30*	4,06	0,000	
	A9	-9,2	4,06	0,149	
Limo	A1	10*	2,42	0,004	
	BS20	A5	5,6	2,42	0,135
	A9	-2,8	2,42	0,660	
	BS40	A1	17,6*	2,74	0,000
	A5	16,8*	2,74	0,000	
	A9	4,8	2,74	0,332	

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Las comparaciones múltiples muestran diferencias entre tratamientos e indicadores físicos y químicos evaluados en ambos estratos. Este resultado demuestra que el tiempo de manejo en el culti-

vo, principalmente la mecanización y el riego, tiene efectos sobre las diferentes fracciones del suelo en ambos estratos, en comparación al bosque secundario usado como referencia, siendo la afectación en el

siguiente orden: arena>arcilla>limo.

### 3.4 Comparaciones múltiples de los indicadores químicos

Los indicadores químicos evaluados en los diferentes tratamientos y estratos también presentan

diferencias significativas (Tabla 4), excepto el K. Las comparaciones múltiples HSD-Tukey (Tabla 6), muestran que el pH en el tratamiento A1 a 0,2 m y A9 a 0,4 m, son diferentes al BS. La MO y el N en los tratamientos A1, A5 y A9 a 0,2 m; el P en los tratamientos A1 en estrato superficial y A5 a 0,4 m y el  $K^+$  no presentan diferencias en comparación al bosque secundario BS.

Tabla 6. Test HSD-Tukey para indicadores químicos de fertilidad.

Variable dependiente	Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	
pH	BS20	A1	0,09400	0,07977	0,648	
		A5	-,23000*	0,07977	0,048	
		A9	-0,02400	0,07977	0,990	
	BS40	A1	0,13200	0,07454	0,322	
		A5	-0,21000	0,07454	0,054	
		A9	-,39200*	0,07454	0,000	
	MO	BS20	A1	1,56200*	0,34219	0,002
			A5	1,34000*	0,34219	0,006
			A9	2,24000*	0,34219	0,000
BS40		A1	-0,13400	0,22533	0,932	
		A5	-0,25800	0,22533	0,668	
		A9	0,50600	0,22533	0,153	
N		BS20	A1	0,08200*	0,01769	0,001
			A5	0,07000*	0,01769	0,006
			A9	0,11400*	0,01769	0,000
	BS40	A1	-0,00600	0,01179	0,956	
		A5	-0,01400	0,01179	0,643	
		A9	0,02600	0,01179	0,164	
	P	BS20	A1	3,03000*	1,04036	0,045
			A5	0,25000	1,04036	0,995
			A9	-0,05400	1,04036	1,000
BS40		A1	0,61200	0,68649	0,809	
		A5	-2,22200*	0,68649	0,024	
		A9	-0,28600	0,68649	0,975	
K <sup>+</sup>		BS20	A1	-4,65200	2,73811	0,356
			A5	-3,89800	2,73811	0,504
			A9	-3,40000	2,73811	0,611
	BS40	A1	-7,72400	3,38217	0,144	
		A5	-9,20600	3,38217	0,065	
		A9	-8,11000	3,38217	0,118	

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

La Tabla 7 muestra las comparaciones múltiples según la prueba HSD-Tukey, donde el  $Ca^{2+}$  en el tratamiento A5 a 0,2 y 0,4 m presenta diferencias respecto al tratamiento control (BS); también, el  $Mg^{2+}$  en A5 a 0,2 m y A5 y A9 a 0,4 m son diferentes a BS; en el caso del  $Al^{3+}$  en A1 a 0,2 m y A1 y A5 a 0,4 m presenta diferencias respecto a BS y la CICE en A1 a 0,2 y 0,4 m son diferentes al BS. Esta prueba de com-

paración múltiple demuestra que más de un tratamiento presentó diferencias respecto al tratamiento control (BS) en los diferentes indicadores y estratos evaluados y se evidencian efectos negativos según los tratamientos en el siguiente orden:  $A1 > A5 > A9$ . En general, los indicadores químicos según los tratamientos son afectados severamente al inicio del manejo (A1) y en la mayoría de ellos se aprecia una



recuperación con el tiempo, producto de la aplicación de ciertos criterios como la incorporación de residuos de la cosecha en cada periodo de preparación del suelo y la falta de precisión en el plan de manejo que hasta el momento (A9) parece un proceso de recuperación; sin embargo, se advierten

efectos negativos con el tiempo, como se observa en la literatura (Castillo, 2000; Federación Nacional de Arroceros de Colombia, 2001; Navarro y col., 2001; Ruiz, Díaz y Polón, 2005; Alejandro, 2016; Ruiz, Muñoz y Polón, 2016; Vignola y col., 2018; Domínguez y col., 2020).

**Tabla 7.** Test HSD-Tukey para indicadores químicos intercambiables.

Variable dependiente	Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv, Error	Sig,	
Ca <sup>2+</sup>	A1	0,36600	0,42868	0,828	
	BS20	A5	-1,56000*	0,42868	0,011
		A9	-0,54000	0,42868	0,600
	BS40	A1	0,54000	0,46432	0,658
		A5	-1,81000*	0,46432	0,006
		A9	-1,25600	0,46432	0,067
Mg <sup>2+</sup>	A1	0,04000	0,05638	0,892	
	BS20	A5	-,22000*	0,05638	0,006
		A9	-0,09400	0,05638	0,372
	BS40	A1	0,04600	0,04868	0,782
		A5	-,25600*	0,04868	0,000
		A9	-,17400*	0,04868	0,012
Al <sup>3+</sup>	A1	-5,67400*	0,86488	0,000	
	BS20	A5	2,28400	0,86488	0,076
		A9	-0,51600	0,86488	0,932
	BS40	A1	-3,70800*	1,00345	0,010
		A5	3,92000*	1,00345	0,006
		A9	2,80000	1,00345	0,057
CICe	A1	-5,74400*	1,19345	0,001	
	BS20	A5	0,44200	1,19345	0,982
		A9	-1,31600	1,19345	0,693
	BS40	A1	-3,82200*	1,02998	0,009
		A5	1,66800	1,02998	0,396
		A9	1,41400	1,02998	0,533

\*, La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Finalmente, en base a los antecedentes del rendimiento de las áreas (Tabla 1) se tiene un rendimiento medio en las dos últimas campañas de 7 t ha<sup>-1</sup> A1 y 8,5 t ha<sup>-1</sup> en A5 y A9, estos últimos superior a la media nacional de 7,19 t ha<sup>-1</sup> (MINAGRI-DGESEP, 2018), a los 7,72 t ha<sup>-1</sup> reportado por Gabriel (2014) combinando biol y 20 t ha<sup>-1</sup> de bocashi a los 6, 88 t ha<sup>-1</sup> obtenidos por Jara (2003) con la variedad Biflor en Tulumayo, Leoncio Prado y a los 5,5 y 5,3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente obtenidos por Barahona y col. (2019) en un suelo Inceptisols en Coclé, Panamá. Sin embargo, son ligeramente menor a los 9,5 t ha<sup>-1</sup> reportado por Quevedo, Beltrán y Barragán (2019) y a los 10,346 t ha<sup>-1</sup> reportado por Contreras (2016),

con la aplicación de fósforo y micronutrientes en Tinajones Jequetepeque. Estos rendimientos se explican primero por las condiciones bioclimáticas óptimas que presenta el lugar; según Sanjinez (2019) la temperatura óptimo para germinar varía entre 10 y 35°C y para el crecimiento del tallo, hojas y raíces varía entre 7 y 23°C, y el área en estudio presenta una media de 26,6°C (World Climate Data, 2020); en segundo lugar, los rendimientos se deben al plan muy diciplinado de fertilizantes que se aplican (Tabla 1) y en tercer lugar a los restos de cosecha que se incorporan en cada ciclo de preparación del suelo.

## 4 Conclusiones

Se encontraron diferencias en las fracciones arena, limo y arcilla en los diferentes tratamientos evaluados (BS, A1, A5 y A9) y corresponden a una clase textural arcillosa. Se encontró inicialmente una reducción en los valores medios de la fracción arena, limo e incremento de arcilla y en el tiempo ligera recuperación de la fracción arena, limo y la fracción arcilla tiende a disminuir.

Los indicadores químicos determinan que son suelos de pH ácido a ligeramente ácido, con niveles de MO, N, P y Ca que varían de bajos a medios; el K, Mg y la CIC presentan niveles bajos y el Al presenta niveles altos, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos y estratos evaluados, excepto el K que no muestra diferencias.

El análisis de varianza y las comparaciones múltiples muestran diferencias entre tratamientos en los diferentes indicadores físicos-químicos evaluados en ambos estratos; el tiempo de manejo del arroz bajo riego tiene efectos en las diferentes fracciones del suelo y sobre los indicadores químicos en ambos estratos, afectando severamente el inicio del manejo (A1) y se aprecia una recuperación con el tiempo (A9), por la incorporación de residuos de cosecha y un plan estricto de fertilización que ha mantenido los rendimientos por encima de la media nacional; sin embargo, se advierten efectos negativos a largo plazo.

## Referencias

- Aguilar, Y. (2010). «Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de arroz en tres zonas de la cuenca baja del río Guayas- Ecuador». En: *XII congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo*.
- Alejandro, M. (2016). «Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivos de arroz riego intermitente y secano bajo el sistema de labranza tradicional aplicado, en los llanos del Casanare». Tesis de mtría. Universidad Nacional de Colombia Palmira.
- Alvarez, J., M. Daza y C. Mendoza (2008). «Aplicación de un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en Arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado en Ibagué y el Guamo (Tolima, Colombia)». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61.2, 4605-4617. Online: <https://bit.ly/3LwQi4x>.
- Bacha, R. (2002). «Arroz irrigado sistema pre germinado». En: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Cap. Principios básicos para a adubação do arroz irrigado, págs. 77-99.
- Barahona, L. y col. (2019). «Absorción de nutrientes en arroz en un suelo inceptisol bajo riego en Coclé, Panamá». En: *Agronomía Mesoamericana* 30.2, 407-424. Online: <https://bit.ly/3dsD3W7>.
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Online: <https://bit.ly/3QT2EoM0>. INIA.
- Castillo, L. (2000). «Relación entre las propiedades físicas de suelo y el desarrollo morfológico de la planta de arroz». En: *Revista Cubana del Arroz* 49.424, págs. 1-37.
- Çay, Anıl (2018). «Impact of different tillage management on soil and grain quality in the Anatolian paddy rice production». En: *Plant, Soil and Environment* 64.7, 303-309. Online: <https://bit.ly/3f3Ku6r>.
- Contreras, F. (2016). «Aplicación de fósforo y micronutrientes en un sistema intensivo del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) cv, Tinajones en Jequetepeque». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Das, A. y col. (2014). «Yield trends and nutrient budgeting under a long-term (28 years) nutrient management in rice-wheat cropping system under subtropical climatic condition». En: *Plant, Soil and Environment* 60.8, 351-357. Online: <https://bit.ly/3f3Ku6r>.
- Domínguez, C. y col. (2020). «Influencia de la Agricultura de Conservación sobre propiedades del suelo bajo cultivo de arroz irrigado». En: *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 29.3, 75-83. Online: <https://n9.cl/leph9>.
- Effendi, A., E. Zuhry y E. Ariani (2021). «Effects of the sludge application at different concentrations on growth and production of rice (*Oryza sativa* L.) using a water channel underneath soil surface». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 74.1, 9395-9401. Online: <https://bit.ly/3S2BCg7>.
- Federación Nacional de Arroceros de Colombia (2001). *Arroz en Colombia 1980 –2001*. FEDEARROZ.
- Florida, N. y G. Núñez (2020). «Soil quality with traditional management in the Chambira native community». En: *Plant, Soil and Environment* 66.8, 375-380. Online: <https://bit.ly/3DGgUhZ>.
- Gabriel, V. (2014). «Efecto del abonado orgánico en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en sistema de secano favorecido en Tingo María». Tesis de mtría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Guzmán, D. (2006). «Manejo agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) sembrado bajo riego en finca ranchos horizonte; Cañas; Guanacaste, Costa Rica». Tesis de mtría. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Hernández, R., C. Fernández y M. Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- Holdridge, R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA.
- Jara, C. (2003). «Comportamiento de nueve variedades y cinco líneas experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.)

- bajo riego en Tulumayo». Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Li, J.T. y col. (2011). «Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system». En: *Plant Soil Environ* 57.8, 351-356.
- Liquin, Z. y col. (2014). «Effects of different tillage and straw return on soil organic carbon in a rice-wheat rotation system». En: *PLOS one* 9.2, e88900. Online: <https://bit.ly/3R8lhoY>.
- Lv, Y. y col. (2015). «Phosphorus release from the soils in the Yellow River Delta: dynamic factors and implications for eco-restoration». En: *Plant, Soil and Environment* 61.8, 339-343. Online: <https://bit.ly/3LtsCro>.
- Lv, Z. y col. (2018). «Effects of 29-year long-term fertilizer management on soil phosphorus in double-crop rice system». En: *Plant, Soil and Environment* 64.5, 221-226. Online: <https://bit.ly/3S4tvzI>.
- MINAGRI-DGESEP (2018). *Arroz 2001-2017*. Ministerio de Agricultura y Riego-Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas.
- Morales, L. (2004). «Análisis estadísticos y geoestadísticos en diferentes estadios de algunas propiedades de un suelo bajo cultivo de arroz». Tesis doct. Universidad Nacional del Nordeste Argentina.
- Navarro, N. y col. (2001). «Degradación de los suelos arroceros, impacto ambiental». En: *Resumen del Congreso Latino Americano, XV Encuentro Cubano de la Ciencias del Suelo*.
- Navarro, V., R. Florida y V. Navarro (2018). «Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso». En: *Livestock Research for Rural Development* 30, 137. Online: <https://bit.ly/3QVeMW9>.
- Paredes, A. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica de la provincia de Alto Amazonas*. Inf. téc. Gobierno Regional de Loreto.
- Paredes, C. y V. Becerra (2015). *Producción de Arroz: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)*. Inf. téc. 306. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Pérez, N., M. González y R. Castro (2002). «Validación de nuevas variedades cubanas de arroz (*Oryza sativa* L.) para la provincia de Pinar del Río». En: *Cultivos Tropicales* 23.2, 51-54. Online: <https://bit.ly/3BX284X>.
- Pulgar, V. (2014). «Las ocho regiones naturales del Perú». En: *Terra Brasilis (Nova Série)* 3, 1-20. Online: <https://bit.ly/2Ghsinm>.
- Quevedo, Y., J. Beltrán y E. Barragán (2019). «Identification of climatic and physiological variables associated with rice (*Oryza sativa* L.) yield under tropical conditions». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 72.1, 8699-8706. Online: <https://n9.cl/6w52p>.
- Ramírez, J., V. Hoyos y G. Plaza (2017). «Weed population dynamics in rice crops resulting from post-emergent herbicide applications». En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 70.1, 8035-8043. Online: <https://bit.ly/3f9WNOR>.
- Ruiz, M., G. Díaz y R. Polón (2005). «Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.)». En: *Cultivos Tropicales* 26.2, 45-52. Online: <https://bit.ly/3xHyHBf>.
- Ruiz, M., Y. Muñoz y R. Polón (2016). «Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial». En: *Cultivos Tropicales* 37.3, 178-186. Online: <https://n9.cl/8zw6c>.
- Sanjinez, S. (2019). «Sustentabilidad del agroecosistema del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en Tumbes». Tesis doct. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Soil Taxonomy (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Stehlíková, I. y col. (2016). «Study on some soil quality changes obtained from long-term experiments». En: *Plant, Soil and Environment* 62.2, 74-79. Online: <https://bit.ly/3dwIbbK>.
- Tinoco, R y A. Acuña (2009). *Cultivo de arroz (Oriza sativa)*. Manual de recomendaciones técnicas. Online: <https://bit.ly/3BrYYVg>. INTA.
- Vignola, R. y col. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en costa rica cultivo de arroz*. Online: <https://bit.ly/3QZTC9w>. INTA.
- World Climate Data (2020). *Clima de Yurimaguas*. World Climate Data-CLIMATE-DATA.ORG.
- Zhang, J. y col. (2009). «Effect of long-term application of manure and mineral fertilizers on nitrogen mineralization and microbial biomass in paddy soil during rice growth stages». En: *Plant Soil Environ* 55.101, e109. Online: <https://bit.ly/3qUVPIB>.



# RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA SOBRE DEPÓSITOS DE RELAVES: CASO DE ESTUDIO APLICADO A LA CONCESIÓN MINERA RÍO BLANCO, ECUADOR

## GEOMORPHOLOGICAL RESTORATION ON TAILING DEPOSITS: A STUDY CASE APPLIED TO THE RIO BLANCO MINING CONCESSION, ECUADOR

Raúl Andrés Moreno Farfán 

*Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid, España.*

\*Autor para correspondencia: [rmorenofarfan0@gmail.com](mailto:rmorenofarfan0@gmail.com)

Manuscrito recibido el 30 de marzo de 2021. Aceptado, tras revisión, el 14 de diciembre de 2021. Publicado en versión temprana el 1 de diciembre de 2022. Publicado el 1 de marzo de 2023.

### Resumen

Con el fin de contribuir al desarrollo de una industria minera sostenible, de bajo impacto ambiental, que minimice posibles conflictos sociales asociados a esta actividad, este estudio da a conocer: 1) cómo aplicar el concepto de restauración geomorfológica sobre espacios degradados, para establecer propuestas de integración geoambiental, enfocadas a la restauración de zonas mineras alteradas por el depósito de relaves del proyecto minero Río Blanco, provincia del Azuay-Ecuador, basadas en el modelamiento con el método GeoFluv y el software Natural Regrade; y 2) un análisis de los aspectos generales de la actividad minera en el Ecuador, sus precauciones, y la problemática ambiental que pueden presentar los depósitos de relaves. Como resultado se obtuvo un diseño estable que imita condiciones naturales, en el que a pesar de perder una capacidad de almacenamiento del 15% en relación con el diseño convencional, logra maximizar el volumen de relaves a acumular, aumentando significativamente la estabilidad e integración ambiental que tendría el depósito.

**Palabras clave:** Restauración geomorfológica, modelación del terreno, integración ambiental, depósitos de relaves, minería, ambiente.

### Abstract

This study presents two separate assessments to contribute to the development of a sustainable mining industry with low environmental impact that minimizes possible social conflicts related with this activity. The first is how to apply the concept of geomorphological restoration on degraded spaces to establish geoenvironmental integration proposals, focused on the restoration of mining areas altered by the tailing deposit of the Río Blanco project, Azuay province-Ecuador, based on the modeling with GeoFluv method and the Natural Regrade software. The second is an analysis of the general aspects of the mining activity in Ecuador, its cautions, and the environmental problems that could show

tailing deposits. The main result of the current study has been a stable design that simulates natural conditions, which although it loses a storage capacity of 15% relative to the conventional design, it maximizes the volume of tailings to be accumulated. This significantly increases the stability and environmental integration that would have the tailing deposit.

**Keywords:** Geomorphological restoration, land modeling, environmental integration, tailings deposits, mining, environment.

---

Forma sugerida de citar: Moreno, R. (2023). Restauración geomorfológica sobre depósitos de relaves: Caso de estudio aplicado a la concesión minera Río Blanco, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 37(1):130-141. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.10>.

---

IDs Orcid:

Raúl Andrés Moreno Farfán: <http://orcid.org/0000-0001-8194-8386>

## 1 Introducción

Ecuador está ganando rápidamente terreno como destino de inversiones mineras en América Latina (Jamasmie, 2017). Recientemente Ecuador se ubicó en el puesto 92 de las 109 naciones más atractivas para captar inversionistas (Stedman, Yunis y Aliakbari, 2019). Nuevas campañas y marcos regulatorios han conllevado a un cambio de estrategia para una nación que tradicionalmente ha basado su economía en exportaciones petroleras y agrícolas (Verdugo y Andrade, 2018), en particular, con un promedio del índice de extractividad de materias primas del 36,93% entre el 2000 y el 2011 (Hailu y Kipgen, 2017). Entre 1999 y 2016 la participación del PIB minero respecto del PIB total estuvo entre 1,17% y 1,56%, con un incremento gradual en los últimos años entre 1,48% y 1,51% del 2013 al 2016 (Almeida, 2019). Inclusive, según estudios conservadores, la minería podría convertirse en un 4% del PIB (Vistazo, 2019).

Desde el año 2016, Ecuador recibió aproximadamente 420 solicitudes de concesión, de las cuales 160 ya han sido aprobadas, obteniendo una inversión de más de 100 millones de dólares para explorar áreas ricas en oro, cobre, plata y molibdeno (Jamasmie, 2017). En el país existe una superficie total de 105 000 hectáreas concesionadas para actividades mineras, distribuidas en siete provincias (BCE, 2021); donde, por ejemplo, en el año 2013 el estado ecuatoriano adjudicó a la empresa Ecuagoldmining South America S.A., el proyecto Río Blanco en la provincia del Azuay (Figura 1), con reservas por un total 991.000 onzas de oro y 4.7 millones de onzas de plata, recurso equivalente a una cantidad no inferior a 14.000 millones de dólares (Latinominería, 2012).

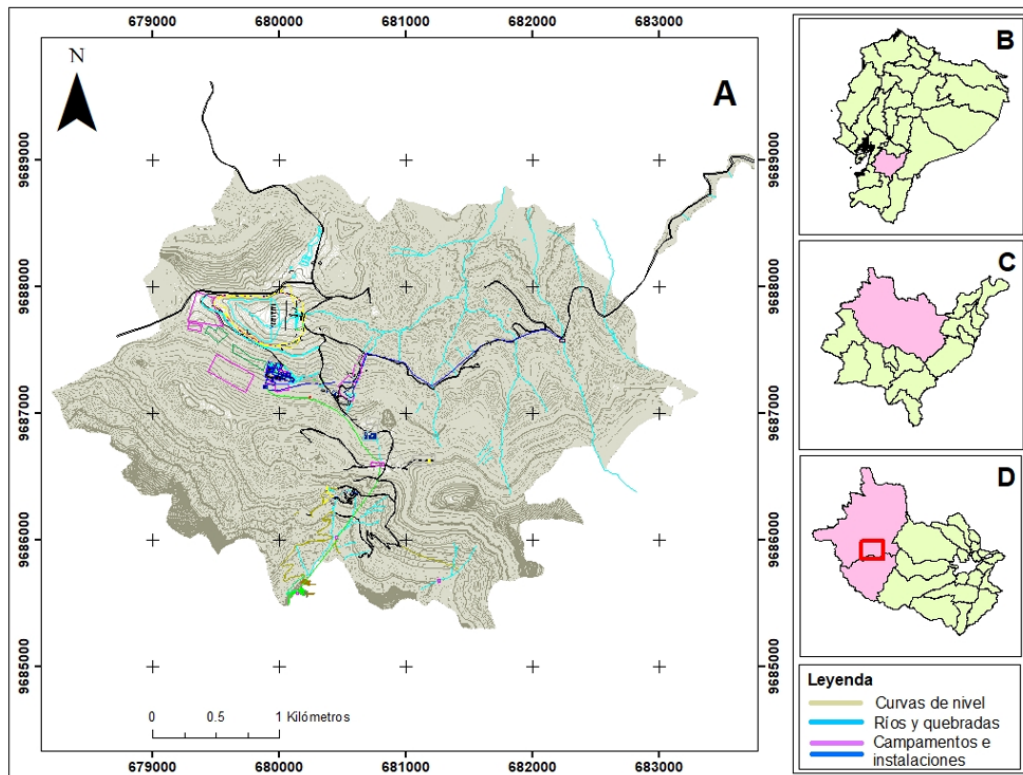
Aunque todo lo anteriormente expuesto es correcto en términos del desarrollo económico, hay que tener en cuenta que la minería ha generado situaciones problemáticas en su entorno (Vásconez y Torres, 2018). Los grandes proyectos extractivos no han estado exentos de controversias, siendo cuestionados por el no respeto a los derechos humanos y de la naturaleza (D'Angelo y Ruiz, 2018), derivando en conflictos sociales y suspensiones del tipo judicial (Ruiz, 2018), como lo suscitado en proyectos como Río Blanco o Quimsacocha (Massa-Sánchez, Cisne Arcos y Maldonado, 2018). Además,

cobra relevancia la localización de estos grandes proyectos mineros dentro de ecosistemas altamente frágiles, como en zonas de recarga hídrica, páramos y humedales (Environmental Justice Atlas, 2017). Consecuencia de ello, el 07 de febrero de 2021, mediante referéndum, el pueblo de la provincia de Azuay se pronunció por la prohibición de actividad minera extractiva metálica en áreas de cuencas hidrográficas de importante recarga hídrica (El Comercio, 2021). Según este contexto, la minería obligatoriamente debe considerar sus responsabilidades operativas, legales y éticas, debiendo aspirar a una compatibilidad con el respeto al medioambiente y la sostenibilidad, por ejemplo, mediante la explotación responsable de recursos, generando beneficios (ambientales, sociales y económicos) que igualen o superen los valores que existían antes de la explotación (Oyarzún y Oyarzún, 2011).

Por otro lado, el manejo de los residuos mineros o relaves (tailings) y su posterior tratamiento son dos factores de gran riesgo en términos ambientales que conlleva la minería (Oyarzún y Oyarzún, 2011), ya que su generación es mucho mayor que los productos económicos que produce. Por ejemplo, en el caso de una explotación de cobre (Cu) por cada tonelada de roca mineralizada solo se llegaría a extraer 10 kg del metal en el mejor de los casos. Esto significa que 990 kg de material serían residuos destinados a un depósito de relaves (Oyarzún, Higuera y Lillo, 2011), convirtiendo a esta actividad en una de las fuentes de contaminación por metales pesados más persistentes del planeta, debido a que: 1) su función es almacenar materiales sólidos resultantes de operaciones de separación y obtención de metales (Espín, Jarrín y Escobar, 2017), y 2) estos residuos necesitan ser almacenados dentro de grandes extensiones (Serrato, Díaz y Brotóns, 2010).

Sobre la problemática ambiental de los depósitos de relaves, destaca su potencial para generar drenaje ácido de mina (AMD: acid mine drainage), en especial en lugares donde se explotan yacimientos con presencia de sulfuros (Sarmiento, 2007), y que posteriormente son abandonados (Oyarzún y col., 2012). Además pueden presentarse roturas de diques de contención debido a su inestabilidad intrínseca (materiales plásticos con altos contenidos de agua) (Mudd y Boger, 2013) y de ahí, llegar a inundar vastas áreas de terreno (US EPA, 2015), y probablemente causar ingentes pérdidas humanas,

como el caso de Brumadinho, Sureste de Brasil, ocurrida el 25 de enero de 2019, donde hubo 257 personas fallecidas y más de 182 desaparecidos (Pereira, Barros Cruz y Guimarães, 2019).



**Figura 1.** A (mapa general del proyecto minero Río Blanco), B (ubicación de la provincia de Azuay en la República del Ecuador), C (ubicación del cantón Cuenca en la provincia de Azuay) y D (ubicación del proyecto minero en las parroquias de Molleturo y Chaucha, cantón Cuenca).

Estos depósitos generalmente cuentan con el clásico diseño llamado “aguas arriba”, el cual presenta una serie de problemas de estabilidad (WISE, 2019) como: 1) que el suelo sobre el que se asienta no sea el adecuado, de manera que puede haber infiltración de agua y a partir de ahí ceder la base del dique, como ocurrió en Aznalcóllar (Sevilla, España el 25 de abril de 1998) (Rodríguez y col., 2009), 2) una mala respuesta ante la actividad sísmica (tema relevante en Ecuador) (Oldecop y Rodríguez, 2007), y/o 3) la subida del nivel del agua, llevando a dos situaciones: una donde el peso del agua puede inducir fenómenos del tipo deslizamiento rotacional cerca del dique, con pérdida total o parcial del mismo; y la otra donde el agua supera el dique de contención, erosiona el o los diques sucesivos causando la rotura de estos (Owen y col., 2020).

Por otra parte, es difícil pensar en una actividad humana sobre el territorio que no implique mover tierra o realizar cambios sobre las primeras capas del suelo, reemplazando ecosistemas que una vez contribuyeron a generar suelos fértiles con otros que no lo hacen (Daily y Ehrlich, 1992). Bajo este contexto cobra relevancia la aplicación de la restauración geomorfológica, disciplina reciente y aplicada a actividades “mueve tierras” como minería, infraestructuras lineales, obra civil, urbanismo, creación de espacios verdes, etc. Actualmente, esta disciplina se ha convertido en una herramienta al servicio del sector minero (Villa y Martín Duque, 2018) debido a que es una actividad que transforma drásticamente el relieve, y donde las restauraciones permiten reconstruir nuevas geoformas, paisajes y ecosistemas (Universidad Complutense Madrid,

2021), como también crear propuestas de integración ambiental, que tiendan a la sostenibilidad (Zapico y col., 2011), y ayuden a reducir en cierto grado los impactos inherentes a esta actividad (Bastidas-Orrego y col., 2018).

En este sentido el método GeoFluv (patentado en EEUU) (GeoFluv, 2021) y el software Natural Regrade desarrollado por Carlson Software Inc (2020), constituyen una de las herramientas más avanzadas y completas a nivel internacional para el diseño de geoformas maduras y estables que imitan condiciones naturales (Martín Duque y col., 2012) y que son aplicados en espacios afectados por movimientos de tierras (Martín Duque y Bugosh, 2017). Este estudio muestra la aplicación del método GeoFluv sobre el depósito de relaves de la concesión minera Río Blanco, Ecuador, con el objetivo de obtener un diseño geomorfológico conceptual y estable, que sea integrado ambientalmente, y que imite condiciones naturales.

## 2 Materiales y Métodos

Este apartado abordará el tratamiento inicial y las operaciones de depuración de la información de partida, seguido de la realización del modelo de restauración sobre el depósito de relaves mediante la utilización del método GeoFluv y el software Natural Regrade, y finalmente la definición de los parámetros de diseño utilizados en el modelamiento geomorfológico del terreno.

### 2.1 Tratamiento inicial de la información

El punto de partida del estudio inició con el tratamiento de la información general del proyecto en formato CAD facilitada por la empresa encargada (Terrambiente Consultores, 2012; Terrambiente Consultores, 2016). A partir de ella se emplearon métodos de selección y edición de objetos, realizando algunas operaciones iniciales de depuración de la información (control de calidad), como: limpieza de información repetida, recorte de espacios idóneos de trabajo, entre otros. Al finalizar se obtuvo un mapa simplificado de la zona de interés (Figura 1A). La topografía general del proyecto se detalló mediante curvas de nivel con cotas, excepto el depósito de relaves, el cual no ofrecía cotas pues venía representado con polilíneas 2D. Por ello, un pa-

so inicial fue otorgar cotas a las líneas que definen este depósito, convirtiendo las polilíneas 2D a 3D. A nivel informativo, la coronación de este depósito de relaves se sitúa a 3.763 m.s.n.m

### 2.2 Diseño de base del depósito de relaves

Nos enfocamos en el diseño del depósito de relaves a partir de la información depurada en el software Natural Regrade. Mediante la gestión de capas se introdujo: 1) límite de la superficie objeto de restauración, simulando el borde de una cuenca hidrográfica, 2) trazado general de los canales fluviales y 3) parámetros de diseño (settings). En la Figura 2 las líneas azules representan las polilíneas 2D del depósito de relaves propuesto por la empresa concesionaria, y las líneas blancas del interior y las que lo rodean representan el límite de la cuenca de diseño y el trazado de los canales fluviales, respectivamente. Finalmente, dentro del proceso preparatorio se realizó un TIN (triangular irregular network, en español: redes irregulares de triángulos) inicial. A partir de esta información base, se pudo comenzar con la realización y definición de una serie de diseños.

### 2.3 Parámetros de diseño de restauración

Respecto a los parámetros (Tabla 1), aplicando el software Natural Regrade (Carlson Software Inc, 2020), se destaca que la mayoría de estos se obtuvieron de un referente o análogo local. Aunque la adquisición completa de estos datos fue limitada debido al intenso trabajo de campo que se requiere, los parámetros restantes se obtuvieron de proyectos similares (Martín Duque y col., 2012), pudiendo obtenerse un diseño conceptual de restauración, el cual, en caso de que sea adoptado como solución de restauración, deberá ser validado posteriormente con datos locales.

## 3 Resultados y discusión

Esta sección muestra los resultados del diseño de restauración sobre el depósito de relaves, utilizando el método GeoFluv y el software Natural Regrade, destacando los valores de corte y relleno, además del análisis de pendientes y orientaciones que identifica de manera cuantitativa la variación entre los diseños, y finalmente aborda la discusión resultante del presente estudio.



### 3.1 Resultados del diseño de restauración

La prioridad del diseño fue buscar morfologías estables que maximicen el volumen de materiales de relave a almacenar. Aquí se realizaron operaciones tales como cambiar ajustes en el programa y limitar la cantidad de afluentes, para así procurar generar menos valles (espacio que no acumula relaves con respecto al diseño convencional), distribuir y equi-

librar los canales, disminuir el valor de la pendiente de cabecera de los canales, o maximizar el tramo convexo de las laderas (Figura 3). Finalmente, se obtuvo un diseño de restauración cuyos resultados se detallan en la Tabla 2. Con el diseño propuesto se pierden  $80\,548,35\text{ m}^3$  de capacidad de almacenamiento de relaves con respecto al diseño convencional (original), equivalente a un 15% del total de residuos mineros (Tabla 2).

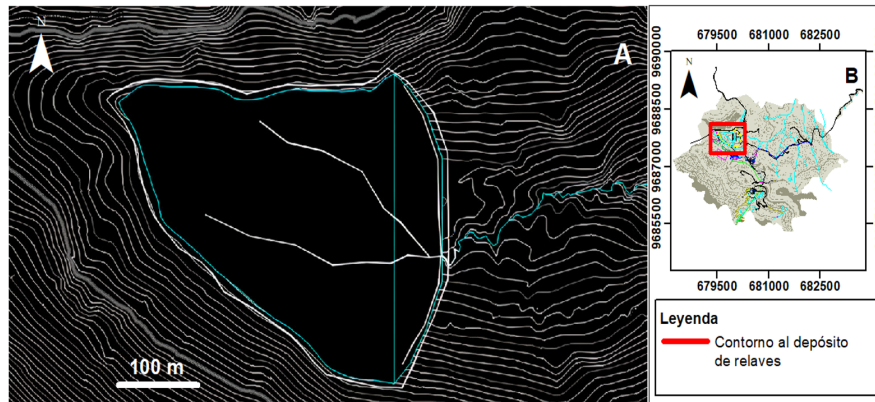


Figura 2. A (representación del mapa en formato CAD del entorno del depósito de relaves objeto del diseño de restauración y B (ubicación del depósito de relaves dentro del mapa general del proyecto minero).

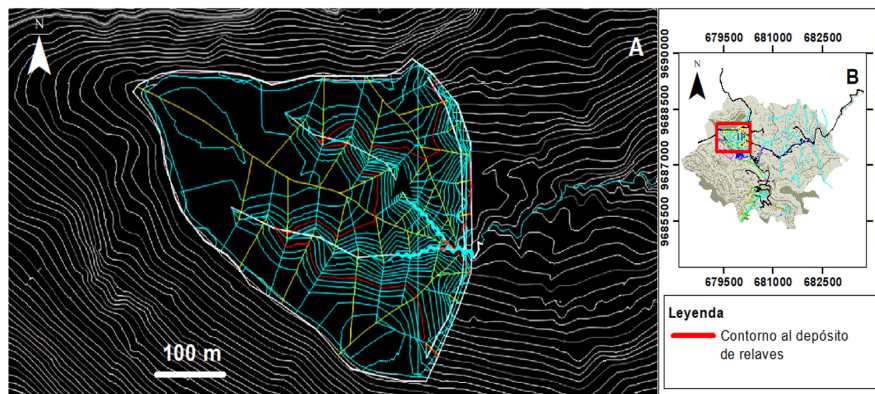


Figura 3. A (diseño final adoptado. En azul se muestran las curvas de nivel y los canales fluviales, y en rojo las curvas de nivel maestras), B (ubicación del depósito de relaves dentro del mapa general del proyecto minero).

En la Figura 4 se muestran una serie de vistas 3D, comparando imágenes del diseño convencional con sus equivalentes obtenidas en el diseño de restauración propuesto. Una de las condiciones que evidencian los resultados del diseño de restauración obtenido es que el mismo limita el volumen de rela-

ves a almacenar en comparación con el diseño original (convencional), equivalente a un embalse lleno, debido a que el programa Natural Regrade diseña paisajes con valles, lo que quiere decir que estos espacios suponen una reducción en la capacidad de almacenamiento. Para el caso de este estudio se ha

realizado un diseño que acumula un 15% menos de material de relaves, pero que es mucho más integrado y estable. No obstante, corresponderá a la em-

presa operadora la valoración de si esta reducción es viable o no.

**Tabla 1.** Parámetros utilizados en el diseño mediante el software Natural Regrade.

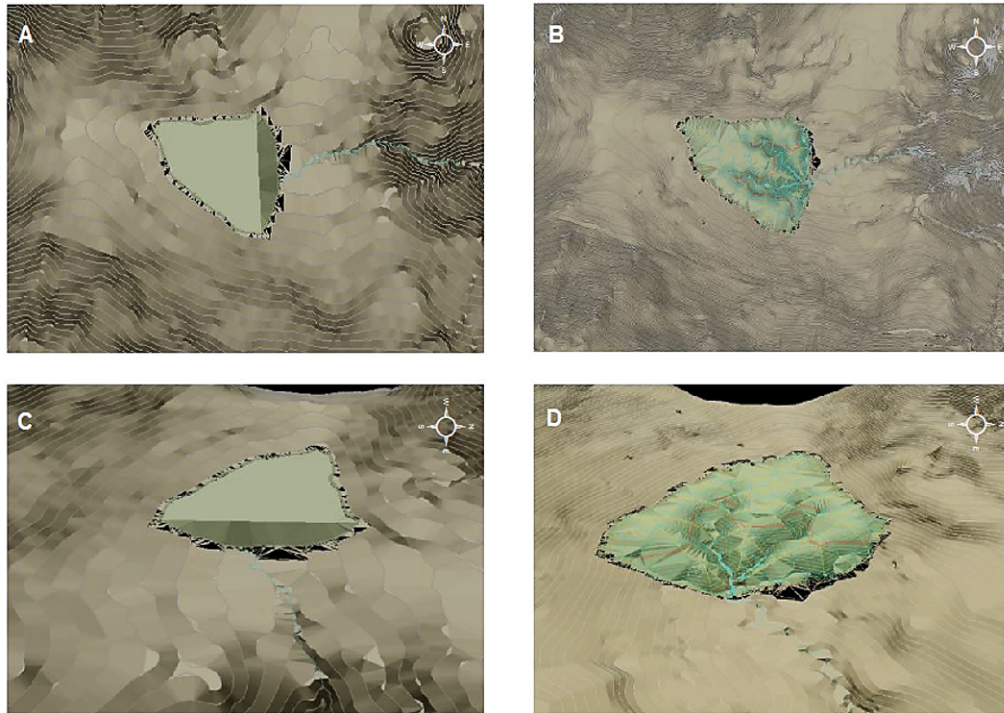
Parámetros	Unidades	Depósito de relaves
Distancia máxima entre los canales de conexión	m	3
Distancia máxima entre la línea de cresta hasta la cabecera del canal	m	45
Pendiente del valle principal hasta la desembocadura del canal primario	%	Se determinó con AutoCAD
Alcance del canal principal	m	36
2yr-1hr (valor para un evento de precipitación que determina las dimensiones del canal principal)	cm	2.15
50yr-6hr (valor para un evento de precipitación que determina las dimensiones del canal propenso a las inundaciones)	cm	8.92
Variación de la densidad de drenaje	%	20
Ángulo del subpunte a la perpendicular del canal (aguas arriba)	grados	10
Pendientes máximas en línea Norte - Este	%	20
Pendientes máximas en línea recta	%	33
Variación máxima de corte / llenado	%	125
Variación máxima de corte / llenado	%	80
Factor de aumento global para el material cortado		1
Factor de reducción global para el material de relleno		1
Elevación tolerable en la cabeza del canal	m	1
Pendiente tolerable en la cabeza del canal	%	1
<b>Ajustes de canal</b>		
Velocidad máxima del agua	m/s	1.37
Pendiente (aguas arriba)	%	-12
Pendiente (aguas abajo)	%	Se determino con AUTOCAD
Relación ancho - profundidad	pendiente>0.04	10
Sinuosidad	pendiente >0.04	1.15
<b>Cuenca hidrográfica</b>		
Coefficiente de escorrentía (zonas recuperadas)		0.3
Coefficiente de escorrentía (zonas sin vegetación)		0.89

Según la información del mapa general de implantaciones de beneficio del proyecto minero Río Blanco, realizado por Ecuagoldmining South America S.A., la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves de la zona sería de 804000 m<sup>3</sup> (Te-

rrambiente Consultores, 2012; Terrambiente Consultores, 2016). Sin embargo, en nuestra cuantificación, realizada con topografía precisa y empleando el software Carlson, la capacidad del depósito es de 535273,5 m<sup>3</sup>, tomando como resultado válido este

último. Dado el riesgo ambiental que presentan los depósitos de relaves, en cuanto a: 1) estabilidad estática y dinámica; 2) efectos asociados a la respuesta sísmica (Vanegas, 2011); y drenaje ácido de roca (ARD), el tomar como referencia el resultado de la cuantificación obtenida con el diseño de restauración de este estudio implica trabajar con una cantidad menor de residuos, priorizando la seguridad, y teniendo un menor riesgo de roturas.

En el caso de una aplicación real, se podría contrastar los resultados obtenidos con el diseño de restauración con la información de la empresa operadora, y de ser necesario corregir la magnitud en relación con la capacidad de almacenamiento. En este aspecto se podrían comparar los pros y contras entre los métodos utilizados, tema que sería cubierto en un futuro tema de investigación.



**Figura 4.** A y B (muestran una comparación de diseños vistos desde planta), C y D (presentan una comparación de diseños entre vistas frontales).

**Tabla 2.** Datos sobre volúmenes de la versión de diseño seleccionada.

Descripción	Cantidad ( $m^3$ )
Capacidad de almacenamiento del depósito original	535 237,50
Corte (capacidad que no almacena el diseño geomorfológico con respecto al convencional sobre todo por los valles)	142 739,00
Relleno (material que el diseño geomorfológico puede acumular “de más”, con respecto al convencional, al acumular material en las lomas de los interfluvios)	62 190,00
Diferencia “corte-relleno”. Es decir, volumen de relaves que el diseño geomorfológico deja de acumular con respecto al diseño convencional	80 548,35

### 3.2 Resultados del análisis de pendientes y orientaciones

Como información complementaria al estudio de restauración, se realizó el análisis de pendientes y orientaciones, tanto para el diseño convencional como para el propuesto, donde se muestra de manera cuantitativa (porcentajes de las distintas clases) la variación entre los dos diseños. Con respecto al Análisis de Pendientes: en el diseño convencional (original) se obtiene una escasa variación de rangos o clases (Tabla 3). Por el contrario, en el diseño propuesto se evidencian porcentajes mayores, resultando en una mayor superficie de hábitats (Tabla 4). Lo más destacado de este análisis es que se ha constatado que existe una gran diferencia de superficies reales del terreno (suma de las superficies de la red de triángulos) entre los diseños.

**Tabla 3.** Informe de pendientes, diseño convencional.

Informe de pendientes		
Pendiente promedio		4,40%
Rangos o clases de pendientes	Área (ha)	Porcentaje de la superficie total en dicho rango o clase de pendiente (%)
<10	7,76	83
10 a 20	0,12	1,4
20 a 30	1,46	15,7
30 a 40	0,00	0
>40	0,00	0
Total	9,36	100

**Tabla 4.** Informe de pendientes, diseño propuesto.

Informe de pendientes		
Pendiente promedio		9,90%
Rangos o clases de pendientes	Área (ha)	Porcentaje de la superficie total en dicho rango o clase de pendiente (%)
<10	11,94	60,53
10 a 20	5,62	28,5
20 a 30	1,85	9,38
30 a 40	0,29	1,47
>40	0,02	0,12
Total	19,88	100

Respecto al Análisis de Orientaciones: en el diseño convencional se obtiene poca variabilidad, ya que el depósito es mayoritariamente plano, con su

pared de cierre orientada hacia el Este (Tabla 5, Figura 4). El diseño de restauración propuesto cuenta con una mayor diversidad, lo cual es considerado favorable ya que implica tener una mayor diversidad biológica, dado que algunas especies tendrán una mayor posibilidad de establecerse en determinadas orientaciones, en función de distintos factores físicos (luz, humedad, etc.) (Tabla 6).

### 3.3 Discusión

De modo progresivo Ecuador se está convirtiendo en un país que ha adoptado a la minería como fuente de recursos económicos, vía impuestos, regalías y empleo, apoyando la exploración y explotación de diversos proyectos mineros. Sin embargo, la actividad minera sigue generando cierta desconfianza y temor en un contexto en el que la preocupación por los aspectos ambientales y sociales cobran cada vez más importancia, lo cual se ha observado en protestas en contra del extractivismo, en especial si estos proyectos se localizan en zonas ambientalmente sensibles. Conociendo el riesgo que se asocia a la minería, este puede ser minimizado aplicando propuestas de integración ambiental y restauración de zonas alteradas por movimientos de tierras. Mediante la aplicación de nuevos métodos y programas informáticos, como el método GeoFluv y el software Natural Regrade, se puede contribuir a desarrollar una minería compatible con el desarrollo sostenible, de tal manera que genere beneficios a largo plazo en términos ambientales, sociales y económicos.

Uno de los grandes problemas que conlleva la actividad minera en todas sus escalas es la disposición y posterior tratamiento de los depósitos de relaves o tailings. En el caso del proyecto minero Río Blanco, se considera rellenar un valle natural de alta montaña (corona del depósito de relaves situada a 3.763 m.s.n.m.) con estos residuos. Según la bibliografía consultada, esto no es recomendable desde el punto de vista ambiental y geomorfológico, siguiendo las técnicas y diseños convencionales, como del llamado "aguas arriba", el cual presenta una serie de problemas de estabilidad (roturas). Además, según información recolectada sobre los estudios mineralógicos del proyecto (Terrambiente Consultores, 2012; Terrambiente Consultores, 2016) en la zona existe la presencia de Pirita ( $FeS_2$ ), sulfuro metálico que bajo ciertas condiciones ambienta-

les de humedad y oxidación puede llegar a provocar la liberación de metales pesados y generar drenaje ácido de mina (AMD) (Gray, 1997). Inclusive, el potencial contaminante de este fenómeno geoquímico continúa incluso mucho tiempo después de cesada la actividad. Las cubiertas son las técnicas utilizadas ante riesgos de rotura y protección ambiental, que impiden que los relaves entren en contacto con el exterior, pero estas cubiertas no serían del todo efectivas, ya que se han suscitado desastres mineros que contaban con esta metodología (Lottermoser, 2013). Por ello, adicional al sistema de cubierta, es recomendable aplicar el método GeoFluv y el software Natural Regrade, el cual permite diseñar y construir geoformas diversas, como valles, por los que discurre una red de drenaje, además de otros conjuntos que imitan condiciones naturales, diseñados para responder de manera segura ante episodios extraordinarios de lluvia, haciéndolos más estables ante la infiltración de agua, y el efecto de la erosión hídrica y fluvial.

**Tabla 5.** Informe de orientaciones, diseño convencional.

Informe de orientaciones		
Zona	Área (ha)	Porcentaje de superficie (%)
Norte	0,26	2,83
Nordeste	0,51	5,46
Este	2,49	26,65
Sudeste	0,56	5,99
Sur	0,38	4,05
Sudoeste	2,04	21,87
Oeste	1,79	19,17
Nordeste	1,30	13,93
Total	9,36	100,00

Los métodos convencionales de restauración minera se enfocan en dos aspectos: 1) el diseño topográfico convencional de berma-talud-cuneta y 2) el aspecto estético realizado mediante la revegetación; estos han tenido resultados insatisfactorios en distintos lugares del mundo, ya que este tipo de topografía (que no existe en la naturaleza) no tiene la capacidad necesaria para evacuar valores altos de escorrentía, lo cual forma regueros y cárcavas con elevadas tasas de erosión y emisión de sedimentos, además siendo escasa su integración paisajística debido a sus formas rectilíneas (Nicolau y col., 2021). Ahora bien, desde el año 2005, el método GeoFluv y el software Natural Regrade fueron aplicados sobre restauraciones mineras, reemplazando a los métodos convencionales principalmente en Estados Unidos, además de otros como la reconstrucción del

relieve de la cantera La Revilla o el Alto Tajo (España), o de grandes minas de carbón como Drayton South (Australia), y en Sudamérica, La Guacamaya y Puerto Libertador (Colombia) y la Mina Invierno (Chile), teniendo resultados favorables en términos de estabilidad y disminución de la erosión y sedimentos (Hancock, Duque y Willgoose, 2020). En este sentido la restauración geomorfológica debe y puede aproximar su aplicación sobre la problemática intrínseca de los depósitos de relaves.

Cabe señalar que, hasta la fecha, no existe ningún caso real (ni siquiera en fase de proyecto), que contemple utilizar estos métodos sobre depósitos de relaves en alta montaña. De ahí la importancia potencial que puedan tener los resultados obtenidos en este estudio, en concreto poniendo en práctica la metodología y herramientas descritas para mejorar la integración ambiental del proyecto en términos de reducción de riesgos, disminución del impacto ambiental e integración ecológica y paisajística, y de modo subsecuente, mejorar la imagen de la empresa desde el punto de vista operativo y social.

Para proceder al cese de una actividad minera y el cierre del depósito de relaves, se debe aplicar un sistema de cobertura, cuyo objetivo es mantener los relaves lo más estables posibles (en términos químicos), evitando la formación de drenaje ácido de mina (Matos y col., 2016), sistema de cobertura imprescindible a la hora de complementar una restauración geomorfológica. La propuesta de un sistema de cubierta no fue abordada en este estudio, dejando abierta una futura línea de investigación.

**Tabla 6.** Informe de orientaciones, diseño propuesto.

Informe de orientaciones		
Zona	Área (ha)	Porcentaje de superficie (%)
Norte	2,91	14,79
Nordeste	5,08	25,79
Este	3,03	15,39
Sudeste	2,93	14,89
Sur	3,76	19,09
Sudoeste	1,18	6
Oeste	0,42	2,15
Nordeste	0,36	1,87
Total	19,73	100,00

## 4 Conclusiones

La propuesta de restauración geomorfológica realizada en el presente estudio ofrece un resultado óptimo, capaz de proporcionar una máxima estabilidad e integración ambiental con sólo una reducción del 15% de la capacidad total de almacenamiento. Dado que no existen diseños o proyectos aplicados con el método GeoFluv y el software Natural Regrade para depósitos de relaves, hubo aspectos desconocidos, como el aporte (condición imprescindible) de tener que colocar una serie de canales perimetrales en la parte frontal del depósito (presa). La cuantificación del incremento de la superficie real del terreno que se produce entre diseños (culminación plana y plano inclinado en la presa, con respecto a una topografía compleja con valles, lomas, laderas, etc.) llega a ser casi el doble.

Considerando que el proyecto minero se encuentra emplazado dentro de zonas sensibles de alta montaña y cercano a otras zonas de recarga hídrica, se debe tratar de realizar la mejor gestión extractiva posible, ya que un manejo inapropiado, como la falta de un control ambiental adecuado, podría desencadenar consecuencias ambientales desastrosas para el medio natural y social. Por tanto, la metodología aplicada con GeoFluv y Natural Regrade en el proyecto minero Río Blanco contribuye a minimizar el riesgo ambiental asociado.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid, en especial al Profesor José F. Martín Duque y al Profesor Roberto Oyarzún Muñoz, por su tutoría en la realización del presente estudio. Además, se agradece a la empresa Ecuagoldmining South América S.A. por su colaboración al proveer la data original de diseño para su procesamiento.

## Referencias

Almeida, M. (2019). *Estudio de caso sobre la gobernanza en el sector minero en el Ecuador*. Naciones Unidas.  
 BCE (2021). *Banco Central del Ecuador. Reporte de Minería, Resultados al tercer trimestre de 2020*. Inf. téc. Banco Central del Ecuador.

Bastidas-Orrego, L. y col. (2018). «Conflictos socioambientales y minería a cielo abierto en la Sierra Norte de Puebla, México». En: *Textual: análisis del medio rural latinoamericano* 72, 35-65. Online: <https://bit.ly/3NazrEi>.  
 Carlson Software Inc (2020). *Carlson Software 2020 Online help*.  
 Daily, G. y P. Ehrlich (1992). «Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity». En: *BioScience* 42, 35-65. Online: <https://bit.ly/3laJAVI>.  
 D'Angelo, J. y F. Ruiz (2018). «Extracción minera y derechos humanos: Impactos adversos y caminos hacia un desarrollo sostenible». En: *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo* 5.1, 105-123. Online: <https://bit.ly/3PhPimh>.  
 El Comercio (2021). *La prohibición de la minería en zonas cercanas a fuentes hídricas ganó en la consulta popular de Cuenca*.  
 Environmental Justice Atlas (2017). *International Minerals Corporation (IMC) in Molleturo, Ecuador*.  
 Espín, D., J. Jarrín y O. Escobar (2017). «Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco». En: *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* 2.4, 1-12. Online: <https://bit.ly/38kV8mw>.  
 GeoFluv (2021). *GeoFluv Software*.  
 Gray, N. (1997). «Environmental impact and remediation of acid mine drainage: a management problem». En: *Environmental geology* 30.1, 62-71. Online: <https://bit.ly/3FHavbt>.  
 Hailu, D. y C. Kipgen (2017). «The extractives dependence index (EDI)». En: *Resources Policy* 51, 251-264. Online: <https://bit.ly/3Pkr371>.  
 Hancock, G., J. Duque y G. Willgoose (2020). «Mining rehabilitation—Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands». En: *Ecological Engineering* 155, 105836. Online: <https://bit.ly/3yCUivY>.  
 Jamasmie, C. (2017). *Ecuador anticipates \$4 billion in mining investments by 2021*.  
 Latinominería (2012). *Ecuador-IMC decidió vender sus proyectos en Ecuador: Río Blanco y Gaby Ecuador – IMC decides to sell Rio Blanco and Gaby projects*.  
 Lottermoser, B. (2013). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. Springer Science and Business Media.  
 Martín Duque, J. y N. Bugosh (2017). *El remodelado del terreno en la restauración ecológica del espacio afectado por actividades mineras: del uso de criterios geomorfológicos al método geofluv*.  
 Martín Duque, J. y col. (2012). «Un procedimiento integrado de restauración ecológica con base geomorfológica. El ejemplo de la cantera de Somolinos (Guadalajara)». En: *Avances de la geomorfología en España, 2010-2012: actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*.

- Massa-Sánchez, P., R. del Cisne Arcos y D. Maldonado (2018). «Exploitation minière à grande échelle et conflits sociaux: une analyse pour le sud de l'Équateur». En: *Problemas del desarrollo* 49.194, 119-141. Online: <https://n9.cl/a2rkq>.
- Matos, A. y col. (2016). *Planning for closure 2016*. Online: <https://bit.ly/3wew8q8>. Gecamin Digital publications.
- Mudd, G. y D. Boger (2013). «The ever growing case for paste and thickened tailings—towards more sustainable mine waste management». En: *J. Aust. Inst. Min. Metall* 2, 56-59. Online: <https://bit.ly/3L6JpVO>.
- Nicolau, J. y col. (2021). *Otra aproximación a la restauración de canteras: La restauración geomorfológica, como base para una restauración ecológica exitosa*. Aragonito.
- Oldecop, L. y R. Rodríguez (2007). «Liquefacción de los relaves mineros. Riesgo ambiental». En: *V simposio nacional de seguridad minera y desarrollo sostenible*.
- Owen, J. y col. (2020). «Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure». En: *International journal of disaster risk reduction* 42, 101361. Online: <https://bit.ly/3l9mbnt>.
- Oyarzún, J. y R. Oyarzún (2011). *Minería sostenible: principios y prácticas*. GEMM.
- Oyarzún, J. y col. (2012). «Abandoned tailings deposits, acid drainage and alluvial sediments geochemistry, in the arid Elqui River Basin, North-Central Chile». En: *Journal of Geochemical Exploration* 115, 47-58. Online: <https://bit.ly/3laktSQ>.
- Oyarzún, R., P. Higuera y J. Lillo (2011). *Minería ambiental: una introducción a los impactos y su remediación*. GEMM.
- Pereira, L., G. de Barros Cruz y R. Guimarães (2019). «Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra». En: *Journal of Environmental Analysis and Progress* 4.2, 122-129. Online: <https://bit.ly/3MiutFu>.
- Rodríguez, R. y col. (2009). «Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales». En: *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* 12.24, 7-25. Online: <https://bit.ly/3NiRUPf>.
- Ruiz, V. (2018). *Judge orders Chinese Company to stop mining activities in Ecuadorian town*.
- Sarmiento, M. (2007). «Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de mina de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España)». Tesis de maestría. Universidad de Huelva. Departamento de Geodinámica y Paleontología.
- Serrato, F., A. Díaz y J. Brotóns (2010). «Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo, la sierra minera de Cartagena-la Unión (sureste de España)». En: *Cuadernos de turismo* 25, 11-24. Online: <https://bit.ly/3a3VVsx>.
- Stedman, A., J. Yunis y E. Aliakbari (2019). *Survey of mining companies 2019*. Fraser Institute.
- Terrambiente Consultores (2012). *Estudio de impacto ambiental proyecto minero Río Blanco, fase de explotación*. Terrambiente Consultores.
- (2016). *Estudio de impacto ambiental fase de beneficio proyecto minero Río Blanco*. Terrambiente Consultores.
- US EPA (2015). *Emergency Response to August 2015 Release from Gold King Mine*.
- Universidad Complutense Madrid (2021). *Restauración Geomorfológica*.
- Vanegas, F. (2011). «Respuesta sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto». Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Madrid.
- Vásquez, M. y L. Torres (2018). «Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud». En: *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina* 6.2, 83-103. Online: <https://n9.cl/7gm53>.
- Verdugo, N. y V. Andrade (2018). «Productos tradicionales y no tradicionales del Ecuador: Posicionamiento y eficiencia en el mercado internacional para el período 2013–2017». En: *X-pendientes Económicos* 2.3, 84-102. Online: <https://n9.cl/7p00s>.
- Villa, J. De la y J. Martín Duque (2018). «Restauración geomorfológica de espacios afectados por la minería en Castilla - La Mancha. Posibilidades de Aplicación a las explotaciones de áridos». En: *V Congreso Nacional de Áridos (2018)*.
- Vistazo (2019). *Cuidar los ingresos mineros*.
- WISE (2019). *Safety of Tailings Dams*.
- Zapico, I. y col. (2011). «Reconstrucción geomorfológica y de hábitats en el plan de restauración de la cantera "Lo Quebraderos de la Serrana"(Toledo, España)». En: *X-pendientes Económicos*, 501-508. Online: <https://n9.cl/70wcw>.

## 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 anónimo”.

Las fotos, ilustraciones y gráficas únicamente se presentan como figuras, y éstas, al igual que las tablas, deben incluir una descripción explicativa para cada una, ver manuscrito anónimo.

En el texto, toda tabla y figura deben ser nombradas, analizadas y discutidas resaltando los hallazgos más representativos y/o limitaciones del estudio. Cite dentro del texto Figura 6 o Tabla 1, por ejemplo. No abrevie la palabra figura o tabla.

Las figuras pueden ser dibujos lineales, mapas, o fotografías de medios tonos en blanco y negro o a color en resolución de 300 dpi, es decir el tamaño de la figura debe ser grande, apropiado para la publicación en formato de calidad. Cada figura debe ser adjuntada con el envío en formato TIFF, PNG o JPG enumeradas en el orden de aparición. Los autores deberán tomar en cuenta que las leyendas y ejes de las figuras deben ser perfectamente legibles tanto al ampliar como reducir la figura.

Diseñe las figuras para que se ajusten eventualmente al tamaño final de la revista 19,2 × 26,2 cm. Asegúrese de que las inscripciones o detalles, así como las líneas, tengan tamaños y grosores adecuados de tal manera que no queden ilegibles cuando sean reducidos a su tamaño final (números, letras y símbolos deben ser reducidos al menos a 2,5 mm de altura después que las ilustraciones han sido reducidas para ajustarse a la página impresa). Idealmente, las ilustraciones lineales deben ser preparadas a aproximadamente a un cuarto de su tamaño final de publicación, ejemplo: 4,7 × 6,5 cm.

Diferentes elementos en la misma figura deben ser deletreados a, b, c, d, etcétera. Las fotografías deben gravarse con alto contraste y en alta resolución. Recuerde que las fotografías frecuentemente pierden contraste en el proceso de impresión. Si las figuras han sido previamente usadas, es de responsabilidad única del autor el obtener el/los permisos correspondientes. Evite problemas posteriores relacionados con los derechos de autor.

#### **h. Conclusiones y Discusión:**

El apartado de Discusiones puede aparecer en los Resultados o en las Conclusiones, a preferencia del autor. Las Conclusiones resumirán los ha-

llazgos más importantes, relacionando las propias observaciones con estudios de interés, señalando aportaciones y limitaciones, sin redundar datos ya comentados en otros apartados. Asimismo, el apartado de discusión y conclusiones debe incluir las implicaciones y líneas para futuras investigaciones.

#### **i. Agradecimientos (opcionales):**

El *Council Science Editors* recomienda a los autor/es especificar la fuente de financiación de la investigación. Se considerarán prioritarios los trabajos con aval de proyectos competitivos nacionales e internacionales. En todo caso, para la valoración científica del manuscrito, este debe ir anonimizado con XXXX solo para su evaluación inicial, a fin de no identificar autores y equipos de investigación, que deben ser explicitados en la Carta de Presentación y posteriormente en el manuscrito final.

#### **j. Referencias:**

Las citas bibliográficas deben reseñarse en forma de referencias al texto. Bajo ningún caso deben incluirse referencias no citadas en el texto, ni tampoco deben ser incluidas citas solamente en el texto sin contener su respectiva referencia. Su número debe ser suficiente para contextualizar el marco teórico con criterios de actualidad e importancia. Se presentarán alfabéticamente por el primer apellido del autor, siguiendo el estilo Harvard, que se describe a continuación y/o que se puede presentar con el gestor de citas del procesador de texto utilizado.

### **3.2 Normas para las referencias**

#### **3.2.1 Como se cita en el texto**

Harvard es un estilo de citación que permite colocar los dos apellidos del autor (muchas veces éstos aparecen separados con un guión), si es que los presenta. Caso contrario se utiliza un solo apellido, como es usual en la tradición anglosajona.

**Un autor:** Samaniego (2012); (Samaniego, 2012); Valdés-Pérez (2016); (Valdés-Pérez, 2016); (Valdés Pérez, 2016); Valdés Pérez (2016).

**Hasta tres autores:** Samaniego, Vásquez y Torres (2010); (Samaniego, Vásquez y Torres, 2010).

**Más de tres autores:** Samaniego *et al.* (2010); (Samaniego *et al.*, 2010)

### 3.2.2 Referencias

**a. Artículo de revista (incluir siempre el DOI del artículo o en lo posible la dirección electrónica URL del artículo):**

Arnold, M. y Osorio, F. (1998) Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General del Sistemas. Revista Cinta de 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



*“Colores después de la tormenta”  
Luis Felipe Gualco Centeno (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)