



# CEDAMAZ

Julio - Diciembre 2023

Volumen 13

Número 2

Páginas 132 - 217

e-ISSN: 1390-5902



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja



**Julio - Diciembre 2023**

Volumen 13

Número 2

Páginas 132 - 217

e-ISSN: 1390-5902



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja



## AUTORIDADES

**Nikolay Aguirre, Ph.D.**  
Rector

**Elvia Zhapa, Ph.D.**  
Vicerrectora

## COMITÉ EDITORIAL

**Paúl Eguiguren, Ph.D.**  
**Director General**  
paul.eguiguren@unl.edu.ec

**Zhofre Aguirre, Ph.D.**  
**Editor Ejecutivo**  
zhofre.aguirre@unl.edu.ec

**Tatiana Ojeda Luna, Ph.D.**  
**Editora Ejecutiva**  
tatiana.oluna@unl.edu.ec

**Marina Mazón Morales, Ph.D.**  
**Editora en Ciencias Forestales, Biodiversidad y Medio Ambiente**  
marina.mazon@unl.edu.ec

**Rodrigo Abad Guamán, Ph.D.**  
**Editor en Ciencias Agropecuarias**  
rodrigo.abad@unl.edu.ec

**Amable Bermeo, M.Sc.**  
**Editor en Ciencias de la Salud y Biotecnología**  
bermeoa@unl.edu.ec

**Oscar Cumbicus Pineda, M.Sc.**  
**Editor en Ciencias Exactas e Ingenierías**  
oscar.cumbicus@unl.edu.ec

## COMITÉ CIENTÍFICO

**Nikolay Aguirre, Ph.D.**  
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

**Juan Maita, M.Sc.**  
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

**Natalia Samaniego, M.Sc.**  
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

**Aura Paucar-Cabrera, Ph.D.**  
Universidad Nacional de Loja (Ecuador)

**Helena España, Ph.D.**  
Escuela Politécnica Nacional (Ecuador)

**James Aronson, Ph.D.**  
Centro de Ecología Evolutiva (Francia)

**Pablo Lozano, Ph.D.**  
Universidad Estatal Amazónica (Ecuador)

**Selene Báez, Ph.D.**  
CONDESAN (Ecuador)

**Ximena Palomeque, Ph.D.**  
Universidad de Cuenca (Ecuador)

**Dennis Denis, Ph.D.**  
Universidad de La Habana (Cuba)

**John Lattke, Ph.D.**  
Universidade Federal do Paraná (Brasil)

**Jerónimo Torres, Ph.D.**  
Universidad de Córdoba (España)

**Dan Cogalniceanu, Ph.D.**  
Universidad de Bucarest (Rumanía)

**Pablo Cuenca, Ph.D.**  
IKIAM (Ecuador)

**Gretel Geada López, Ph.D.**  
Universidad del Pinar del Río (Cuba)

**Luis Ordoñez, M.Sc.**  
Corporación ECOPAR (Ecuador)

**Marlon Cobos, M.Sc.**  
Universidad de Kansas (Estados Unidos)

**Bolier Tores, Ph.D.**  
Universidad Estatal Amazónica (Ecuador)

**Fernando Gordillo, M.Sc.**  
Instituto Thünen (Alemania)

**Max Gonzáles, M.Sc.**  
Sociedad Ecuatoriana de Salud Pública (Ecuador)

**Diego Moya, M.Sc.**  
Grantham Institute SSCP-DTP (Reino Unido)

**Mario Heredia, Ph.D.**  
Humboldt Universität zu Berlin (Alemania)

**Aitor Soroa Echave, Ph.D.**  
Universidad del País Vasco (España)

**Itziar González-Dios, Ph.D.**  
Universidad del País Vasco (España)

**Lisset A. Neyra-Romero, M. Sc.**  
Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador)

La Revista Científica **CEDAMAZ**, es una revista multidisciplinaria, con revisión por pares (peer-review process) y de acceso abierto (open access license), dirigida a profesores, estudiantes, profesionistas e investigadores. Tiene como objetivo fomentar la comunicación científica y la colaboración entre personas y organizaciones involucradas en investigación y el desarrollo a nivel local, regional e internacional. La revista fomenta la transferencia del conocimiento científico de manera gratuita tanto para las y los autores, como para las y los lectores, a través de la divulgación de resultados de trabajos científicos originales, en un amplio rango de disciplinas que incluyen las siguientes áreas de investigación:

- Ciencias forestales, biodiversidad y medio ambiente.
- Ciencias veterinarias y agropecuarias.
- Ciencias de la salud y biotecnología.
- Ciencias exactas e ingenierías.

**CEDAMAZ** presenta información actualizada y pertinente a nivel regional e internacional destacando temáticas en experiencias forestales, biodiversidad, medio ambiente, veterinarias, agropecuarias, salud humana, biotecnología, ciencias exactas e ingenierías. Los trabajos o revisiones de literatura presentadas a **CEDAMAZ** no deben haberse publicado previamente en libros de memorias de un congreso o revistas

científicas arbitradas. Las presentaciones previas en un evento científico pueden publicarse en la revista **CEDAMAZ**, pero también estarán sujetos a un proceso de revisión por pares.

**CEDAMAZ** se publica en español o en inglés, desde el año 2019 dos veces al año, en un solo volumen. Las opiniones expresadas en documentos publicados en **CEDAMAZ** representan la opinión de los autores y no reflejan necesariamente la política oficial de **CEDAMAZ** o de sus Editores.

#### **Publicada por**

Univeridad Nacional de Loja

#### **Oficina Editorial**

Universidad Nacional de Loja. Av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa, La Argelia, 110150 Loja - Ecuador. <https://unl.edu.ec>

#### **Diseño de logotipo**

Lcda. Sara Jaramillo Carrión

#### **Edición**

M.Sc. Oscar M. Cumbicus-Pineda

Ph.D. Paúl Eguiguren

---

#### **CEDAMAZ**

E-ISSN: 1390-5902

PBX: (593) 07 - 2545100

<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz>

Esta obra esta sujeta a la licencia internacional CC BY-NC-ND 4.0 

# ÍNDICE

## ARTÍCULOS

### *CIENCIAS FORESTALES, BIODIVERSIDAD Y MEDIO AMBIENTE*

Capacidad de Carga Turística de las Playas “Ligüiqui” y “El Murciélago” del Cantón Manta, Ecuador Ricardo Castillo, Denisse Barcia y Romina Moreira	132
Análisis espacio temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) en el ecosistema bosque semidecíduo piemontano del Catamayo Alamor Raúl García, Aníbal González y César Benavidez -Silva	140
Identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares en poblaciones nativas de <i>Cinchona officinalis</i> en la provincia de Loja, Ecuador Yajaira Arévalo y Paúl Loján	148
Cambios microscópicos en la madera de 10 especies forestales de la ciudad de Loja, Ecuador Eva Fernanda Cueva Briceño y Darwin Alexander Pucha Cofrep	158
Diagnóstico de los conflictos fauna silvestre gente en el valle seco interandino de Vilcabamba, Andes del sur de Ecuador. Leonardo Ordóñez-Delgado, María José Salinas y Diana Maldonado	172
<h3><i>CIENCIAS VETERINARIAS Y AGROPECUARIAS</i></h3>	
Sustentabilidad de la apicultura en San Pedro de Vilcabamba, sur del Ecuador Bayron Cisneros y Deicy Lozano	182
Estudio de la actividad reproductiva en ovejas que habitan a nivel del trópico alto en el sur del Ecuador Edgar Aguirre-Riofrio	190
Influencia de diferentes estrategias de nutrición en la etapa reproductiva del café ( <i>Coffea arabica</i> ) en la Región Sur del Ecuador María Alvarez-Lino, Vinicio Ruilova, Rodrigo Abad-Guamán y Mirian Capa-Morocho	195
<h3><i>CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS</i></h3>	
Diseño e implementación de un sistema de control automático para iluminación: Regulación de la iluminancia artificial en función de la iluminación natural Josmani Pacheco-Macas, Raúl Chávez-Romero, Sara Chávez-Romero, Juan Chuncho-Morocho, Ivan Coronel-Villavicencio, Julio Gomez-Peña, Cristian Ortega-Reyes, Edwin Paccha-Herrera, Fernando Ramírez-Cabrera y Carlos Samaniego-Ojeda	205

# INDEX

## ARTICLES

### ***FOREST, BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL SCIENCES***

- Tourist Carrying Capacity of the “Ligüiqui” and “El Murciélago”**  
Ricardo Castillo, Denisse Barcia and Romina Moreira 132
- Spatial-temporal analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)  
in the semi-deciduous piedmont forest ecosystem of the Catamayo Alamor**  
Raúl García, Aníbal González and César Benavidez -Silva 140
- Morphological identification of arbuscular mycorrhizal fungi in native populations of  
*Cinchona officinalis* in the Loja province, Ecuador**  
Yajaira Arévalo and Paúl Loján 148
- Microscopic changes in the wood of 10 forest species from the city of Loja, Ecuador**  
Eva Fernanda Cueva Briceño and Darwin Alexander Pucha Cofrep 158
- Diagnosis of wildlife conflicts in the inter-Andean dry valley of Vilcabamba,  
southern Andes of Ecuador.**  
Leonardo Ordóñez-Delgado, María José Salinas and Diana Maldonado 172
- ### ***VETERINARY AND AGRICULTURAL SCIENCES***
- Beekeeping sustainability in San Pedro de Vilcabamba, southern Ecuador**  
Bayron Cisneros and Deicy Lozano 182
- Study of reproductive activity in ewes living at the high  
tropical level in South of Ecuador**  
Edgar Aguirre-Riofrio 190
- Influence of different nutrition strategies in the reproductive stage of coffee  
(*Coffea arabica*) in the Southern Region of Ecuador**  
María Alvarez-Lino, Vinicio Ruilova, Rodrigo Abad-Guamán and Mirian Capa-Morocho 195
- ### ***EXACT SCIENCES AND ENGINEERING***
- Design and implementation of an automatic control system for lighting:  
Regulation of artificial illuminance based on natural lighting**  
Josmani Pacheco-Macas, Raúl Chávez-Romero, Sara Chávez-Romero, Juan Chunchu-Morocho,  
Ivan Coronel-Villavicencio, Julio Gomez-Peña, Cristian Ortega-Reyes, Edwin Paccha-Herrera,  
Fernando Ramírez-Cabrera and Carlos Samaniego-Ojeda 205

# Capacidad de Carga Turística de las Playas “Ligüiqui” y “El Murciélago” del Cantón Manta, Ecuador

## *Tourist Carrying Capacity of the "Ligüiqui" and "El Murciélago"*

Ricardo Castillo<sup>1,\*</sup>, Denisse Barcia<sup>1</sup> y Romina Moreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador, ricardo.castillo@uleam.edu.ec, denissebarciag@hotmail.com, romi1410@hotmail.es

\* Autor para correspondencia: ricardo.castillo@uleam.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 30/08/2023    Fecha de aceptación del manuscrito: 06/12/2023    Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—La capacidad de carga turística (CCT) es un concepto multidisciplinario esencial para la planificación y gestión sostenible del turismo en destinos. En esta investigación se abordó la CCT en las playas El Murciélago y Ligüiqui del Cantón Manta, Ecuador. El estudio se centró en evaluar la capacidad de acogida considerando factores físicos, ambientales y de gestión. La metodología incluyó el cálculo de la Capacidad de Carga Física, Real y Efectiva, tomando en cuenta dimensiones de las playas, factores ambientales como erosión, anegamiento y precipitación; y aspectos de gestión como infraestructura, equipamiento y personal. Los resultados indicaron que El Murciélago posee una mayor capacidad de carga física debido a su mayor extensión al igual que una mayor capacidad de carga real al presentar menor proporción de áreas erosionadas. Respecto a la capacidad Efectiva, El Murciélago es más completo en infraestructura y servicios permitiéndole recibir una mayor proporción de visitantes en comparación Ligüiqui. Las conclusiones resaltan que, considerando tanto los aspectos naturales como de gestión en la planificación turística, la playa El Murciélago tiene la mayor CCT. Se sugiere abordar la erosión y mejorar la infraestructura en Ligüiqui podrían aumentar su capacidad. Los resultados de esta investigación proporcionan información vital para la sostenibilidad turística en ambas playas.

**Palabras clave**—Capacidad de carga, Impactos ambientales, Medio ambiente, Manejo.

**Abstract**—Tourist carrying capacity (TCC) is an essential multidisciplinary concept for the planning and sustainable management of tourism in destinations. In this investigation, the TCC was addressed in the El Murciélago and Ligüiqui beaches of the Manta Canton, Ecuador. The study focused on evaluating the reception capacity considering physical, environmental and management factors. The methodology included the calculation of the Physical, Real and effective loading capacity, considering dimensions of the beaches, environmental factors such as erosion, flooding and precipitation; and management aspects such as infrastructure, equipment and personnel. The results indicated that El Murciélago has a greater physical load capacity due to its greater extension, as well as a greater real load capacity by presenting a lower proportion of eroded areas. Regarding effective capacity, El Murciélago is more complete in infrastructure and services, allowing it to receive a higher proportion of visitors compared to Ligüiqui. The conclusions highlight that, considering both natural and management aspects in tourism planning, El Murciélago beach has the highest TCC. It is suggested that addressing erosion and improving the infrastructure in Ligüiqui could increase its capacity. The results of this research provide vital information for tourism sustainability on both beaches.

**Keywords**—Carrying capacity, Environmental impacts, Environment, Management.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante de la industria turística ha llevado a una mayor exploración y explotación de destinos naturales, incluyendo playas costeras. Sin embargo, esta expansión desenfrenada en el turismo no está exenta de consecuencias. La capacidad de carga turística (CCT), es un concepto fundamental en la planificación y gestión de destinos se ha convertido en un tema crucial para asegurar que los destinos mantengan su atractivo y valor a largo plazo (Zekan et al., 2022). Las consecuencias de ignorar la CCT pueden

manifestarse en la degradación ambiental, la pérdida de biodiversidad y la degradación de la calidad de la experiencia turística, lo que a su vez podría tener impactos negativos en la economía local y la satisfacción de los visitantes a largo plazo (Cornejo et al., 2019).

La CCT se refiere a la cantidad máxima de visitantes que un destino turístico puede soportar sin comprometer su integridad ambiental, sociocultural y económica (Long et al., 2022). Es un concepto complejo que depende de una serie de factores, incluyendo la naturaleza del destino turístico, el

tamaño y la densidad de la población turística, la duración de la visita, el tipo de actividades turísticas, la infraestructura turística y la gestión del turismo (Yusoh *et al.*, 2021).

Según Cifuentes (1992), la CCT será el máximo número de visitantes que un área protegida puede recibir, lo cual será afectado por las condiciones físicas, biológicas y de manejo presentes en el área en el momento del estudio. En este sentido, los elementos naturales y socioculturales adquieren valor en relación con la cultura y perspectivas de los usuarios, especialmente en cómo ellos conciben el uso de su tiempo libre y vacaciones. La valoración de estos elementos está influenciada por las preferencias y percepciones individuales de los visitantes (Salinas, 2008).

En Ecuador varios estudios muestran resultados de la CCT según las playas y la temporada, llegándose a reducir, en temporada baja, hasta la mitad la capacidad de carga en comparación con la temporada alta (Figueroa, & Molina, 2018; Gálvez-Izquieta, & Mendoza-Tarabó, 2020). Además, se ha abordado la importancia de este tipo de estudios para ser utilizados como herramienta para el desarrollo sostenible de playas (Suárez & Ramos, 2016).

En este contexto las playas Ligüiqui y El Murciélagos han adquirido un estatus prominente como destinos turísticos en el Cantón Manta (GAD Manta, 2023). A medida que más visitantes acuden a estas playas en busca de relajación y entretenimiento, la posibilidad de exceder la capacidad sostenible de los ecosistemas costeros y la infraestructura local es una preocupación primordial, lo que representa una serie de desafíos relacionados con la gestión de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la participación de las comunidades locales (Danely Poot & Segrado, 2019).

El turismo ejerce una presión cada vez mayor sobre las playas, por ende, es imperativo evaluar cómo las actividades turísticas impactan en los recursos naturales, las comunidades locales y la infraestructura existente. Esta evaluación se vuelve aún más relevante en un entorno ecuatoriano, donde la conservación de la biodiversidad y la promoción del turismo sostenible están en el centro de las políticas de desarrollo (Ministerio de Turismo de Ecuador, 2021; Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador, 2021; Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2023). Por lo tanto, el reto principal al abordar la capacidad de carga en las playas Ligüiqui y El Murciélagos radica en mantener un equilibrio delicado entre la creciente demanda turística, la conservación de los recursos naturales y culturales, y la calidad de la experiencia tanto para los visitantes como para la comunidad local.

En tal sentido, este trabajo tiene el objetivo de explorar y analizar la capacidad de carga turística de las playas Ligüiqui y El Murciélagos en el Cantón Manta, Ecuador. Mediante un enfoque multidisciplinario, que abarca aspectos ambientales y socioeconómicos, esta información permitirá comprender cómo delimitar las actividades turísticas actuales y proyectadas. Además, se examinarán las estrategias de gestión y planificación que se están implementando para generar insumos que busquen mantener un equilibrio entre el turismo y la preservación de estos valiosos ecosistemas costeros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

En proyecto se ejecutó en las playas Ligüiqui y El Murciélagos en el Cantón Manta, Ecuador. La playa Ligüiqui, situada en la zona rural de la provincia de Manabí, se encuentran ubicada en el huso UTM 513091 este y 9886556 sur. En contraste, El Murciélagos, una playa urbana emblemática, localizada cerca del centro de la ciudad en coordenadas geográficas 530088 este de latitud y 9896227 sur (Figura 1). Ligüiqui y Murciélagos, representan áreas de estudio clave para comprender el impacto del crecimiento turístico en entornos naturales. Ligüiqui, conocida por su exuberante biodiversidad marina y su importancia como área de anidación para diversas especies de tortugas marinas, enfrenta desafíos significativos debido al aumento constante de visitantes. La presión turística en Ligüiqui ha llevado a una potencial amenaza para los hábitats marinos y la reproducción de las tortugas. Por otro lado, la playa Murciélagos, reconocida por su belleza escénica y su importancia como santuario de aves migratorias, también experimenta tensiones debido al desarrollo turístico.

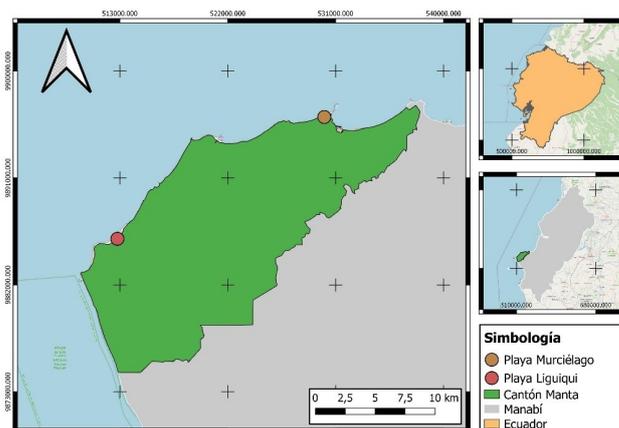


Fig. 1: Mapa de áreas de estudios.

### Capacidad de Carga Turística

La estrategia empleada para calcular la CCT se basó en el enfoque de Cifuentes *et al.* (1999), incluyendo las modificaciones presentadas por Fernández & Bértola (2014) y ajustado a las circunstancias específicas de este estudio.

El proceso de determinación de los valores de la CCT involucró un análisis en tres niveles distintos. En primer lugar, se realizó el cálculo de la capacidad de carga física (CCF), luego, se procedió con el cálculo de la capacidad de carga real (CCR) y, por último, se evaluó la capacidad de carga efectiva (CCE). Estos tres niveles presentan una relación en donde la CCF es mayor que la CCR y esta a su vez es mayor que la CCE.

### Capacidad de Carga Física

La CCF se establece como el punto culminante de visitas permitidas en el sitio en un solo día. Se fundamenta en la interrelación entre los elementos de visita, como los horarios y la duración de la estancia, junto con el espacio disponible y la requerida amplitud por cada visitante. Este concepto se

define como:

$$CCF = \frac{S}{SP} \times NV \quad (1)$$

Donde la variable “S” es la superficie disponible en metros cuadrados para cada playa, la cual se adquirió a través de imágenes satelitales de Google y procesada mediante la utilización de la herramienta Google Earth. La magnitud “SP” indica la superficie promedio en metros cuadrados utilizada por cada persona, fijada en 15m<sup>2</sup> en consonancia con la propuesta de Roig (2002) quien sugiera esta reducción para playas frecuentemente visitadas. El valor de “NV”, que denota el número de veces que una persona puede visitar la playa en un solo día, fue calculado mediante la fórmula:

$$NV = \frac{HV}{TV} \quad (2)$$

Aquí, “HV” representa el horario de visita a la playa (12 horas), estimado a partir del rango de horas de luz solar en Ecuador durante un año (Datos Mundial, 2023). Finalmente, “TV” señala el tiempo promedio de estadía en la playa que se estimó a través de encuestas de cuestionario cerrado utilizando la plataforma Microsoft Forms. El tiempo que las personas pasan en la playa se determinó siguiendo las recomendaciones metodológicas de Marshall et al. (2013) en el ámbito de investigaciones cualitativas. Dada la naturaleza de nuestro enfoque, alineado con la teoría fundamentada, optamos por realizar 30 entrevistas. Este número se sustenta en la recomendación general proporcionada por Marshall et al. (2013), quienes proponen que, como guía aproximada, los estudios cualitativos de teoría fundamentada deben incluir entre 20 y 30 entrevistas.

### Capacidad de Carga Real

La capacidad de carga real (CCR) se calculó al tomar en cuenta una variedad de variables que abarcan aspectos físicos, ecológicos y sociales. La determinación de la capacidad de carga real se logró mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$CCR = CCF (FC1 \times FC2 \times FC3 \times \dots \times FCn) \quad (3)$$

Los factores elegidos fueron adaptados para adecuarse a las particularidades geográficas y climáticas de las playas. Los factores de corrección (FC) se presentan en forma de probabilidad, representando la disminución aplicada a la capacidad de carga física (CCF). La determinación de estos factores se basó en la aplicación de la fórmula general que se describe a continuación:

$$FC = 1 - \frac{MI}{Mt} \quad (4)$$

En este contexto, se emplean las siguientes designaciones: “FC” corresponde al Factor de Corrección, “MI” se refiere a la Magnitud Limitante, y “Mt” indica la Magnitud Total. Los elementos considerados incluyen: el Factor de Precipitación, el Factor de Exposición Solar, el Factor de Erosión y el Factor de Anegamiento.

El Factor Precipitación (FCpp) requirió recopilar información sobre la cantidad total de días de lluvia durante el año

2021, basándose en los registros proporcionados por la estación meteorológica del Aeropuerto Eloy Alfaro en Manta (freemeteo, 2023). La fórmula utilizada para determinar este factor es:

$$FCpp = 1 - \frac{MI}{Mt} \quad (5)$$

Donde “FCpp” denota el Factor de Precipitación, “Magnitud limitante” representa los días de lluvia en la zona de estudio (38 días) y “Magnitud total” se refiere a los 365 días del año.

Para estimar el Factor de Exposición Solar (FCIsol) se recolectó información relativa al total de horas de luz solar durante el año 2021, procedente de los registros de Datos Mundial (2023). Para cuantificar la influencia de la exposición solar, se empleó la fórmula:

$$FCIsol = 1 - \frac{MI}{Mt} \quad (6)$$

En esta ecuación, “Mt” es la magnitud total, se refiere a la suma de los días en un año (365) multiplicados por las horas en un día (24), equivalente a 8 760 horas anuales. Por su parte, “MI” es la magnitud limitante, la cual representa la multiplicación de los días en un año (365) por las horas de ausencia de luz solar en un día (12), lo que resulta en 4 380 horas sin exposición solar al año.

Se procedió a calcular la extensión de la playa susceptible de erosión (FCero), empleando un enfoque de análisis in situ y georreferenciación de los sitios identificados. En este proceso, se establecieron dos niveles de magnitud de erosión: “Ma” para muestras de erosión evidentes, que fueron multiplicadas por un factor de ponderación de 1,5, y “Mn” para zonas con riesgo de erosión, que se multiplicaron por un factor de ponderación de 1. Una vez recopilados estos datos, se calculó el FCero mediante la siguiente fórmula:

$$FCero = 1 - \frac{(Ma \times FP) + (Mn \times FP)}{Mt} \quad (7)$$

El Factor de anegamiento (FCane) se evaluó mediante la siguiente fórmula:

$$FCane = 1 - \frac{Mn}{Mt} \quad (8)$$

Para esto se cuantificaron los metros cuadrados de playa propensos a inundaciones debido a las precipitaciones. Fueron calculados al analizar las depresiones identificadas durante recorridos en las áreas de estudio, las cuales fueron delimitadas con precisión mediante tecnología GPS. En este sentido, “Magnitud total” representó la suma total de metros cuadrados de la playa. Por otro lado, “Magnitud limitante” englobó la extensión de metros cuadrados que permanecían susceptibles a acumulaciones de agua.

### Capacidad de Carga Efectiva

La capacidad de carga efectiva (CCE) representa el máximo número de visitantes que pueden ser admitidos en un lugar específico en un día, considerando tanto la capacidad de administración de la playa como los servicios ofrecidos a los visitantes. La determinación de la capacidad de carga efectiva se logró mediante la siguiente fórmula:

**Tabla 1:** Factores de ponderación para evaluar la CG.. \*A: casetas de guardavidas; B: baños; C: iluminación; D: servicios de información; E: construcción balnearia; F: baños con vestuarios; G: carpas y sombrillas; H: señalización; I: facilidad de acceso; J: cestos de basura; K: quiosco; L: restaurante; M: espacios para actividades recreativas; N: capacitación ambiental; O: dotación adecuada; P: Jornada laboral coherente; Q: en regla con respecto a planes integrales costeros; R: normativa de construcciones balnearias.

Playas	Infraestructura										Equipamiento					Personal			Respaldo Jurídico	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		
Ligüiqui																				
El Murciélago																				

**Tabla 2:** Valoración de la CCF.

Playa El Murciélago	Playa Ligüiqui
NV= HV/TV	NV= HV/TV
NV= 12h/3h	NV= 12h/3h
NV= 4	NV= 4
CCF= (S/SP x NV)	CCF= (S/SP x NV)
CCF= (112 075 m <sup>2</sup> /15 m <sup>2</sup> x 4)	CCF= (20 213 m <sup>2</sup> /15 m <sup>2</sup> x 4)
CCF= 29 886 visitantes/día	CCF= 5 390 visitantes/día

$$CCE = CCR \times CG \tag{9}$$

Donde “CG”, que hace referencia a la capacidad de gestión y “CCR” representa la Capacidad de Carga Real evaluada previamente.

La valoración de la Capacidad de Gestión se basó en la presencia o ausencia de variables en cada factor (Tabla 1). Se evaluó como 1 la presencia de una variable, mientras que las variables faltantes se valoraron como 0. Para estimar este índice se usó la siguiente fórmula:

$$GC = \frac{\text{Total de variables presentes}}{\text{Total de variables evaluadas}} \tag{10}$$

## RESULTADOS

La estimación de la CCF se basó en el área de uso común identificada en cada playa (Figuras 2 y 3). Es notable que el espacio de uso común en la Playa El Murciélago es considerablemente más amplio que en la Playa Ligüiqui, lo que se traduce en una mayor CCF (Tabla 2).



**Fig. 2:** Área de uso, áreas erosionadas, áreas anegadas en la playa El Murciélago.

Los factores de corrección utilizados para evaluar la CCR variaron debido a las características geográficas de cada playa. Respecto al FCpp se estimó igual en ambas playas dado



**Fig. 3:** Área de uso, áreas erosionadas, áreas anegadas en la playa Ligüiqui.

**Tabla 3:** Factores de Corrección. \*FCpp: Factor precipitación; FClsol: Factor luz solar; FCero: Factor erodabilidad; FCane: Factor anegamiento.

Factores de corrección	Índices	
	Playa Ligüiqui	Playa Murciélago
FCpp	0,90	0,90
FClsol	0,50	0,50
FCero	0,47	0,76
FCane	0,91	0,98

que en los datos meteorológicos para el cantón Manta muestran que hubieron 38 días de lluvia (MI). La FCpp fue de 0,9 para ambas playas.

De manera similar, se calculó el FClsol obteniendo como magnitud total en 8 760 horas al año, mientras que la magnitud limitante relacionada con las horas sin luz solar ascendió a 4 380 horas al año. Como resultado, el FClsol se mantuvo constante para ambas playas (FClsol= 0,5) (Tabla 3).

Con relación al FCero, se determinaron valores distintos para la magnitud limitante, que es la suma de la Magnitud alta y la Magnitud media. La (Ma) de la playa El Murciélago se estimó en 18 067 m<sup>2</sup>, y la playa Ligüiqui en 6 758 m<sup>2</sup> (Figuras 2 y 3). En cuanto a la (Mn) los resultados también variaron: para la playa El Murciélago no evidenció, mientras que para la playa Ligüiqui el valor fue de 598 m<sup>2</sup>. El resultado del FCero fue, en la playa El Murciélago 0,76, y en la playa Ligüiqui fue de 0,47 (Tabla 3).

Para estimar el FCane se determinó que la magnitud limitante para la playa El Murciélago se calculó en 2 705 m<sup>2</sup>, mientras que en la playa Ligüiqui se obtuvo un valor de 1 732 m<sup>2</sup> (Figuras 2 y 3). Los resultados del FCane indicaron valores de 0,98 para la playa El Murciélago y de 0,91 para la playa Ligüiqui (Tabla 3).

Obtenidos los factores de corrección la CCR para el Murciélago se estimó en 10 016 visitantes al día y para Ligüiqui fue de 1 037 visitantes al día.

La capacidad de gestión se determinó en 0,88 para la playa El Murciélago y para la playa Ligüiqui fue 0,38. Esto debido a que en la playa El Murciélago se constató la presencia de 16 variables de las 18 evaluadas. Sin embargo, no se observó la existencia de capacitación ambiental ni de planes integrales costeros en esta zona. Por otro lado, en la playa Ligüiqui se identificaron un total de 4 variables en el factor de infraestructura, dos en equipamiento y una en respaldo jurídico (Tabla 4).

**Tabla 4:** Valoración de la CG. \*A: casetas de guardavidas; B: baños; C: iluminación; D: servicios de información; E: construcción balnearia; F: baños con vestuarios; G: carpas y sombrillas; H: señalización; I: facilidad de acceso; J: cestos de basura; K: quiosco; L: restaurante; M: espacios para actividades recreativas; N: capacitación ambiental; O: dotación adecuada; P: Jornada laboral coherente; Q: en regla con respecto a planes integrales costeros; R: normativa de construcciones balnearias.

Playas	Infraestructura								Equipamiento					Personal			Respaldo Jurídico	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Ligüiqui	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
El Murciélagó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1

Tras obtener los valores de CCF y CCR, se calculó la CCE, resultando en 8 814 visitantes por día para la playa El Murciélagó y 394 visitantes por día para la playa Ligüiqui.

## DISCUSIÓN

Se evidenció una notoria diferencia en la CCF entre la playa El Murciélagó y la playa Ligüiqui que se atribuye en primer lugar, a la mayor amplitud de la playa El Murciélagó lo cual proporciona un espacio más extenso para acomodar a los visitantes, lo que naturalmente se traduce en una capacidad de carga física más alta en comparación con la playa Ligüiqui (Roig, 2003). Esta característica brinda a los administradores de la playa la posibilidad de recibir y atender a un mayor número de turistas sin poner en riesgo la preservación del entorno natural y la calidad de la experiencia del visitante (Mangano, 2005; Chen & Teng, 2016).

Sin embargo, es esencial observar otro factor influyente que se manifiesta en la capacidad de carga. En la playa Ligüiqui, la presencia de zonas con piedras expuestas y la tendencia al movimiento de arena debido a los vientos y mareas pueden tener un impacto significativo en la distribución del espacio utilizable (López-Dóriga et al., 2019; Prieto & Díaz, 2021). Esta particularidad reduce, en varias épocas en el año, la cantidad de áreas disponibles para los visitantes, lo que a su vez afectaría la CCF de la playa limitando la cantidad de personas que la playa Ligüiqui puede acomodar de manera cómoda y sostenible (Soria-Díaz et al., 2022). Por lo tanto, conocer la CCF en diversas épocas del año permitirá gestionar de mejor forma el espacio disponible y fluctuante.

Respecto al análisis de la CCR, con el enfoque específico en el factor precipitación, mostró constancia en ambas playas brindando una perspectiva interesante sobre las condiciones climáticas con relación a la capacidad de carga. La igualdad en la magnitud limitante, en este caso representada por los 38 días de lluvia en el año 2021, destaca la importancia de considerar cómo este factor interactúa con otros elementos específicos de cada playa, ya que, las características geográficas y la infraestructura pueden influir en cómo la precipitación afecta el uso y disfrute de la playa por parte de los visitantes (R.-Teubes et al., 2020). Además, si bien la cantidad de días de lluvia puede ser constante, la intensidad y duración de las lluvias pueden variar, lo que también podría influir en la experiencia de los turistas (Aylen, 2014). No obstante, la escasa cantidad de días de lluvia en la ciudad de Manta es un factor propicio para la actividad turística y la capacidad de carga de sus playas. Ofrece una ventaja competitiva al brindar un entorno más agradable y predecible para los turistas, lo que contribuye a un aumento en la afluencia y a una mejor gestión de la experiencia del visitante (Mason, 2008).

Otro de los factores evaluados (FCIsol) también se esti-

mó igual para ambas playas resaltando la consistencia en la disponibilidad de luz solar, lo que puede considerarse un aspecto favorable para la planificación y disfrute de actividades al aire libre, incluida la visita a las playas. Este factor en conjunto con el FCpp contribuye a la previsibilidad climática, además de, ayudar a distribuir la afluencia de visitantes a lo largo del día (Paramasivan & Sacratees, 2010; Peeters, 2018).

En tanto al FCero resulta significativo destacar que se identificó una mayor proporción de áreas erosionadas en la playa Ligüiqui en comparación con la playa El Murciélagó. La mayor incidencia de erosión en la playa Ligüiqui tiene implicaciones importantes para la capacidad de carga y la gestión del turismo en esta zona (De Paula et al., 2021). La exposición de rocas y piedras debido al movimiento de arena y las mareas puede limitar la disponibilidad de áreas seguras y cómodas para los visitantes (James, 2000). Esto no solo puede afectar la experiencia del turista, sino también generar riesgos para la seguridad y bienestar de estos (James, 2000). Además, la erosión podría acelerar el deterioro del entorno natural, lo que podría influir en la decisión de los administradores de la playa y las autoridades locales sobre la cantidad de visitantes que se pueden acomodar de manera responsable (Griggs & Guerrero, 2021).

El último factor de corrección evaluado (FCane) fue estimado bajo en ambas playas, lo que permite considerar que se puede aprovechar al máximo el espacio disponible en ambas playas teniendo un impacto positivo en la calidad de la experiencia turística al evitar situaciones incómodas y desfavorables causadas por el agua estancada (Mehranian & Marzuki, 2018).

El descubrimiento de una reducción significativa, del 30 % en el caso de la playa El Murciélagó y del 20 % en el caso de la playa Ligüiqui, en la CCR con respecto a la CCF subraya la importancia de considerar los factores de degradación y erosión en la gestión del turismo y la conservación de estas áreas costeras. El fenómeno por el cual la capacidad de carga real se ve reducida en relación con la CCF se atribuye en gran medida a la presencia de áreas erosionadas en la playa Ligüiqui. La erosión puede disminuir el espacio utilizable para los visitantes, limitando así la capacidad efectiva de acogida. Esta situación pone de relieve la necesidad de una gestión activa y preventiva para controlar la erosión y preservar el entorno natural, lo que a su vez contribuirá a mantener una capacidad de carga sostenible (Paláková et al., 2013).

El análisis de la capacidad de gestión en las playas El Murciélagó y Ligüiqui revela una importante disparidad en la preparación y disponibilidad de servicios y estructuras para recibir a los visitantes principalmente por la zona en donde se ubicación de estas playas, urbana y rural respectivamente (Morales et al., 2018). La CG es esencial para mantener un

entorno turístico seguro, ordenado y agradable, y este resultado resalta cómo diferentes niveles de inversión y atención pueden influir en la calidad de la experiencia del visitante (Chen & Teng, 2016).

La significativa diferencia en las puntuaciones de capacidad de gestión (0,88 en El Murciélagos y 0,38 en Ligüiqui) indica que la playa El Murciélagos cuenta con una amplia gama de instalaciones y servicios, lo que contribuye a su alta capacidad de gestión. La presencia de 16 de las 18 variables evaluadas en El Murciélagos indica una oferta sólida de servicios como casetas de guardavidas, baños, iluminación, señalización, entre otros. Sin embargo, la ausencia de capacitación ambiental y planes integrales costeros señala áreas de mejora que podrían fortalecer aún más la gestión de la playa en términos de conservación y sustentabilidad (United Nations Environment Programme [UNEP], 2009; Zárata, 2013).

En contraste, en la playa Ligüiqui se observa una capacidad de gestión más limitada, evidenciada por las puntuaciones más bajas y la identificación de menos variables en cada categoría. Esta disparidad podría impactar en la experiencia turística, ya que la disponibilidad de servicios como baños, equipamiento y apoyo jurídico puede ser menor. Estos resultados subrayan la necesidad de un esfuerzo mayor en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura turística en Ligüiqui para mejorar la calidad de la experiencia de los visitantes (Alcívar & Mendoza, 2009; Félix *et al.*, 2022).

En líneas generales, la superioridad en términos de Capacidad de Carga en la playa El Murciélagos no solo es resultado de su extensión más amplia en relación con Ligüiqui, sino también de una serie de elementos naturales y antropogénicos adicionales que han contribuido al éxito de la primera. La interacción de estos factores ha otorgado a la playa El Murciélagos un entorno más favorable para la acogida de visitantes en condiciones sostenibles y cómodas. Sin embargo, es fundamental mantener un equilibrio entre el desarrollo turístico y la conservación ambiental para asegurar la sostenibilidad a largo plazo (Mario, 2005).

## CONCLUSIONES

El estudio detallado sobre la Capacidad de Carga Turística de las playas El Murciélagos y Ligüiqui en el Cantón Manta, Ecuador, ha brindado una visión integral de los factores que influyen en la capacidad de acogida y la experiencia turística en estas dos áreas costeras. La evaluación de diversos elementos, desde la dimensión de las playas hasta la gestión y los impactos geológicos, ha demostrado que la Capacidad de Carga es un concepto multidimensional que requiere considerar tanto aspectos naturales como humanos. Estos hallazgos no solo aportan a la planificación y gestión del turismo en estas playas, sino que también subrayan la necesidad de abordar la conservación, la infraestructura y la gestión de manera equilibrada para garantizar la sostenibilidad y la calidad de la experiencia turística en el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a los funcionarios del Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta por su valiosa colaboración y disposición para pro-

porcionar la información esencial que enriqueció este estudio sobre la Capacidad de Carga Turística en las playas El Murciélagos y Ligüiqui. Su colaboración fue fundamental para lograr una comprensión más completa de los factores que influyen en la capacidad y gestión turística de estas áreas costeras.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: RC, DB y RM; metodología: RC, DB y RM; análisis formal: RC.; investigación: RC, DB y RM; recursos: DB y RM; curación de datos: RC; redacción — preparación del borrador original: RC, DB y RM; redacción — revisión y edición: RC, DB y RM; visualización: RC, DB y RM; supervisión: RC; administración de proyecto: RC; adquisición de financiamiento para la investigación: DB y RM. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Ricardo Castillo: RC. Denisse Barcia: DB. Romina Moreira: RM.

## FINANCIAMIENTO

El desarrollo de este proyecto de investigación fue posible gracias a la financiación proveniente de fuentes propias de los investigadores involucrados.

## REFERENCIAS

- Alcívar Vera, I. I., & Mendoza Mejía, J. L. (2020). Modelo de Gestión del Turismo Comunitario orientado hacia el desarrollo sostenible de la comunidad de Ligüiqui en Manta, Ecuador. *ROTUR. Revista de Ocio y Turismo*, 14(1), 1–22. <https://doi.org/10.17979/rotur.2020.14.1.5849>
- Aylen, J., Albertson, K., & Cavan, G. (2014). The impact of weather and climate on tourist demand: The case of Chester Zoo. *Climatic Change*, 127(2), 183–197. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1261-6>
- Chen, C.-L., & Teng, N. (2016). Management priorities and carrying capacity at a high-use beach from tourists' perspectives: A way towards sustainable beach tourism. *Marine Policy*, 74, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.09.030>
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de Capacidad Turística en Áreas protegidas. Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica: Ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Cornejo Ortega, J. L., Chávez Dagostino, R. M., & Bravo Olivas, M. L. (2019). Capacidad de Carga Turística de la Playa punta perula y playa Isla Cocinas Como Estrategia para un uso Turístico sustentable. *Revista Cimexus*, 14(2), 11–26. <https://doi.org/10.33110/cimexus140201>
- Danely Poot, M., & Segrado, R. (2019) Tendencias de investigación científica en la capacidad de carga turística. *Revista Turydes: Turismo y Desarrollo*, 26. <https://www.eumed.net/rev/turydes/26/carga-turistica.html>
- DatosMundial.com. (14 de agosto de 2023). *Hora de amanecer y atardecer en Ecuador*. (n.d.).

- <https://www.datosmundial.com/america/ecuador/puesta-del-sol.php>
- freemeteo.ec. (14 de agosto de 2013). Manta - historial meteorológico mensual. <https://freemeteo.ec/el tiempo/manta/historia/historial-mensual/?gid=3654410&station=23038&month=1&year=2021&language=spanish&country=ecuador>
- De Paula, D. P., Lima, J. C., Barros, E. L., & Santos, J. de. (2021). Coastal erosion and tourism: The case of the distribution of tourist accommodations and their daily rates. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*, 14(3), 110–120. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-018>
- Félix, A., Montalván, P., Morales, M., & Párraga, Y. (2022). El turismo comunitario como apuesta de diversificación en destinos sol y playa. caso de la comuna ancestral de Ligüiqui. Manta - Ecuador. *ROTUR. Revista de Ocio y Turismo*, 16(1), 100–118. <https://doi.org/10.17979/rotur.2022.16.1.8603>
- Fernández, J. M., & Bértola, G. R. (2014). Capacidad de Carga Turística de las playas del partido de mar chiquita, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 6(0). <https://doi.org/10.15359/revmar.6.4>
- Figuroa, F., & Molina, M. (2018). Estudio de capacidad de carga turística en la playa los frailes del Parque Nacional Machalilla (Tesis de Grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí).
- GAD Manta. (17 de enero de 2023). PDYOT 2035. [manta.gob.ec](https://manta.gob.ec). <https://manta.gob.ec/pdyot-2035/>
- Gálvez-Izquieta, P. C., & Mendoza-Tarabó, A. E. (2020). Capacidad de Carga Turística Como Herramienta para el Desarrollo sostenible de playas: Caso Montañita, Provincia de Santa Elena, Ecuador. *Empresarial*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.23878/empr.v14i1.171>
- Griggs, G., & Reguero, B. G. (2021). Coastal adaptation to climate change and sea-level rise. *Water*, 13(16), 2151. <https://doi.org/10.3390/w13162151>
- James, R. J. (2000). From beaches to beach environments: Linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*, 43(6), 495–514. [https://doi.org/10.1016/s0964-5691\(00\)00040-5](https://doi.org/10.1016/s0964-5691(00)00040-5)
- Long, C., Lu, S., Chang, J., Zhu, J., & Chen, L. (2022). Tourism environmental carrying capacity review, hotspot, issue, and prospect. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(24), 16663. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416663>
- López-Dóriga, U., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., & Nicholls, R. J. (2019). Impact of sea-level rise on the tourist-carrying capacity of Catalan Beaches. *Ocean & Coastal Management*, 170, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.028>
- Mangano, S. (2005). El turismo en los espacios naturales protegidos. Análisis de los objetos de consumo turístico y del comportamiento de los turistas en los parques naturales de Liguria [Tesis de Doctorado, Universidad de Girona]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7911/tsm.pdf?sequence=3>
- Marshall, B., Cardon, P., Poddar, A., & Fontenot, R. (2013). Does sample size matter in qualitative research?: A review of qualitative interviews in is research. *Journal of Computer Information Systems*, 54(1), 11–22. <https://doi.org/10.1080/08874417.2013.11645667>
- Mason, P. (2008). *Tourism impacts, planning and Management*. Butterworth Heinemann.
- Mehranian, H., & Marzuki, A. (2018). Beach users' perceptions toward beach quality and crowding: A case of Cenang Beach, Langkawi Island, Malaysia. *Sea Level Rise and Coastal Infrastructure*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76614>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). Plan de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador 2023-2027. Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Ministerio de Turismo de Ecuador (2021). Plan Institucional 2021-2025. Ministerio de Turismo de Ecuador.
- Morales, G. G., Arreola-Lizárraga, J. A., & Grano, P. R. (2018). Integrated assessment of recreational quality and carrying capacity of an Urban Beach. *Coastal Management*, 46(4), 316–333. <https://doi.org/10.1080/08920753.2018.1474070>
- Paramasivan, G., & Sacratees, J. (2010). In *Environmental impacts of tourism*. essay, Pointer Publishers.
- Peeters, P. (2018). Research for Tran Committee overtourism: Impact and possible policy responses. Policy Department for Structural and Cohesion Policies, European Parliament.
- Polakova, J., Farmer, A., Berman, S., Naumann, S., Frelil-Larsen, A., & Toggenburg, J. von. (2013). Sustainable Management of Natural Resources with a focus on water and agriculture: Study summary. European Parliament.
- Prieto Campos, A., & Díaz Cuevas, P. (2021). Aproximaciones a la capacidad de acogida de las playas como recurso turístico en tiempos de la covid-19: El Caso de la Costa Atlántica Andaluza. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (88). <https://doi.org/10.21138/bage.3012>
- R.-Toubes, D., Araújo-Vila, N., & Fraiz-Brea, J. A. (2020). Influence of weather on the behaviour of tourists in a beach destination. *Atmosphere*, 11(1), 121. <https://doi.org/10.3390/atmos11010121>
- Roig, F. X. (2002). Análisis de la Capacidad de Carga en los espacios litorales, calas y playas, situados en áreas naturales de especial interés de la Isla de Menorca. En F. Fernández et al. (Ed.), *Turismo y transformaciones urbanas en el siglo XXI* (pp. 325-335). Universidad de Almería.
- Roig, F. X. (2003). Análisis de la relación entre capacidad de carga física y capacidad de carga perceptual en playas naturales de la Isla de Menorca. *Investigaciones Geográficas*, (31), 107. <https://doi.org/10.14198/ingeo2003.31.07>
- Salinas, E. (2008). Ordenación, Planificación y Gestión de los Espacios Turísticos: Aspectos teórico - metodológicos. *Tendencias*, 2(4), 11-16.
- Secretaría Nacional de Planificación (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

- Soria-Díaz, H. F., Lima de Alencastro Graça, P. M., & Soria Solano, B. (2022). Análisis de la Capacidad de Carga de los Atractivos Turísticos en la Amazonía Central, Brasil. *Investigaciones Geográficas*, (108). <https://doi.org/10.14350/rig.60531>
- Suárez Rodríguez, O., & Ramos Peredo, J. (2016). Estimación de Capacidad de Carga Comercial en las Playas de San Lorenzo y Chipipe, Salinas. *Tsafiqui*, (8), 45-55. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i8.165>
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2009). Sustainable coastal tourism: An integrated planning and management approach. UNEP
- Yusoh, M. P., Mapjabil, J., Hanafi, N., & Idris, M. A. (2021). Tourism carrying capacity and social carrying capacity: A literature review. *SHS Web of Conferences*, 124, 02004. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112402004>
- Zarate, K. C. (2013). Manual para la Gestion Operativa de las Areas Protegidas de Ecuador. FLACSO.
- Zekan, B., Weismayer, C., Gunter, U., Schuh, B., & Sedlacek, S. (2022). Regional sustainability and tourism carrying capacities: A methodological approach. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130624. <https://10.1016/j.jclepro.2022.130624>

# Análisis espacio temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) en el ecosistema bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor

## *Spatial-temporal analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the semi-deciduous piedmont forest ecosystem of the Catamayo Alamor*

Raúl García<sup>1</sup>, Aníbal González<sup>2</sup> y César Benavidez -Silva<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático, Loja, Ecuador

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Territoriales, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: cesar.benavidez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 20/10/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 07/12/2023

Fecha de publicación: 30/12/2023

**Resumen**—En las últimas dos décadas, el ecosistema bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor de la provincia de Loja, ha experimentado diversas amenazas antropogénicas. Simultáneamente, las alteraciones en la intensidad y duración de fenómenos meteorológicos como fenómenos asociados al cambio climático han generado variaciones en la dinámica de la vegetación a escala espacial y temporal. Bajo este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la variación espacial del NDVI con respecto a la temperatura, precipitación, elevación y pendiente, y su evolución temporal en función de la temperatura y precipitación en el período 2001 al 2018 en los bosques semideciduos. Se determinó la dependencia espacial empleando un semivariograma, y se cuantificó su rango y semivarianza a través del modelo esférico; para el análisis temporal se empleó ciclos estacionales y tendencias graficados en el software Timesat, dicho análisis fue complementado usando métodos estadísticos como correlación de Spearman. Los resultados revelaron que, el NDVI presentó dependencias espaciales mayores relacionadas con la temperatura y pendiente del terreno, que superaron ampliamente a las variables precipitación y elevación. Temporalmente, los inicios de los ciclos estacionales y tendencias se presentaron en sucesión cronológica. La correlación entre NDVI y temperatura es baja (0,22), y moderada en la precipitación (0,53). Entre las principales conclusiones del estudio se puede mencionar: i) que existe una mayor dependencia espacial entre el NDVI con la precipitación y elevación en comparación con la temperatura y pendiente; ii) la baja correlación entre el NDVI y temperatura que debe ser analizada a mayor profundidad debido a que existen otras variables y anomalías climáticas que posiblemente influyen en la variación del NDVI, y iii) el hallazgo en la sucesión en el inicio de cada ciclo estacional de las variables de estudio revela la importancia de nuevas líneas de investigación relacionadas al estudio del ecosistemas por los beneficios que estos generan.

**Palabras clave**—Correlación, Bosque semideciduo, NDVI, Precipitación, Temperatura.

**Abstract**—Over the past two decades, the semi-deciduous piedmont forest ecosystem of the Catamayo Alamor in the province of Loja has faced various anthropogenic threats. Simultaneously, alterations in the intensity and duration of meteorological phenomena, such as those associated with climate change, have induced variations in vegetation dynamics at both spatial and temporal scales. Within this context, the following objective has been formulated: to analyze the spatial variation of NDVI concerning temperature, precipitation, elevation, and slope, and its temporal evolution based on temperature and precipitation from 2001 to 2018. To achieve the objective of this research, spatial dependence was determined using a semivariogram, and its range and semivariance were quantified through the spherical model. For temporal analysis, seasonal cycles and trends were examined using the Timesat software, and this analysis was complemented with statistical methods such as Spearman correlation. The results revealed that NDVI exhibited stronger spatial dependencies related to temperature and slope than precipitation and elevation. Temporally, the onsets of seasonal cycles and trends occurred in chronological succession. The correlation between NDVI and temperature is low (0.22), while it is moderate with precipitation (0.53). This study concludes that i) there is a greater spatial dependence between NDVI and precipitation and elevation compared to temperature and slope; ii) the low correlation between NDVI and temperature should be further analyzed due to the potential influence of other variables and climatic anomalies on NDVI variation, and iii) the finding of the succession in the onset of each seasonal cycle in the studied variables underscores the importance of new research avenues related to ecosystem studies for the benefits and well-being they provide for humanity.

**Keywords**—Correlation, Ecosystem, NDVI, Precipitation, Temperature.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques son el pilar fundamental de los ecosistemas terrestres (BGCI, 2021), al cubrir el 31 % de la superficie del planeta (FAO y PNUMA, 2020), intervienen en la

regulación regional y mundial de los ciclos del agua, temperatura y captación y almacenamiento de carbono, que son vitales en la supervivencia de la biodiversidad y humanidad (Hurteau, 2021, Ometto et al., 2022). Por su importancia, los

bosques tropicales, a pesar de proveer servicios ecosistémicos, sociales y culturales soportan diferentes grados de impacto debido a la deforestación disminuyendo su resiliencia (Ometto *et al.*, 2022), alterando la cantidad y calidad de los hábitats, y su conectividad (Haddad *et al.*, 2015).

Los bosques como parte de los ecosistemas constituyen un indicador sensible a las perturbaciones naturales por factores abióticos (Jeong *et al.*, 2017). El aumento gradual la temperatura media anual mundial desde la era preindustrial hasta la actualidad en distintas regiones del planeta ha causado efectos negativos en la estructura y composición de los ecosistemas naturales (Ometto *et al.*, 2022). En las últimas tres décadas el cambio climático ha aumentado la frecuencia, duración e intensidad de los fenómenos meteorológicos (WMO, 2022) disminuyendo la capacidad de adaptación de los ecosistemas (Gao, *et al.*, 2016) y alterando el comportamiento, fenología y rango de distribución de las poblaciones y especies locales (Weiskopf *et al.*, 2020).

El cambio climático, ha provocado efectos negativos en la dinámica de la vegetación (Gao, *et al.*, 2016), alterando la estructura y composición de las comunidades que conforman los distintos ecosistemas forestales (Ometto *et al.*, 2022). Los bosques, son un indicador sensible a las perturbaciones naturales y antrópicas, constituyendo un elemento fundamental en las observaciones espaciales y temporales de la dinámica de la vegetación (Jeon *et al.*, 2017) y de los cambios de la radiación fotosintéticamente activa en investigaciones a escala regional y global (Wang *et al.*, 2003).

En Ecuador, los bosques nativos no son ajenos a esta realidad, han experimentado altos niveles de fragmentación, causados principalmente por la ampliación de actividades agrícolas y pecuarias (Kleemann *et al.*, 2022; Noh *et al.*, 2022). Ante esta amenaza, se han establecido estrategias de conservación, destacando las Áreas Protegidas y el Programa Socio Bosque (MAE, 2008), sin embargo, en la provincia de Loja, estos espacios de protección de diversidad representan escasamente el 3,94% de su territorio político administrativo (MAE, 2018). Según el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental, la provincia de Loja alberga un total de 22 ecosistemas naturales (MAE, 2013), entre estos, sobresale el ecosistema “bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor”, abarcando una extensión 1618,17 km<sup>2</sup>. Este ecosistema se encuentra distribuido en las cuencas hidrográficas Catamayo y Puyango, donde la vegetación nativa que la compone forma parte del Hot Spot biodiversidad de los Andes Tropicales, caracterizado por altos niveles de endemismo (Aguirre *et al.*, 2017).

Escasas investigaciones han utilizado como herramienta de monitoreo de ecosistemas naturales al NDVI en relación a la variabilidad del clima, su uso con fines de conservación fue empleado en el monitoreo de posibles cambios de uso del suelo en las Reservas Ecológicas Cotacachi Cayapas y Producción de Fauna Chimborazo (Aldas, 2019; Paula *et al.*, 2018). A diferencia de los estudios anteriores, el análisis de los cambios espacio temporales del NDVI en base a los patrones climáticos globales en los páramos del centro y norte del Ecuador (Udivia, 2020), así como, el empleo del índice mejorado - EVI para detectar el comportamiento de los ecosistemas naturales del sur del Ecuador ante la temperatura y precipitación (Maita, 2015), revelan la importancia de avanzar en esta línea investigativa relacionada a la dinámica de

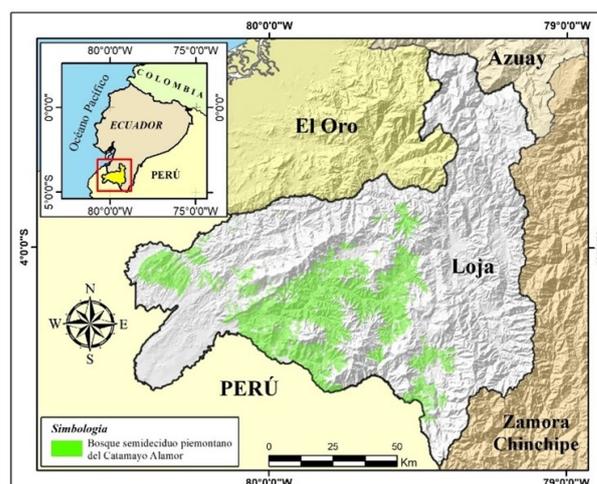
vegetación frente a variables climáticas y orográficas en la provincia de Loja.

Considerando que existe un escaso aporte científico en el estudio del efecto de las variables de estudio en el ecosistema “bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor”, se ha planteado realizar esta investigación que propone el análisis del NDVI en el ecosistema bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor y las variaciones en sus valores medios, mínimos y máximos en relación con la dependencia espacial con las variables climáticas y topográficas en la zona de estudio en el período 2001 al 2018.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

La presente investigación, se desarrolló en la provincia de Loja, específicamente, en el ecosistema “bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor”. El ecosistema de estudio, se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 03°50'31" y 04°36'45" de Latitud Sur; y, 79°21'41" y 80°26'50" Longitud Oeste, distribuido en la mayoría de la superficie de las cuencas de los ríos Catamayo-Chira y Puyango-Tumbes de la provincia de Loja, a excepción de los cantones Loja y Saraguro (Figura 1).



**Fig. 1:** Mapa de ubicación del bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor en la provincia de Loja.

### Adquisición de información de variables de estudio

Las imágenes mensuales del índice de vegetación de diferencia normalizado - NDVI, del área representativa del ecosistema de estudio, del período 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2018, fueron obtenidas del Programa de Sistemas de Datos de Ciencias de la Tierra de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>), con una resolución espacial de 1km<sup>2</sup>, y una resolución temporal de 30 días, obtenidas del sensor espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada - MODIS del satélite Terra, de proyección sinusoidal de la colección MOD13A3 versión 061 (Didan, 2021). Los valores mensuales extraídos del NDVI provienen de píxeles cubiertos al 100% en del área representativa del ecosistema, para lograr este propósito se utilizó el sistema de información geográfica - QGIS 3.32

(2023).

En lo referente a las variables climáticas como temperatura media mensual y precipitación media mensual, la información fue obtenida del sitio web Climatologías de alta resolución para las superficies terrestres de la Tierra (<https://chelsa-climate.org/>) con una resolución espacial de 1km<sup>2</sup> (Brun et al., 2022; Karger et al., 2021; Karger et al., 2020). Las variables orográficas, elevación y pendiente, fueron obtenidas del modelo digital de elevación con una resolución espacial de 1km<sup>2</sup> (Fick y Hijmans, 2017) de la base de datos climatológicos WorldClim (<https://WorldClim.org/>). La extracción de los valores mensuales se realizó con el programa QGIS 3.32 (2023).

### Evaluación de calidad de píxeles NDVI

Para evaluar la calidad de los valores del NDVI del área representativa del ecosistema, se empleó la imagen de fiabilidad de píxeles del archivo de formato de datos jerárquicos HDF. Con la ayuda del programa R versión 2023.06.1, se eliminaron los píxeles de categoría -1 “valor no procesado” y categoría 3 “valor cubierto de nubosidad” de cada imagen mensual de NDVI del período de estudio. Los valores de los píxeles de categoría 0 “valor de confianza”, y categoría 1 “valor útil” (Didan, 2021) fueron utilizados en esta investigación.

### Análisis espacial del NDVI en relación a las variables de estudio

El análisis estructural del NDVI con las variables: temperatura, precipitación, elevación y pendiente se desarrolló, primero, graficando un semivariograma, y segundo, cuantificando los elementos del semivariograma, meseta y rango a través de un modelo esférico que cuantifica una meseta verdadera (Maestre y Gallardo, 2008).

### Análisis de series temporales del NDVI, temperatura y precipitación

Mediante el programa de análisis de series temporales Timesat (Eklundh y Jönsson, 2015), versión 3.3 (<https://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>) se generaron series temporales del promedio de los valores mensuales del NDVI, temperatura y precipitación, del período 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2018. Obtenidas las series temporales se utilizó el método de ajuste de Savitzky – Goley para el NDVI y temperatura, mientras que el método de ajuste de asymmetric Gaussian fue utilizado en la precipitación. Para graficar la tendencia se empleó la descomposición de tendencias estacionales LOESS – STL Trend de Timesat.

### Extracción de métricas de las series temporales

En las series temporales del NDVI, temperatura y precipitación se obtuvieron las métricas: inicio de estación, mitad de estación y fin de estación, duración, valor base, valor máximo y amplitud (diferencia entre el valor máximo y valor mínimo), mientras que, en la tendencia de las variables descritas, se obtuvo las métricas: duración en años y rango con el programa Timesat (Eklundh y Jönsson, 2015).

**Tabla 1:** Calidad de píxeles del ecosistema bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01).

Ecosistema	Área (km <sup>2</sup> )	n	C-1 (%)	C0 (%)	C1 (%)	C3 (%)	C0 + C1 (%)
BmPn01	1 102,65	579	0,18	82,59	16,72	0,51	99,31

Número total de píxeles (n); Píxel no procesado sin dato (C -1); Píxel con dato confiable (C0); Píxel con dato útil (C1); Píxel condato de nubosidad (C3); Porcentaje (%).

### Correlación del NDVI con temperatura y precipitación

Para determinar la correlación entre el NDVI con las variables temperatura y precipitación, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , con una escala de: 1 que denota una relación positiva entre las variables, 0 que indica ausencia de correlación, y -1 que indica una relación inversa. El coeficiente de Spearman fue calculado con el programa R versión 2023.06.1.

## RESULTADOS

En el área representativa del ecosistema de estudio de 1102,65km<sup>2</sup>, se obtuvo 579 píxeles cubiertos al 100%, que revelaron en la categoría C0, dato confiable, un 82,59%, seguidos de los píxeles de categoría 1, datos útiles, con el 16,72%, presentando una diferencia superior con respecto a los píxeles procedentes de nubosidad C3 y píxeles no procesados C-1, con porcentajes de 0,51 y 0,18% respectivamente (Tabla 1).

### Análisis espacial del NDVI con las variables de estudio

Al comparar los resultados del análisis estructural entre el NDVI con las variables temperatura, precipitación, elevación y pendiente, el modelo esférico, cuantificó los elementos del semivariograma, donde la meseta del modelo esférico, exhibió que la semivarianza es mayor entre el NDVI y la temperatura 0,0046, valor que presentó cierta semejanza entre el NDVI y la pendiente 0,0045, mientras que, los resultados entre NDVI con la elevación y precipitación difieren de los anteriores por presentar semivarianzas más cercanas a cero con valores de 0,0031 y 0,0024 respectivamente (Tabla 2 y Figura 2).

En lo referente a la distancia máxima en la cual el NDVI está correlacionado espacialmente con las variables de estudio, presentó diferentes valores, siendo mayor entre el NDVI y la temperatura con un rango de 29 625,81 metros, seguido del NDVI con la pendiente con 27 978,28 metros, sin embargo, a diferencia de los rangos anteriores la dependencia espacial entre el NDVI con la precipitación y elevación alcanzó los 12 075,17 y 11 092,73 metros respectivamente, presentando un contraste de 16000 metros aproximadamente (Tabla 2 y Figura 2).

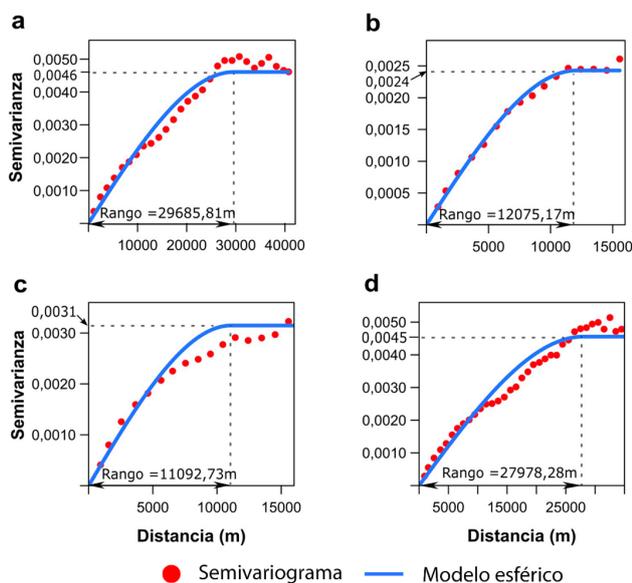
### Análisis de series temporales de NDVI y temperatura

Durante el período de estudio de 18 años, el ecosistema, presentó un ciclo estacional de NDVI de una duración de 165 días, comenzando la primera semana de enero y finalizando en la segunda semana de junio. El NDVI alcanzó su valor

**Tabla 2:** Elementos del semivariograma del NDVI con las variables de estudio del ecosistema bosque semidecíduo piemontano del Catamayo Alamor.

Semivariograma	Modelo	Meseta	Rango (m)
NDVI-temperatura	Esférico	0,0046	29 625,81
NDVI - precipitación	Esférico	0,0024	12 075,17
NDVI - elevación	Esférico	0,0031	11 092,73
NDVI - pendiente	Esférico	0,0045	27 978,28

máximo 0,81 el primer día del mes de abril. Adicionalmente, la amplitud del NDVI entre el valor pico de 0,81 y el valor base 0,42, presentó una diferencia de 0,39 (Fig. 4). Referente a la temperatura, presentó un ciclo estacional de una duración de 165 días, iniciando la cuarta semana de noviembre y culminando en la segunda semana de mayo. El valor más alto de la temperatura en la mitad del ciclo fue el día 21 febrero, mientras que, la amplitud de 0,6 °C resulto de la diferencia del valor más alto 22,1 °C y el valor base 21,5 °C (Figura 3). En el NDVI, se observaron 3 tendencias, la primera en-

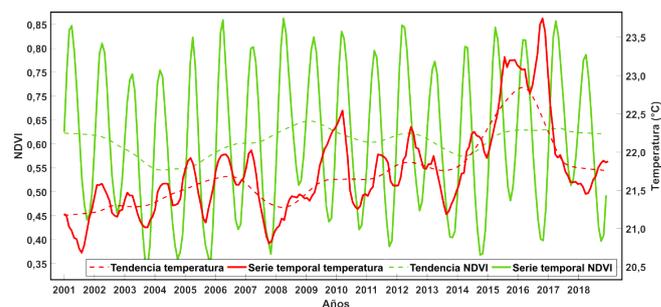


**Fig. 2:** Modelo esférico y distribución de pares de puntos del semivariograma del NDVI con las variables: a) temperatura, b) precipitación, c) elevación, d) pendiente.

tre los años 2004 hasta el año 2007, presentado variaciones de NDVI entre 0,56 a 0,62. La segunda tendencia, aconteció entre los años 2008 al 2 010, con variaciones en un rango de 0,62 a 0,66, y la última entre los años 2011 al 2014, con valores de NDVI entre 0,59 a 0,63. La temperatura presentó dos tendencias, la primera, durante los años 2002 al 2007, con temperaturas desde los 16,9 °C hasta los 17,3 °C, la segunda tendencia de mayor duración aconteció entre en los años 2008 al 2017, con temperaturas desde los 16,9 °C hasta los 18,1 °C (Figura 3).

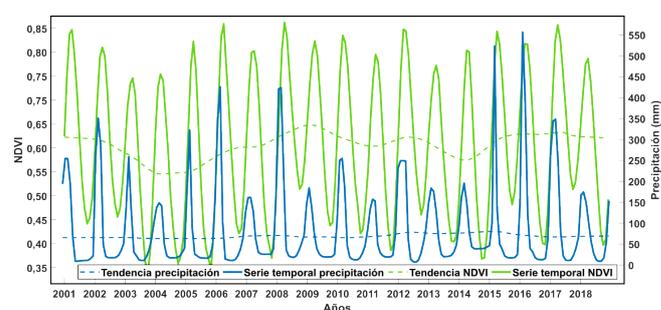
### Análisis series temporales de NDVI y precipitación

Durante el período de estudio de 18 años, el ecosistema evaluado presentó un ciclo estacional de NDVI de una duración de 165 días, comenzando la primera semana de enero y finalizando en la segunda semana de junio. El NDVI alcanzó su valor máximo 0,81 el primer día del mes de abril. Adicio-



**Fig. 3:** Serie temporal y tendencia a) NDVI y b) temperatura con ajuste de Savitzky Golay del ecosistema bosque semidecíduo piemontano del Catamayo Alamor, período 2001-01-01 al 2018-12-31.

nalmente, la amplitud del NDVI entre el valor pico de 0,81 y el valor base 0,42, presentó una diferencia de 0,39. En la precipitación, el ciclo estacional presentó una duración de 127 días, que se inició en la primera semana de enero y culminó en la primera semana de mayo. El valor más alto de la precipitación, en la mitad del ciclo estacional, fue el primer día de marzo. Adicionalmente, la amplitud de 272,7 mm se obtuvo de la diferencia del valor pico 288,4 mm y el valor base de 15,7 mm (Fig. 5). En el NDVI, se observaron 3 tendencias, la primera entre los años 2004 hasta el año 2007, presentado variaciones de NDVI entre 0,56 a 0,62. La segunda tendencia, aconteció entre los años 2008 al 2010, con variaciones en un rango de 0,62 a 0,66, y la última entre los años 2011 al 2014, con valores de NDVI entre 0,59 a 0,63, mientras que, la precipitación presentó una tendencia ligeramente ascendente, casi en línea recta, con valores de precipitaciones en un rango de 62,7 mm hasta 79,3 mm (Figura 4).



**Fig. 4:** Serie temporal y tendencia a) NDVI con ajuste de Savitzky Golay, b) precipitación con ajuste Gaussiano del ecosistema bosque semidecíduo piemontano del Catamayo Alamor, período 2001-01-01 al 2018-12-31.

### Análisis temporal de la correlación de Spearman

Al desarrollar la prueba de correlación de Spearman con un nivel de confianza del 95 %, se obtuvo, una correlación entre las variables NDVI y temperatura de 0,22, lo cual indica una correlación positiva baja, mientras que, la correlación entre las variables NDVI y precipitación, el valor de Spearman fue de 0,53 indicando una correlación positiva moderada, es decir mientras aumenta la precipitación aumenta el NDVI.

## DISCUSIÓN

En el ámbito geoestadístico, los parámetros cuantificados en el modelo esférico entre el NDVI con las variables climáticas y orográficas usando una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup> presentaron diferencias de rango y semivarianza, destacando que, el rango del NDVI con la temperatura y pendiente presentaron una dependencia espacial que duplica la dependencia espacial al rango del NDVI con la precipitación y elevación. En el análisis espacial, las semivarianzas del 0,0046 y 0,0045 del NDVI con temperatura y pendiente, mostraron que los pares de datos están mayormente alejados con respecto a su media en comparación con las semivarianzas de 0,0031 NDVI con pendiente y 0,0024 NDVI con precipitación. Estos resultados indican la existencia de heterogeneidad espacial entre la relación existente del NDVI y las variables climáticas evaluadas, lo cual es ratificado por estudios realizados a distintas escalas a nivel Global (Sawut et al., 2023). Al destacar la heterogeneidad espacial de los efectos ambientales sobre la vegetación, los resultados pueden orientar las decisiones en cuanto a la conservación de los ecosistemas, la planificación del uso del suelo y el fomento del desarrollo sostenible (Sawut et al., 2023; MAATE, 2023; Secretaría Nacional de Planificación, 2023). La heterogeneidad espacial en este contexto incide en las respuestas distintas de varios tipos de vegetación ante las interacciones entre diversos factores bioclimáticos, generando mecanismos variados y complejos que fundamentan las relaciones entre los índices bioclimáticos y la dinámica de la vegetación. Es imperativo tener en cuenta estas variaciones tanto espaciales como altitudinales al evaluar el efecto de los índices bioclimáticos sobre la vegetación (Gong et al., 2023).

Conocer la relación entre la vegetación y los factores climáticos ayuda a comprender la dinámica de los ecosistemas, incluyendo la respuesta de la vegetación a los cambios de temperatura, precipitación y otras variables climáticas (Kumar et al., 2023) o topográficas. El análisis temporal, reveló que los ciclos estacionales del NDVI y de la temperatura mostraron una duración de 165 días, con diferencias de cada ciclo estacional. Cronológicamente, se observa que el ciclo de la temperatura comenzó el último día del mes de noviembre, un mes antes del inicio de la actividad fotosintética en el dosel de los bosques semidecíduos del 01 de enero. Este comienzo de ciclo del NDVI es similar al encontrado por Haro-Carrión (2020) en los bosques de los Andes Occidentales del sur de Ecuador en el período 1982-2010, sin embargo, la mitad del ciclo de NDVI del uno de abril, contrasta con el de los bosques occidentales correspondiente al mes de junio. La diferencia en el fin del ciclo del NDVI y temperatura, 15 de mayo y 15 de junio, posiblemente esté relacionado a el cambio climático y la variabilidad climática que influyen en la dinámica de la vegetación a nivel espacial de manera distinta en todo el planeta (Liu et al., 2022).

El ciclo estacional de la precipitación, exhibió una duración de 127 días, es decir, 38 días menos que los ciclos de las variables NDVI y temperatura, sin embargo, el inicio del ciclo estacional del NDVI y precipitación es de similar fecha, 01 de enero. La diferencia de dichos ciclos establece que las precipitaciones de mayor intensidad se presentaron el primer día de marzo, específicamente, 31 días antes a la mitad del ciclo del NDVI, acontecido el 01 de abril, y 9 días después a la

mitad del ciclo de temperatura – 21 de febrero, esta diferencia es similar a lo descrita por Udivia (2020) donde el NDVI en el ecosistema Páramo del centro y norte del Ecuador en el período 2001 – 2018 aumentó un mes después de las precipitaciones de octubre y mayo, mientras que, en el bosque seco de la provincia de Loja el NDVI y el incremento diamétrico están regulados por las precipitaciones durante los meses de enero a junio (Pucha, 2019).

Al determinar el grado de correlación de Spearman, se observa la existencia de una baja correlación entre NDVI y temperatura 0,22, y moderada entre NDVI y precipitación 0,53. Estas correlaciones, contrastan con las obtenidas por Maita (2015) en el mismo ecosistema de estudio, donde la correlación de Pearson entre el índice mejorado EVI y temperatura de -0,22 indica una relación inversa, mientras que en la correlación entre el EVI y precipitación es 0,29. Estas diferencias, deben ser interpretados con precaución, por tratarse de índices de vegetación cuyo propósito es complementario al momento de profundizar en el análisis de información obtenida del dosel de un ecosistema (Huete et al., 2010). A esto se suma, que los bosques con altas y moderadas densidades influyen en la saturación del NDVI (Jiang et al., 2006; Huete et al., 2002), esta limitación es potenciada en la banda azul en combinación con las bandas rojo e infrarrojo cercano que le permite captar mejor las variaciones de la actividad fotosintética de la biomasa del dosel (Gao et al., 2000).

Otras características relevantes que posiblemente influyeron en el contraste de correlaciones, se enmarcan en la diferencia de resoluciones espaciales y temporales del NDVI, en el estudio la resolución espacial es de 1 km<sup>2</sup>, la misma es captada y procesada por el satélite MODIS Terra mensualmente (Didan, 2021), la cual difiere de las resoluciones utilizadas por Maita (2015) con un tamaño de pixel de 250 metros y una resolución temporal cada 8 días combinadas de los satélites MODIS Terra y Aqua, (Didan, 2015), sin embargo, otros aspectos como referentes a calibración del sensor, presencia de nubosidad y características topográficas deben ser analizadas para prevenir interpretaciones erróneas (Zeng et al., 2022).

Los resultados de esta investigación podrían contribuir a orientar acciones de conservación dirigidas a mitigar los impactos adversos de las condiciones bioclimáticas cambiantes en los ecosistemas frágiles (Gong et al., 2023). Es necesario destacar que factores naturales y antropogénicos que influyen sobre los ecosistemas tienen un impacto significativo en los cambios en el NDVI de la vegetación, ya que contribuyen a la heterogeneidad espacial de los cambios del NDVI, lo que significa que los cambios en el NDVI varían entre diferentes ubicaciones dentro del área de estudio (Li et al., 2022). La perspectiva de la heterogeneidad espacial mejora significativamente nuestra comprensión de la dinámica de la vegetación al capturar las variaciones matizadas de los factores en las diferentes subregiones. Este enfoque proporciona información sobre cómo la variabilidad espacial influye en los cambios de la vegetación y permite una comprensión integral de las interacciones entre los factores y el medio ambiente local. (Kumar et al., 2023; Li et al., 2022).

## CONCLUSIONES

La presente investigación analizó la relación espacial entre el NDVI con las variables climáticas y orográficas, a través de herramientas geoestadísticas como lo son el semivariograma y el modelo de ajuste teórico. El análisis estructural demostró una dependencia espacial más fuerte entre NDVI con la precipitación y elevación en comparación con la dependencia espacial entre el NDVI con la temperatura y pendiente.

Se determinó que el comportamiento del NDVI con respecto a las variables bioclimáticas temperatura y precipitación, influye favorablemente en los procesos ecofisiológicos en las distintas zonas biogeográficas del ecosistema de estudio; sin embargo, la baja correlación entre NDVI y temperatura debe ser analizada con mayor profundidad, debido a que existen otros aspectos como nuevas variables, patrones y anomalías climáticas regionales y mundiales que influyen en cierto grado en los ciclos estacionales de cada variable de estudio.

El hallazgo de la sucesión del inicio de cada ciclo estacional demuestra la importancia de avanzar en nuevas líneas de investigación en el estudio de los ecosistemas y de su respuesta ante variables de amplia relevancia como lo son la temperatura y precipitación, dichas investigaciones deben enmarcarse como eje fundamental de la academia, estado, y sociedad en general por los diversos beneficios y bienestar en favor de la humanidad.

## AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT por la beca recibida correspondiente al Programa de Becas Nacionales de Posgrado Fortalécete 2022. Al proyecto Biogeografía del cambio climático en el Sur del Ecuador: Dinámicas de cambio de uso de suelo y su influencia en la distribución espacial y temporal de especies vegetales (20 – DI – FARNR - 2021), a la Dirección de Investigación y a la Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático de la Universidad Nacional de Loja.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, RGM y CBS; metodología, RGM, CBS; análisis formal, RGM, CBS, AGG; investigación, RGM; curación de datos, RGM; redacción — preparación del borrador original, RGM y CBS; redacción — revisión y edición, RGM, CBS y AGG; supervisión, CBS y AGG. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja y la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT.

## REFERENCIAS

Aguirre Mendoza, Z. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 523–542.

- <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24206>
- Aldás Andrade, A. P. (2019). *Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de google Earth Engine* [Tesis de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Digital PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/21638>
- BGCI. (2021). State of the World's Trees. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, United Kingdom.
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). Global climate-related predictors at kilometer resolution for the past and future. *Earth System Science Data*, 14(12), 5573–5603. <https://doi.org/10.5194/essd-14-5573-2022>
- Climatologies at high resolution for the earth's land surface - CHELSA (<https://chelsa-climate.org/>).
- Database of high spatial resolution global weather and climate data – WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/index.html>).
- Didan, K. (2015). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-10-04 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- Didan, K. (2015). *MYD13Q1 MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-10-04 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MYD13Q1.006>
- Didan, K. (2021). *MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V061* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2023-03-20 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A1.061>
- Eklundh, L., Jönsson, P. (2015). TIMESAT: A Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics. In: Kuenzer, C., Dech, S., Wagner, W. (eds) *Remote Sensing Time Series. Remote Sensing and Digital Image Processing*, vol 22. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6_7)
- FAO y PNUMA. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gao X, Huete AR, Ni W, Miura T (2000) Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing Environment* 74:609–620
- Gao, Q., Guo, Y., Xu, H., Ganjurjav, H., Li, Y., Wan, Y., Qin, X., Ma, X., & Liu, S. (2016). Climate change and its impacts on vegetation distribution and net primary productivity of the alpine ecosystem in the Qinghai-Tibetan Plateau. *The Science of the Total Environment*, 554–555, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.131>
- Gong, H., Cheng, Q., Jin, H., & Ren, Y. (2023). Effects of temporal, spatial, and elevational variation in biocli-

- matic indices on the NDVI of different vegetation types in Southwest China. *Ecological Indicators*, 154, 110499. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110499>
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Haro-Carrión, X., Waylen, P. R., & Southworth, J. (2020). Spatiotemporal changes in vegetation Greenness across Continental Ecuador: A Pacific-Andean-Amazonian Gradient, 1982–2010. *Journal of Land Use Science*, 16(1), 18–33. <https://doi.org/10.1080/1747423x.2020.1866705>
- Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X, Ferreira LG (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation index. *Remote Sens Environ* 83: 195-213
- Huete, A., Didan, K., van Leeuwen, W., Miura, T., Glenn, E. (2010). MODIS Vegetation Indices. In: Ramachandran, B., Justice, C., Abrams, M. (eds) *Land Remote Sensing and Global Environmental Change. Remote Sensing and Digital Image Processing*, vol 11. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7\\_26](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7_26)
- Hurteau, M. D. (2021). The role of forests in the carbon cycle and in climate change. En *Climate Change* (pp. 561–579). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00027-X>
- Jeong, S.-J., Schimel, D., Frankenberg, C., Drewry, D. T., Fisher, J. B., Verma, M., Berry, J. A., Lee, J.-E., & Joiner, J. (2017). Application of satellite solar-induced chlorophyll fluorescence to understanding large-scale variations in vegetation phenology and function over northern high latitude forests. *Remote Sensing of Environment*, 190, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.021>
- Jiang Z, Huete AR, Chen J, Chen Y, Li J, Yan G, Zhang X (2006) Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sens Environ* 101:366–378
- Karger, D. N., Schmatz, D. R., Dettling, G., & Zimmermann, N. E. (2020). High-resolution monthly precipitation and temperature time series from 2006 to 2100. *Scientific Data*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00587-y>
- Karger, D. N., Wilson, A. M., Mahony, C., Zimmermann, N. E., & Jetz, W. (2021). Global daily 1 km land surface precipitation based on cloud cover-informed downscaling. *Scientific Data*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01084-6>
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A. B., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J. K., Fürst, C., & Thiel, M. (2022). Deforestation in continental Ecuador with a focus on protected areas. *Land*, 11(2), 268. <https://doi.org/10.3390/land11020268>
- Kumar, V., Bharti, B., Prasad, H., & Raj, A. (2023). Assessing the interrelation between NDVI and climate dependent variables by using granger causality test and vector auto-regressive neural network model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 131(May), 103428. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103428>
- Li, S., Li, X., Gong, J., Dang, D., Dou, H., & Lyu, X. (2022). Quantitative Analysis of Natural and Anthropogenic Factors Influencing Vegetation NDVI Changes in Temperate Drylands from a Spatial Stratified Heterogeneity Perspective: A Case. *Remote Sensing*, 14(3320), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14143320>
- Liu, C., Liu, J., Zhang, Q., Hui, C., Gu, X., & Gulakhmadov, A. (2022). Attribution of NDVI dynamics over the globe from 1982 to 2015. *Remote Sensing*, 14(11), 2706. <https://doi.org/10.3390/rs14112706>
- MAATE. (2023). Plan Regulatorio Institucional 2024, Propuesto. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Quito, Ecuador.
- Maestre F., Gallardo A. (2008). *Introducción de Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*. Editorial DYKINSON, S.L.
- Maita, J. (2015). *Dinámica espacio temporal del Índice de vegetación Mejorado (EVI) en los Ecosistemas del Sur del Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad del Azuay]. Dspace de la Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4933>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2008). PROYECTO SOCIO BOSQUE. Acuerdo Ministerial 169. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2018). ESTADÍSTICAS DEL PATRIMONIO NATURAL DEL ECUADOR CONTINENTAL. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito.
- National Aeronautics and Space Administration's Earth Science Data Systems (ESDS) Program (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>).
- Noh, J. K., Echeverria, C., Gaona, G., Kleemann, J., Koo, H., Fürst, C., & Cuenca, P. (2022). Forest ecosystem fragmentation in Ecuador: Challenges for sustainable land use in the tropical Andean. *Land*, 11(2), 287. <https://doi.org/10.3390/land11020287>
- Ometto, J.P., K. Kalaba, G.Z. Anshari, N. Chacón, A. Farrell, S.A. Halim, H. Neufeldt, and R. Sukumar, 2022: Cross-Chapter Paper 7: Tropical Forests. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2369-2410, doi:10.1017/9781009325844.024.
- Paula, P. A., Zambrano, L., y Paula, P. (2018). Análisis multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque*, 9(2), 125-137. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.252>

- Pucha, F. (2019). *Correlación entre el NDVI y el crecimiento anual de especies forestales al Sur de Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad de Salzburgo]. Research Gate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34662.57922>
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System (Version 3.32) [Software de geoinformación]. Open-Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
- R Foundation for Statistical Computing. (2023). R: A language and environment for statistical computing (Version 2023.06.1) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sawut, R., Li, Y., Kasimu, A., & Ablat, X. (2023). Examining the spatially varying effects of climatic and environmental pollution factors on the NDVI based on their spatially heterogeneous relationships in Bohai Rim, China. *Journal of Hydrology*, 617(PA), 128815.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2023). Guía para la formulación/adaptación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – PDOT. Gobierno del Ecuador.
- TIMESAT. (2017). A software package to analyse time series of satellite sensor data (Version 3.3) [Software]. Lund University. <https://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>
- Udivia Zambrano, K.Y. (2020). *Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital – EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21251>
- Wang, J., Rich, P. M., & Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (11), 2345–2364. DOI:10.1080/01431160210154812
- Wang, J., Rich, P. M., & Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364. <https://doi.org/10.1080/01431160210154812>
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R. B., Halofsky, J. E., Hyde, K., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L. M., Vose, J. M., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- World Meteorological Organization (2022). El estado del Clima en América Latina y El Caribe 2021. <https://library.wmo.int/idurl/4/66322>
- Zeng, Y., Hao, D., Huete, A., Dechant, B., Berry, J., Chen, J. M., Joiner, J., Frankenberg, C., Bond-Lamberty, B., Ryu, Y., Xiao, J., Asrar, G. R., & Chen, M. (2022). Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally. *Nature Reviews. Earth & Environment*, 3(7), 477–493.

# Identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares en poblaciones nativas de *Cinchona officinalis* en la provincia de Loja, Ecuador

## *Morphological identification of arbuscular mycorrhizal fungi in native populations of Cinchona officinalis in the Loja province, Ecuador*

Yajaira Arévalo<sup>1,\*</sup> and Paúl Loján<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de investigaciones y Servicios de Análisis Químico (CISAQ), Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, yajaira.arevalo@unl.edu.ec

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, pdlojan@utpl.edu.ec.

\* Autor para correspondencia: yajaira.arevalo@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 06/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 07/08/2023

Fecha de publicación: 30/12/2023

**Resumen**—*Cinchona officinalis* (cascarilla) ha sido usada para combatir la fiebre causada por el paludismo, por esta razón ha sido sobreexplotada en el sur del Ecuador desde la época colonial llegando a diezmar sus poblaciones nativas. Bajo este contexto, es necesario establecer estrategias que permitan la reintroducción de esta especie en sus zonas originales de distribución. Una de estas estrategias es la asociación en su fase temprana de desarrollo con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El objetivo de la presente investigación fue identificar los géneros de HMA asociados a poblaciones naturales de *Cinchona officinalis* a través de un análisis morfológico de las esporas apoyado en descripciones del International Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). La zona de estudio se concentró en cinco sitios del cantón Loja, de donde se extrajeron muestras de rizósfera y raicillas. Posteriormente se instalaron sistemas trampa para el cultivo de hongos micorrízicos arbusculares con *Plantago lanceolata* como planta hospedera. Luego de nueve meses del establecimiento de los sistemas trampa, se calcularon los porcentajes de colonización y longitud de colonización de raíces. El análisis morfológico de las esporas permitió identificar cuatro géneros de hongos micorrízicos arbusculares: *Gigaspora*, *Funneliformis*, *Glomus* y *Acaulospora*, el más abundante fue *Glomus*, seguido de *Acaulospora*, mientras que *Gigaspora* fue el más escaso. El porcentaje de colonización en raíces de *C. officinalis* varió entre el 80% a 89%, mientras que el porcentaje de longitud de colonización de raíz tuvo una variación de entre el 20,97 y 38,12%. Estos resultados sugieren que, en su ecosistema natural, *C. officinalis* tiene una alta colonización de hongos micorrízicos, siendo *Glomus* el género dominante. Los porcentajes de colonización fueron elevados, a diferencia de las plantas trampa, esto pudo deberse a diferencias en las condiciones ambientales y características del suelo.

**Palabras clave**—Simbiosis, Conservación, Restauración ecológica, Perturbación, Adaptación.

**Abstract**—*Cinchona officinalis* (quinine) has been used to combat fever caused by malaria and other types of fevers, which is why it has been overexploited in southern Ecuador since colonial times, leading to the decimation of its native populations. In this context, it is necessary to establish strategies that allow the reintroduction of this species in its original distribution areas. One of these strategies is the association in its early developmental stage with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The objective of this research was to identify the AMF genera associated with natural populations of *Cinchona officinalis* through a morphological analysis of the spores, based on descriptions from the International Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). The study area focused on five sites in the Loja canton, where rhizosphere and root samples were collected. Then, trap systems were established for the cultivation of AMF using *Plantago lanceolata* as the host plant. After nine months of establishing the trap systems, colonization percentages and root colonization length were calculated. The morphological analysis of the spores allowed the identification of four genera of arbuscular mycorrhizal fungi: *Gigaspora*, *Funneliformis*, *Glomus*, and *Acaulospora*, with *Glomus* being the most abundant, followed by *Acaulospora*, and *Gigaspora* being the least common. The percentage of colonization in *C. officinalis* roots ranged from 80% to 89%, while the percentage of root colonization length in field samples varied between 20.97% and 38.12%. These results suggest that in its natural ecosystem, *C. officinalis* has a high colonization of arbuscular mycorrhizal fungi, with *Glomus* being the dominant genus. The colonization percentages were high, unlike the trap plants, which could be attributed to differences in environmental conditions and soil characteristics.

**Keywords**—Symbiosis, Conservation, Ecological restoration, Disturbance, Adaptation.

## INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Cinchona* fueron catalogadas como “Salvadoras de la Humanidad” (Zevallos, 1989) y

“Planta Nacional del Ecuador” (Acosta-Solis, 1989), al ser medicina natural de tradición incaica (Villar del Fresno y Doadrio, 2008), por su uso en el tratamiento de fiebre causada por el paludismo, desde la época colonial (alrededor

de 1630) (Canales *et al.*, 2020; Júnior *et al.*, 2012; Zevallos, 1989). La Corona Española declaró a los bosques de cascari-lla de las colinas cercanas a Loja como Reserva Real en 1751 (Crawford, 2016) con la finalidad de proveer de *Cinchona* a la Farmacia Real de Madrid (Fernández-Pérez *et al.*, 2004).

*C. officinalis*, quina o cascarilla, es una especie endémica del Valle de Loja (Acosta-Solis, 1946; Garmendia, 2005), pertenece a la familia Rubiaceae. Posee hojas simples, enteras, de disposición opuesta e inflorescencias cimosas completas (Villar del Fresno y Doadrio, 2008). El género *Cinchona* está compuesto por árboles y arbustos que pueden alcanzar hasta 20 m de altura con un diámetro entre 15 y 20 cm (Júnior *et al.*, 2012) de madera liviana con poco brillo (Feijóo *et al.*, 2019).

Los árboles de *Cinchona* tienen una amplia distribución; se han encontrado especímenes desde Costa Rica hasta Bolivia (Andersson, 1998) en un gradiente altitudinal desde 640 a 3200 m s.n.m., pueden ser encontrados en la mayoría de bosques andinos en las estribaciones oriental y occidental de la Cordillera de los Andes (López, 2016), pero la cascarilla de Loja fue considerada como la mejor según curanderos y shamanes de la época quienes poseían sus propios métodos para evaluar e identificar los diferentes tipos de corteza (Crawford, 2016; Fernández-Pérez *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2006). Es así que la cascarilla fue explotada por más de un siglo en los sectores Cajanuma y Uritusinga (Armijos-González y Pérez-Ruiz, 2016), provocando que toneladas de corteza fueran enviadas a diferentes partes del mundo (Nair, 2010). La importancia medicinal de la quina radica en sus componentes químicos propios de la familia Rubiaceae: quinina, quinidina, cinconina, cinconidina y diastereoisómeros (Aymard, 2019; Bajtai *et al.*, 2020; Canales *et al.*, 2020; Choong, 2009; Nair, 2010).

Desde el siglo XVIII, los bosques de *Cinchona* fueron perturbados en su hábitat natural al ser descortezados y talados, sin considerar criterios para su conservación (Fernández-Pérez *et al.*, 2004). Los avances científicos promovieron que en el siglo XX los compuestos químicos provenientes de *Cinchona* fueran sintetizados, lo que ocasionó que la demanda de corteza de *C. officinalis* disminuyera, reduciendo la presión sobre los bosques andinos donde se desarrolla esta especie (Armijos-González y Pérez-Ruiz, 2016). Sin embargo, actividades antrópicas como la conversión de bosques hacia áreas donde se practica la agricultura y ganadería continúan ejerciendo presión sobre los bosques andinos (Aymard, 2019), lo cual ha generado consecuencias severas para los remanentes de *C. officinalis* y los bosques andinos en general, ya que ha resultado en una reducción de la diversidad genética y endogamia de las especies que habitan estas zonas (Cueva-Agila *et al.*, 2019).

En la actualidad las especies de *C. officinalis* están expuestas a problemas de conservación y regeneración natural, y la vegetación original de sus zonas de distribución ha sido eliminada casi en su totalidad (Villar del Fresno y Doadrio, 2008). A pesar de que *C. officinalis* tiene una alta capacidad de formar semillas, la regeneración natural de esta especie es baja, debido a la especificidad en los requerimientos de crecimiento y germinación de la especie, esto ha provocado que exista escasez de condiciones para su crecimiento y conservación (Armijos-González y Pérez-Ruiz, 2016). La semilla de *C. officinalis* tiene un bajo nivel de pureza y viabilidad y

características recalcitrantes, lo que provoca que no puedan ser conservadas por largos periodos de tiempo, dificultando la propagación sexual de la especie (Caraguay-Yaguana *et al.*, 2016). Esto ha provocado que la diversidad y población de *C. officinalis* no se pueda recuperar y cada vez sea más difícil de encontrar en los bosques andinos (López, 2016).

La especificidad de condiciones para la propagación y regeneración de *Cinchona officinalis*, está ligada a las poblaciones de microorganismos que interactúan en las raíces de las especies en regiones montañosas (Jäger *et al.*, 2007). En los Andes existe una gran diversidad de hongos que se relacionan de forma simbiótica con las especies vegetales, donde las plantas reciben nutrientes como el fósforo y nitrógeno proveniente del suelo (Barnes *et al.*, 2016). Las micorrizas arbusculares son asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y hongos del suelo, que son capaces de mejorar la absorción de nutrientes y agua por parte de la planta. Estos hongos son muy comunes en la naturaleza llegando a establecer relaciones simbióticas con más del 80% de las plantas terrestres (Smith y Read, 2010).

En el contexto de la introducción de especies forestales, las micorrizas arbusculares también juegan un papel importante, siendo esenciales para el éxito de la restauración de bosques tropicales, ya que pueden mejorar la supervivencia y el crecimiento de las plántulas introducidas (Urgiles *et al.*, 2009). Las estrategias para ayudar al establecimiento y crecimiento de plántulas de *C. officinalis* se basan en la simbiosis y caracterización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y su ubicación en diferentes escalas geográficas (Haug *et al.*, 2010). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue identificar los principales géneros de HMA que se encuentran asociados con *C. officinalis* en el valle de Loja, evaluar la colonización micorrízica natural de la especie y generar aportes importantes para el conocimiento local relacionado con la regeneración de *C. officinalis* en asociación con HMA y su posterior incorporación a bosques naturales de la zona o para su inoculación en la fase de propagación en vivero. Para esto, se evaluó también la morfología y porcentajes de colonización en plantas trampa *Plantago lanceolata* para detectar, monitorear y evaluar la presencia y actividad de organismos específicos en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

La zona de estudio se ubicó en el cantón Loja y provincia de Loja, Ecuador, latitud: 3°59.588' S, longitud 79°12.253' O donde se recolectaron muestras de rizósfera y raicillas de individuos adultos de cascarilla de cinco sectores diferentes: i) Parque Nacional Podocarpus (sector Cajanuma), ii) Granadillos, iii) Congoya, iv) Yamburara y v) Uritusinga (Figura 1).

### Recolección de raicillas y rizósfera

Una vez identificados los remanentes de *C. officinalis*, junto a la base de cada árbol se realizó un agujero de ~15 cm en el suelo de donde se extrajeron raicillas y suelo de rizósfera, la recolección se realizó en 10 individuos adultos excepto en el sector de Uritusinga donde solo se encontraron especímenes jóvenes (tres años). Las muestras de raicillas fueron con-

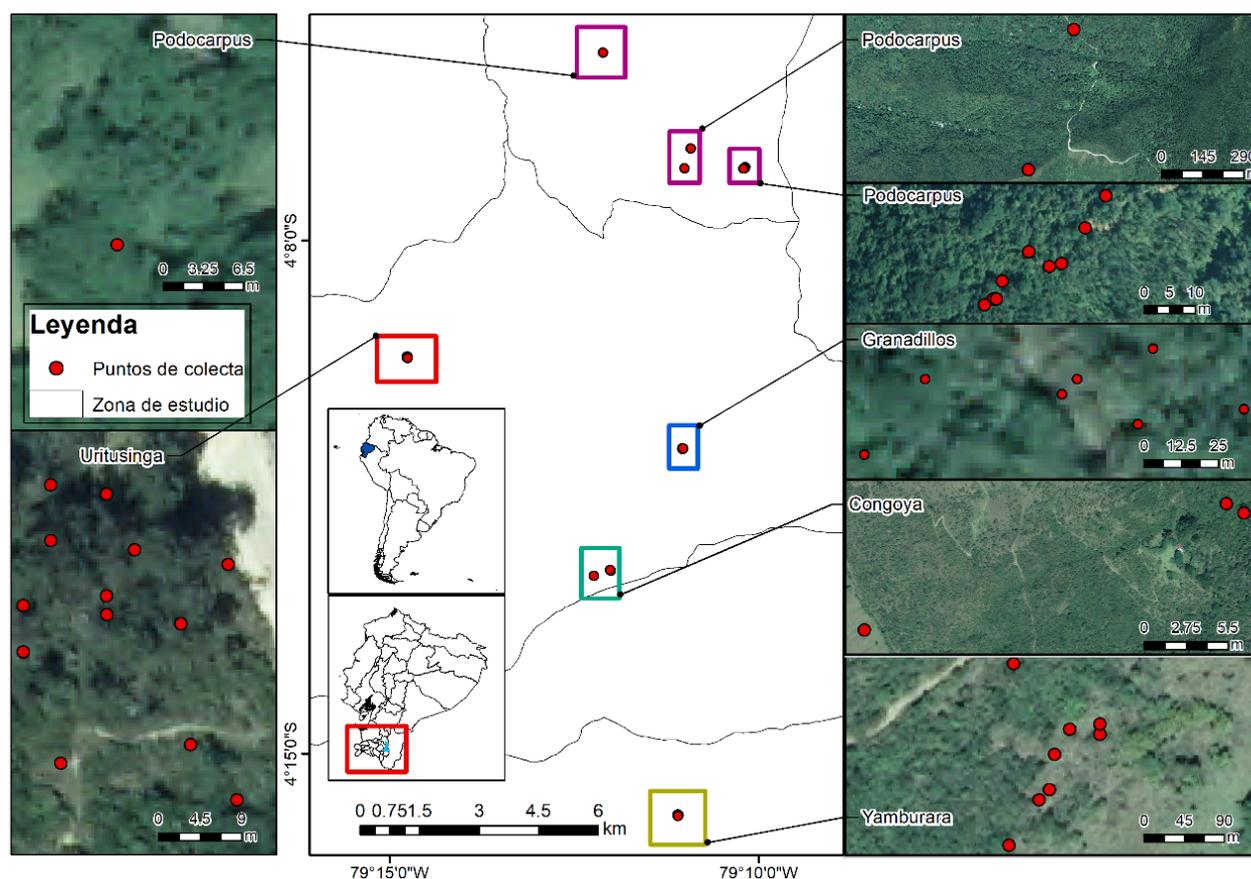


Fig. 1: Caracterización de los sitios de colecta de muestras de rizósfera y raicillas de individuos adultos de cascarilla.

servadas usando tubos Falcon de 50 ml con alcohol al 70 %, mientras que las muestras de suelo rizosférico se colocaron en bolsas selladas y rotuladas, y se trasladaron al Laboratorio de Cultivo y Conservación de microorganismos de la Universidad Técnica Particular de Loja, donde se conservaron en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

### Instalación de plantas trampa

Debido a la naturaleza de simbioses obligados de los HMA, se utilizó *Plantago lanceolata* como planta hospedera para el establecimiento de los cultivos trampa. Se utilizó un sustrato a base de arena de mina y tierra en proporción 2:1, v/v. El sustrato fue esterilizado una vez durante 20 minutos (120 °C, 1,1kgf/cm<sup>2</sup>) y se colocó en macetas de 1 kg (75 % de su volumen). Para el establecimiento de los cultivos trampa de HMA, se pesaron 100 g de suelo rizosférico (suelo de rizósfera + raicillas) de cada árbol y se realizó una muestra compuesta por cada sitio. De esta muestra se prepararon siete cultivos trampa de HMA por sitio. Cada maceta contenía ~750 g de sustrato desinfectado, 100 g de suelo rizosférico y 10 semillas desinfectadas de *P. lanceolata*. Las macetas se colocaron dentro de fundas sunbag (Sigma-Aldrich) y permanecieron en el invernadero durante nueve meses desde la siembra hasta la cosecha para análisis de las esporas y raíces (Walker, 1999), se instalaron también siete macetas de plantas testigo con sustrato y semilla desinfectado sin suelo rizosférico de campo ni raicillas.

### Aislamiento de esporas

El aislamiento de las esporas de HMA se hizo tanto de las muestras de suelo colectadas del campo (días luego del muestreo) como de los cultivos trampa (al finalizar los 9 meses de establecimiento de los cultivos). En ambos casos se siguió el procedimiento propuesto por Gerdemann y Nicolson (1963). Como primer paso se prepararon muestras compuestas de suelo por cada sitio (la primera en el momento de la instalación y la segunda al aislar las esporas). Para ello, se colectaron 100 g de suelo de cada cultivo trampa, la muestra se colocó en un recipiente, al cual se añadió agua corriente y se agitó con una varilla de vidrio por cinco minutos hasta disolver los agregados de suelo. Luego de revolver, se esperó 30 segundos para que los materiales pesados se precipitaran y se vertió el sobrenadante sobre dos tamices de 125 µm y 45 µm, apilados en ese orden desde arriba hacia abajo. Se repitió este proceso hasta que el agua del recipiente con la muestra de suelo hubiera tomado un color transparente claro. Los sólidos retenidos en los dos tamices fueron colocados en tubos Falcon de 50 ml, se añadieron 40 ml de agua destilada y se centrifugaron a 3500 revoluciones durante tres minutos y se eliminó el sobrenadante para desechar la materia orgánica en exceso procedente del suelo rizosférico. En el siguiente paso, se agregó a los tubos 40 ml de una solución de sacarosa al 70 %, se agitó la mezcla hasta disolver el pellet de suelo y se llevó a la centrifuga a las condiciones descritas. Terminado este proceso se colocó el sobrenadante sobre un tamiz de 38 µm y se lavó bajo un chorro de agua, los sólidos fueron colocados en un tubo Falcon con agua destilada y refrigerados para su posterior análisis.

### Análisis morfológico de esporas y establecimiento de morfotipos

El material recolectado en los tubos se vertió en lunas de reloj y fue observado a través de un estereoscopio ZEISS Ste-mi DV4 de 32x. Con ayuda de una pipeta Pasteur se separaron todas las esporas de HMA con apariencia de viabilidad (con contenidos lipídicos, sin manchas en la pared externa de las esporas y turgentes) de los residuos. Las esporas recolectadas fueron colocadas en tubos Eppendorf de 1,5 ml con etanol al 70%. Se separaron en función de su forma, color, tamaño (se midió el diámetro de 20 esporas por morfotipo y se obtuvo la media), ornamentación y presencia de hifa de suspensión llegando así a establecer diferentes morfotipos (Bagyaraj y Stürmer, 1995). Se realizaron montajes permanentes con soluciones de alcohol polivinílico-ácido láctico-glicerol (PVLG) y PVLG con solución de Melzer (1:1, v/v). Las observaciones microscópicas de las placas se realizaron en un microscopio óptico con objetivos 40x y 100x. Las características fueron anotadas y contrastadas con las descripciones del INVAM - The International Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Schenck, 2006).

### Tinción de raicillas de *Cinchona officinalis*

Las raicillas de cada árbol que fueron extraídas se cortaron en piezas de un centímetro, se colocaron en tubos Eppendorf de 1,5 ml y siguiendo el método propuesto por Phillips y Hayman (1970), las raicillas fueron aclaradas en KOH al 10% a 80 °C por una hora en un bloque de calentamiento Fisher Scientific, enjuagadas tres veces con agua corriente y acidificadas con HCl al 10% a temperatura ambiente por 10 minutos. Se desechó el HCl y los segmentos de raicilla sin enjuagar se tiñeron con 0,05% de azul de metileno diluido en ácido láctico al 90% a 80 °C durante una hora en el bloque de calentamiento. Finalmente, las raicillas se enjuagaron con ácido láctico al 50% para eliminar el exceso de azul de metileno.

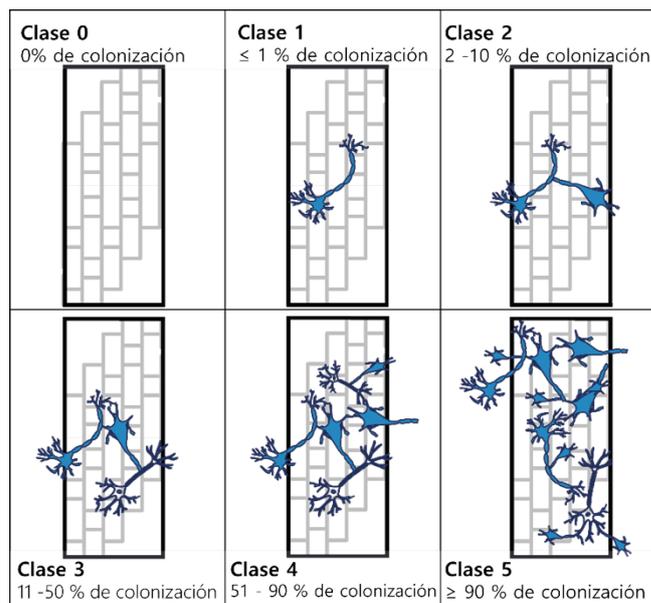
### Tinción de raicillas de *Plantago lanceolata*

Para la tinción de raicillas se usó la metodología ya mencionada con diferencias de temperaturas y tiempos de tinción, las raicillas se colocaron en KOH durante 30 minutos a una temperatura de 65 °C en el bloque de calentamiento; luego de tres enjuagues con agua destilada, se colocó HCl durante un minuto y sin enjuagar se colocó azul de metileno al 0,05% por 30 minutos a 65 °C en el bloque de calentamiento. Los segmentos de raicilla tinturados se colocaron en portaobjetos con un microscopio con una amplificación de objetivo 40x y se observaron las vesículas, arbuscúlos e hifas.

### Evaluación del porcentaje de colonización por HMA

Para determinar los niveles de colonización de las raíces en *Plantago lanceolata* se examinaron cinco plantas por sitio, y para *Cinchona officinalis* se analizó una placa por árbol, siguiendo la metodología propuesta por Trouvelot *et al.* (1986), en la que se asigna una categoría, tomando en cuenta las estructuras micorrízicas y su abundancia: cada fragmento de raíz fue calificado de 0 a 5 según su nivel de colonización

(Figura 2).



**Fig. 2:** Clases de hongos micorrízicos arbusculares usados para cuantificar el porcentaje de colonización. Adaptado de Trouvelot *et al.* (1986).

La frecuencia del porcentaje de colonización (%F) fue determinada con la ecuación 1:

$$\%F = \frac{N - no}{N} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de fragmentos observados y  $no$  es el número de fragmentos sin colonias de micorrizas.

La intensidad de colonización, medida mediante el porcentaje de la longitud radicular colonizada (%RLC), fue calculada con un promedio de 30 raicillas por árbol usando la ecuación 2:

$$\%RLC = \frac{95n^5 + 70n^4 + 30n^3 + 5n^2 + n}{N} \quad (2)$$

Donde  $n^5$ ,  $n^4$ ,  $n^3$ ,  $n^2$ ,  $n$  son la cantidad de fragmentos registrados como 5, 4, 3, 2, 1 y  $N$  es el total de fragmentos observados.

El porcentaje de colonización de raíz indica cuán invadidas se encuentra el grupo de raicillas observadas por HMA, mientras que el porcentaje de RLC indica, mediante categorías, el porcentaje de invasión del individuo evaluado.

### Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó utilizando las librerías *normtest*, *nortest* y *moments* en R Core Team (2021). La normalidad de los datos fue verificada para determinar el tipo de análisis a implementar. Se efectuó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos de colonización de raíces y colonización de la longitud de la raíz. Una vez determinado el comportamiento no paramétrico de los datos se procedió a realizar un test de Levene utilizando la librería *Car* en R Core Team (2021), esto permitió analizar la homocedasticidad de los datos y así verificar el comportamiento homogéneo de las medias, así como la distribución de las varianzas. Debido a que no se cumplió con el supuesto de

**Tabla 1:** Características de esporas usadas para la identificación de morfotipos de HMA en *Cinchona officinalis* de la provincia de Loja, Ecuador.

Morfotipo	Tamaño (um)	Forma	Color	Melzer	N. de paredes	Hifa	Característica pared
<i>Acaulospora</i>	75,19 – 299,7	Globosa, subglobosa	Amarillo anaranjado, amarillo claro, amarillo pastel, marrón anaranjado.	Positivo	3	Cilíndrica	Rugosa
<i>Funneliformis</i>	62,87 – 251,50	Globosa, subglobosa	Amarillo anaranjado, amarillo claro, amarillo pastel, amarillo con tinte verde pálido	Negativo	3	Cilíndrica	Cicatriz
<i>Gigaspora</i>	202,15 – 923,52	Globosa, subglobosa	Amarillo anaranjado, amarillo claro, amarillo pastel	Negativo	3	Ninguna	Lisa
<i>Glomus</i>	51,73 – 148,72	Elipsoidal, globosa, subglobosa	Amarillo anaranjado, amarillo claro, amarillo pastel, amarillo con tinte verde pálido	Negativo	3	Acampanada	Lisa

**Tabla 2:** Número de esporas viables caracterizadas por género y sitio en 100 g de suelo, tanto directamente de campo (directamente en *Cinchona officinalis*) como de las plantas trampa (*Plantago lanceolata*).

Sitios	N. de esporas viables caracterizadas	Géneros			
		<i>Glomus</i>	<i>Funneliformis</i>	<i>Acaulospora</i>	<i>Gigaspora</i>
<b>Campo</b>					
Cajanuma	41	28	1	10	2
Granadillos	64	37	10	12	5
Yamburara	60	22	19	18	1
Congoya	35	11	10	13	1
Uritusinga	23	15	6	2	0
<b>Plantas trampa</b>					
Cajanuma	16	7	5	4	0
Granadillos	41	25	13	0	3
Yamburara	22	16	3	3	0
Congoya	22	17	2	1	2
Uritusinga	25	8	17	0	0
<b>Total</b>	<b>349</b>	<b>186</b>	<b>86</b>	<b>63</b>	<b>14</b>

distribución normal, se procedió a realizar el test de Kruskal-Wallis implementado para un set de datos no paramétricos, considerando un nivel de significancia del 0,05, este test emplea rangos al comparar las medianas y contrasta la hipótesis de que las muestras han sido obtenidas de una misma población o no.

## RESULTADOS

### Identificación morfológica de esporas

A partir del análisis morfológico de las esporas recolectadas, en todos los sitios se lograron identificar cinco morfotipos de HMA (Figura 3) que luego se clasificaron en cuatro géneros.

La identificación se realizó tomando en cuenta características similares de color, forma, tamaño, número y rasgos de paredes, tipo de hifa, ornamentación y reacción al reactivo de Melzer (Tabla 1).

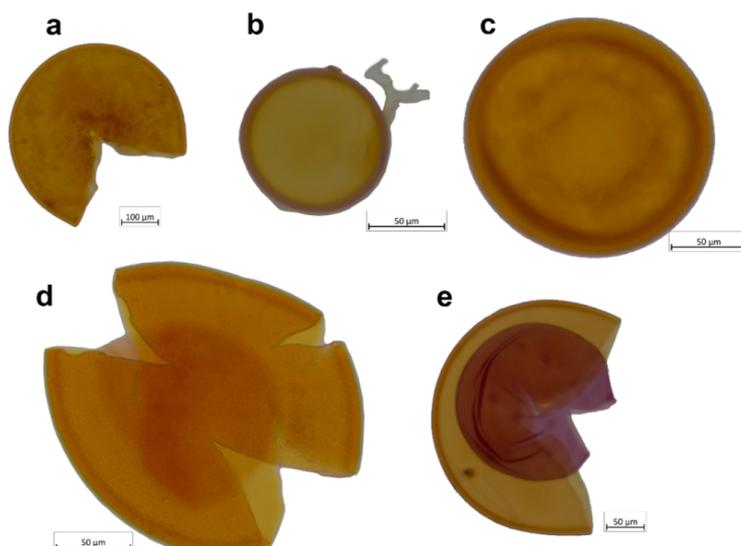
El morfotipo de esporas más abundante corresponde a esporas con características similares en forma color y estructura a las esporas del género *Glomus* con un número de esporas

viables contabilizadas de 186, seguido de *Funneliformis* con 86, *Acaulospora* 63, mientras que *Gigaspora* exhibió el menor número con solo 14 esporas (Tabla 2).

### Porcentaje de colonización en raíces de *Cinchona* (campo), y en raíces de *Plantago lanceolata* (plantas trampa)

Las principales estructuras encontradas en las raíces correspondieron a: hifas, vesículas y esporas intrarradiculares. Se observó una abundante colonización en las raíces de cascarilla obtenidas de campo que varió entre el 80 y 89%, en las plantas trampa el porcentaje de colonización fluctuó entre el 2 y 7%. Por otro lado, el porcentaje de RLC de muestras de campo tuvo una variación de entre el 20,97 y 38,13%, y en las plantas trampas fue considerablemente menor entre 0,20 y 1,53% (Tabla 3).

La comparación de los datos de colonización en frecuencia e intensidad por sitio, incluido muestras de campo y plantas trampa, arrojó un p-value de 0,31 (>0,05), por lo que se concluyó que no existen diferencias significativas entre los sitios



**Fig. 3:** Morfotipos de esporas encontradas en *Cinchona officinalis* de las zonas de estudio de la provincia de Loja, Ecuador: a) *Gigaspora* (10x); b) *Funneliformis* (40x); c) *Glomus* (40x); d) *Acaulospora* (40x); e) *Acaulospora* (20x). Esporas observadas en PVLG + Melzer.

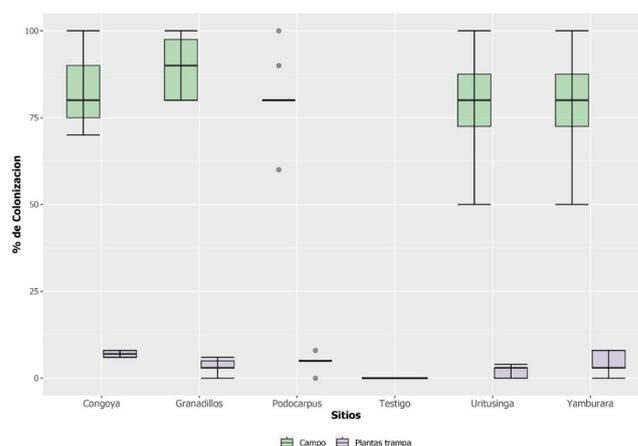
de estudio. Se realizó un análisis por pares de datos, en donde se encontró diferencias significativas entre el testigo y los otros lugares muestreados. El único grupo que mostró diferencias significativas con el resto de sitios fue el testigo, ya que este grupo de plantas trampa no tenía esporas, hifas o raíces colonizadas provenientes del campo.

**Tabla 3:** Porcentaje de colonización y porcentaje de RLC en *Cinchona officinalis* (campo) y *Plantago lanceolata* (planta trampa).

Sitio	Variable	Colonización %	RLC %
Podocarpus	Campo	81,00	38,12
Granadillos	Campo	89,00	35,35
Yamburara	Campo	79,00	33,81
Congoya	Campo	83,33	29,50
Uritusinga	Campo	80,00	20,97
Podocarpus	Planta trampa	4,60	1,36
Granadillos	Planta trampa	3,40	0,92
Yamburara	Planta trampa	4,40	0,52
Congoya	Planta trampa	7,00	1,53
Uritusinga	Planta trampa	2,00	0,20
Testigo	Planta trampa	0,00	0,00

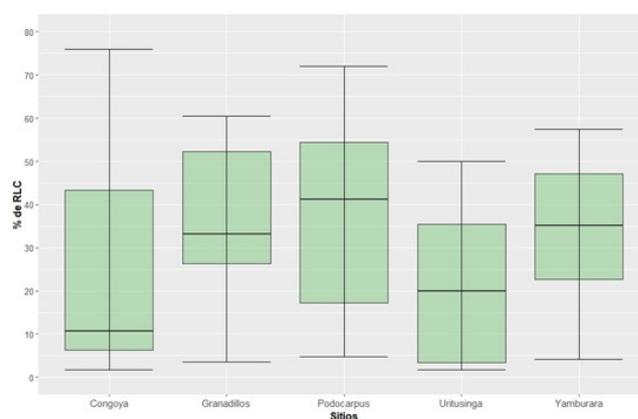
La Figura 4 nos permite apreciar que existió un mayor porcentaje de colonización en las muestras de campo, con promedios muy similares en todos los sitios, entre 79 y 83%. La colonización de las raíces de Uritusinga y Yamburara tienen un comportamiento similar, tanto en las medias como en los valores mínimos y máximos, Congoya mantiene el mismo promedio y el mismo máximo pero un mínimo mayor, mientras que Granadillos tiene un valor de media superior, pero al igual que en los otros tres sitios presenta muestras que alcanzan el 100%. Por su parte, las muestras tomadas en el Parque Nacional Podocarpus presentaron baja variabilidad, a excepción de 3 outliers que pueden ser similares a los niveles de colonización de los otros sitios.

Para las muestras provenientes de campo existe un p-value de 0.5819 ( $>0.05$ ), por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre las muestras de los sitios, tampoco se encontraron diferencias entre el testigo y los demás trata-



**Fig. 4:** Box-plot de porcentaje de colonización de HMA en raíces de *Cinchona officinalis* (campo) y en las plantas trampa *Plantago lanceolata* (plantas trampa).

mientos.



**Fig. 5:** Box-plot de intensidad de colonización de HMA (%RLC) en raíces de *Cinchona officinalis*.

Una vez analizados los datos de porcentaje de colonización por longitud de raíz de HMA en las muestras de *Cinchona officinalis*, se pudo observar que las muestras de cam-

po tienen comportamiento heterogéneo en función de la zona de muestreo. El Parque Nacional Podocarpus muestra un mayor porcentaje de colonización, seguido de Granadillos y Yamburara; Uritusinga muestra un menor porcentaje de colonización junto a Congoya, que tiene una tendencia menor, con ciertas muestras con valores máximos.

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que existe una alta colonización de HMA coexistiendo en las raíces de *C. officinalis* a nivel de campo, las características morfológicas descritas en los resultados fueron comparadas con la base de datos de INVAM (Schenck, 2006), encontrando similitudes y algunas variaciones en su descripción.

En el género *Acaulospora* se coincide en la descripción de las esporas de forma globosa o subglobosa, así como en la presencia de una unión entre la espora y la hifa, además de la reacción positiva al reactivo de Melzer. Sin embargo, se observan discrepancias en cuanto al color de las esporas, se obtuvieron tonos como: amarillo anaranjado y amarillo claro, mientras que en la base de datos señala que las esporas son subhialinas en su etapa juvenil y se tornan marrón claro al madurar.

El género *Funneliformes* descrito en la presente investigación coincide con la base de datos en la forma de las esporas globosa y subglobosa, también se observaron tres capas en la estructura de las esporas y la hifa se describe como cilíndrica, pero se observaron pequeñas variaciones en la identificación de los colores de las esporas, ya que en la base de datos no se menciona la reacción al reactivo de Melzer.

Las características de *Gigaspora* coinciden en su forma globosa y subglobosa y tonalidades de color amarillo anaranjado, claro y pastel, sus paredes presentan tres capas, y aunque en este estudio no se observaron hifas, en el INVAM se describe una hifa sustentadora con un ancho de 32 a 45 micras. Este género fue el menos representado con solo 14 esporas viables, esto podría deberse a que este género requiere de condiciones más específicas de desarrollo y mayor tiempo para esporular (Hart y Reader, 2002). En el género *Glomus* se concuerda en la forma de las esporas: elipsoide, globosa y subglobosa, el color de las esporas en tonalidades de amarillo y en la reacción negativa a Melzer, pero sí existió una variación en la hifa: se observó una hifa acampanada, mientras que la base de datos describe una hifa subtendida.

Las diferencias morfológicas encontradas en todos los géneros descritos pueden atribuirse a variaciones entre especies o subespecies, a diferentes métodos de estudio utilizados o a posibles variaciones en los especímenes analizados. Sin embargo, el hecho de que no haya diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de esporas analizados sugiere que existe una variabilidad aleatoria y no una verdadera diferencia en la población. Es importante destacar que muchos caracteres morfológicos se conservan en diferentes taxones en Glomales, y su diseño simple oculta una divergencia considerable a nivel molecular (Morton y Redecker, 2001; Schussler y Walker, 2010). Walker et al. (2007) en su estudio observó la presencia de un hongo formador de esporas dimórficas, produciendo dos tipos de esporas, cada uno de los cuales se habían clasificado en un género distinto. La caracterización y descripción de especies de HMA están li-

mitadas por el estado del conocimiento y la disponibilidad de referencias, por lo que se vuelve necesario combinar morfología, filogenia y ecología para caracterizar adecuadamente a los HMA (Gamper et al., 2009). Integrando estos enfoques, podremos obtener una visión más completa y precisa de la diversidad y las relaciones evolutivas de los HMA.

El género *Glomus* fue encontrado en todos los sitios muestreados, lo cual podría indicar que tiene un rango de presencia amplio. Esto coincide con el estudio de Apolo (2012) quien identificó a los géneros *Glomus* y *Acaulospora* tanto en la provincia de Loja como en las islas Galápagos. Esta tendencia concuerda con los trabajos de Karaarlan et al. (2015), Medina et al. (2010) y Urgiles et al. (2019), quienes han descrito al género *Glomus* como una especie generalista. Estudios realizados por Guamán (2014) en la provincia de Loja, por Serrano (2013) en las islas Galápagos, por Medina et al (2010) en Cuba y por Pérez y Peroza (2013) en Colombia, coinciden en que el género más dominante es *Glomus* con un porcentaje que va desde el 64,4 al 92 % de los morfotipos evaluados, *Paraglomus* y *Gigaspora* son los menos abundantes con un rango de 1,6 a 4 %.

El menor porcentaje de colonización de raíces de cascarilla fue en el sitio Uritusinga, donde se encontraron los especímenes de menor edad, razón por la cual se asume que la simbiosis tarda en establecerse, supuesto que coincide con Dodd (2011) quien afirma que las plantas con sistemas radiculares jóvenes son menos micotróficas que las que tienen raíces más gruesas y leñosas y esto determina la capacidad de absorción de nutrientes.

Se obtuvo una abundante colonización y porcentaje de RLC en las raíces de cascarilla obtenidas de campo, mientras que en las plantas trampa estos porcentajes fueron escasos. En estudios similares en *Cinchona*, Guamán (2014), Apolo (2012), Guachón y Prado (2012), Rodríguez (2014) y Serrano (2013) obtuvieron altos porcentajes de colonización de raíz de *Cinchona sp.* que variaron entre el 58 y 100 %, datos que concuerdan con la presente investigación donde se encontró un porcentaje de colonización promedio de 79 % a 83 %, demostrando el alto grado de micotrofia de esta especie, por lo que los HMA podrían tener un rol importante para su desarrollo y adaptación al medio.

Apolo (2012) obtuvo un porcentaje de colonización menor al 1 % en plantas trampa, lo cual coincide con los resultados de esta investigación donde se obtuvo un máximo de 7 % de colonización de raíces de *P. lanceolata*; esta diferencia en porcentaje de colonización entre raíces de campo y plantas trampa se presume podría deberse a la diferencia de las condiciones ambientales y la escasa fertilidad del sustrato usado para *P. lanceolata*: tal y como lo afirman Urgiles et al. (2016), la inoculación de HMA y la aplicación de fertilizantes en cantidades moderadas facilita y mejora el establecimiento de plántulas, teniendo en cuenta que tanto la diversidad de especies de HMA como su dominancia están relacionadas con propiedades físico-químicas del suelo, el contenido de nutrientes y la composición florística de cada lugar (Urgiles et al., 2019; van der Heijden et al., 2003),

Las diferencias de porcentajes de colonización entre los distintos géneros encontrados en el suelo rizosférico, es probable que se atribuyan a la diferencia de estrategias de colonización usadas por los diferentes taxones de HMA: *Glomus* y *Acaulospora* tienen un micelio extra-radicular altamente

infeccioso con hifas delicadas y difusas mientras que *Gigaspora* se regenera con mayor frecuencia a partir de esporas, tienen hifas robustas y densamente agregadas, la latencia de las esporas y las necesidades ambientales específicas para la germinación de las esporas presumiblemente ralentizan la velocidad a la que los HMA que se regeneran por esporas pueden colonizar las raíces de las plantas (Hart y Reader, 2002).

Los resultados de la presente investigación ayudan a comprender la complejidad y dinámica de la rizósfera. El análisis morfológico del suelo puede proporcionar información sobre la estructura y composición del suelo asociado a *C. officinalis*, incluyendo la presencia y distribución de los agregados del suelo y su influencia en la productividad de las plantas y el funcionamiento de los ecosistemas (Rillig y Mummey, 2006). El porcentaje de colonización micorrícica puede indicar la presencia y nivel de la simbiosis entre los hongos micorrícicos y las raíces de las plantas. Philippot *et al.* (2013) en su revisión afirman que la red de micelios puede funcionar como un sistema de mensajería, lo que implica que una alta colonización de HMA podría ser beneficiosa para la planta al permitir una comunicación más eficiente para la activación de las defensas contra herbívoros. El porcentaje de RLC ofrece información sobre la extensión de la red micorrícica y su contribución a la formación de agregados estables en el suelo, que mejoran la porosidad del suelo y permiten el flujo de aire y agua. La rizósfera es compleja y dinámica por lo que entender su ecología y evolución es clave para mejorar la productividad de las plantas y el funcionamiento de los ecosistemas (Philippot *et al.*, 2013).

Este trabajo de investigación evidencia la simbiosis entre *C. officinalis* y los HMA que podría servir de línea base en futuras investigaciones que permitan incrementar el conocimiento sobre la importancia de la asociación micorrícica para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas a través de análisis genéticos para una identificación precisa de las especies. También el estudio de las etapas de desarrollo de las esporas proporcionaría una comprensión más completa de su estructura y características a lo largo del ciclo de vida, y adicionalmente se podrían evaluar las interacciones planta-hongo para estudiar los efectos de la colonización micorrícica en el crecimiento, nutrición y la resistencia de la planta, así como las respuestas del hongo a las condiciones del suelo y la planta huésped.

## CONCLUSIONES

Se observa una alta interacción de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en las raíces de *C. officinalis* a nivel de campo. Se identificaron diversas especies de HMA, entre ellas, *Acaulospora*, *Funneliformes*, *Gigaspora* y *Glomus*. Es importante destacar que el género *Glomus* fue el más prevalente en todos los sitios muestreados, seguido por *Acaulospora*. La colonización de las raíces de *C. officinalis* por HMA mostró altos niveles en el entorno natural, mientras que se registraron niveles bajos en las plantas trampa. Esta diferencia podría atribuirse a las disparidades en las condiciones ambientales y características del suelo entre los árboles en su hábitat natural y los cultivos trampa. Cabe señalar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de HMA entre los diversos sitios de estudio, lo

que sugiere que las condiciones edáficas y climáticas en todos los sitios evaluados podrían ser similares.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Hernán Lucero por su apoyo en la colecta de muestras, a César Benavidez por su apoyo en la toma de datos de campo y asesoría estadística y a la maestría en Biotecnología con Mención en Producción Vegetal de la Universidad Técnica Particular de Loja por el financiamiento y respaldo en la elaboración de esta investigación.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: YA, PL; metodología: PL y YA; análisis formal: YA, PL; investigación: YA, PL; recursos: PL; curación de datos: YA; redacción — preparación del borrador original: YA; redacción — revisión y edición: YA, PL; visualización: YA; supervisión: PL; administración de proyecto: PL; adquisición de financiamiento para la investigación: PL. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Yajaira Arévalo: YA. Paúl Loján: PL.

## FINANCIAMIENTO

Este estudio fue financiado por la Universidad Técnica Particular de Loja, apoyado por el Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

## REFERENCIAS

- Acosta-Solis, M. (1946). *Cinchonas del Ecuador*, Editorial Ecuador-Quito. <https://bibdigital.rjb.csic.es/en/records/item/14677-cinchonas-del-ecuador?offset=1>
- Acosta-Solis, M. (1989). La Cinchona o Quina Planta Nacional del Ecuador. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 17(65), 305–311.
- Andersson, L. (1998). A Revision of the Genus *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). In *Memoirs of the New York Botanical Garden* (p. 64). <https://www.tropicos.org/reference/1020896>
- Apolo, M. (2012). *Germinación en laboratorio e influencia de los hongos micorrízicos y la aplicación de nutrientes en el crecimiento de dos procedencias de Cinchona pubescens, a nivel de invernadero* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/5340>
- Armijos-González, R., y Pérez-Ruiz, C. (2016). In vitro germination and shoot proliferation of the threatened species *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae). *Journal of Forestry Research*, 27(6), 1229–1236. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0272-8>
- Aymard, G. (2019). A brief outline on current taxonomical and nomenclatural aspects of the genus *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43, 234–241. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1079>
- Bagyaraj, J., y Stürmer, S. (1995). Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). *Instituto Nacional de Ecología y*

*Cambio Climático*, 7, 217–242.

- Bajtai, A., Ilisz, I., Howan, D. H. O., Tóth, G. K., Scriba, G. K. E., Lindner, W., y Péter, A. (2020). Enantioselective resolution of biologically active dipeptide analogs by high-performance liquid chromatography applying Cinchona alkaloid-based ion-exchanger chiral stationary phases. *Journal of Chromatography A*, 1611(460574), 12. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460574>
- Barnes, C. J., Maldonado, C., Frøslev, T. G., Antonelli, A., y Rønsted, N. (2016). Unexpectedly High Beta-Diversity of Root-Associated Fungal Communities in the Bolivian Andes. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01377>
- Canales, N. A., Gress Hansen, T. N., Cornett, C., Walker, K., Driver, F., Antonelli, A., Maldonado, C., Nesbitt, M., Barnes, C. J., y Rønsted, N. (2020). Historical chemical annotations of Cinchona bark collections are comparable to results from current day high-pressure liquid chromatography technologies. *Journal of Ethnopharmacology*, 249(112375), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112375>
- Caraguay-Yaguana, K. A., Eras-guaman, V. H., Gonzalez-Zaruma, D., Minchala-Patiño, J., Yaguana-Arévalo, M., y Valarezo-Ortega, C. (2016). Reproductive potential and seed quality analysis of Cinchona officinalis L., from forest relicts in the Province of Loja – Ecuador. *Investigación Altoandina*, 18(3), 271–280. <https://doi.org/dx.doi.org/10.18271/ria.2016.216>
- Choong, E. (2009). *Cinchona Alkaloids in Synthesis and Catalysis* (C. E. Song (ed.)). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527628179>
- Crawford, M. (2016). *The Andean Wonder Drug*. University of Pittsburgh Press. <https://upittpress.org/books/9780822944522/>
- Cueva-Agila, A., Vélez-Mora, D., Arias, D., Curto, M., Meimberg, H., y Brinegar, C. (2019). Genetic characterization of fragmented populations of Cinchona officinalis L. (Rubiaceae), a threatened tree of the northern Andean cloud forests. *Tree Genetics y Genomes*, 15(6), 81. <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1393-y>
- Dodd, J. (2011). Recent advances in understanding the role of arbuscular mycorrhizas in plant production. *Inter-Relação Fertilidade, Biologia Do Solo e Nutrição de Plantas*, 3(10), 486–496.
- Feijó, C., Francis, E., Milena, C., Fanny, H., Danny, R., Jorge, J., Moreno, J., Magaly, Y., Víctor, E., y Darwin, P. (2019). Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de Cinchona officinalis (L.) Ruiz y Cinchona macrocalyx Pav. ex DC en relictos boscosos al sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 94–109.
- Fernández-Pérez, J., Jiménez-Artacho, C., y Fonfría-Díaz, J. (2004). Las Quinas de Caldas. In *VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas* (Vol. 40, pp. 226–243). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1091020>
- Gamper, H. A., Walker, C., y Schüßler, A. (2009). Diversispora celata sp. nov: molecular ecology and phylotaxonomy of an inconspicuous arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist*, 182(2), 495–506. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02750.x>
- Garmendia, A. (2005). *El árbol de la Quina (Cinchona spp.) Distribución, caracterización de su hábitat y arquitectura*. Universidad Técnica Particular de Loja. <https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16276>
- Gerdemann, J. W., y Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Guachón, T., y Prado, M. (2012). *Evaluación del efecto del inóculo Micorrízico arbuscular en el crecimiento de Cinchona pubescens y Cinchona officinalis en condiciones de vivero* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dSPACE.utpl.edu.ec/handle/123456789/2461>
- Guamán, P. (2014). *Identificación de Hongos Micorrízicos Arbusculares en plantas de Cinchona spp. en sitios perturbados y no perturbados de la Provincia de Loja*. [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dSPACE.utpl.edu.ec/handle/123456789/9108>
- Hart, M. M., y Reader, R. J. (2002). Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 153(2), 335–344. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00312.x>
- Haug, I., Wubet, T., Weiß, M., Aguirre, N., Weber, M., Günter, S., y Kottke, I. (2010). Species-rich but distinct arbuscular mycorrhizal communities in reforestation plots on degraded pastures and in neighboring pristine tropical mountain rain forest. *Tropical Ecology*, 51(2), 125–148.
- Jäger, H., Tye, A., y Kowarik, I. (2007). Tree invasion in naturally treeless environments: Impacts of quinine (Cinchona pubescens) trees on native vegetation in Galápagos. *Science Direct*, 140(3–4), 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.014>
- Júnior, W. S. F., Cruz, M. P., dos Santos, L. L., y Medeiros, M. F. T. (2012). Use and importance of quina (Cinchona spp.) and ipeca (Carapichea ipecacuanha (Brot.) L. Andersson): Plants for medicinal use from the 16th century to the present. *Journal of Herbal Medicine*, 2(4), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.07.003>
- Karaarslan, E., Uyanöz, R., y Doğu, S. (2015). Morphological identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza on bulbous plants (Taurus Mountain in Turkey). *Archives of Biological Sciences*, 67(2), 411–426. <https://doi.org/10.2298/ABS140417007>
- KLópez, N. (2016). Evaluación del paisaje y recursos escénicos después de 350 años de explotación de la “cas-carilla” o “quina” Cinchona officinalis L. (Rubiaceae) en el sector Cajanuma-Rumishitana, Ecuador. *Arnaldoa*, 23(2), 461–474. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.232.23205>
- Medina, L., Rodríguez, Y., Torres, Y., y Herrera, R. (2010). Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de la zona de las Caobas, Holguín. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 33–42. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S0258-59362010000300014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0258-59362010000300014)
- Moraes, M., Ollgaard, B., Kvist, L., Finn, B., y Balslev, I.

- (2006). Etnobotánica en los Andes del Ecuador. In *Botánica Económica de los Andes Centrales: Vol. Primera ed* (pp. 1689–1699).
- Morton, J. B., y Redecker, D. (2001). Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*, 93(1), 181–195. <https://doi.org/10.1080/00275514.2001.12063147>
- Nair, K. P. P. (2010). Cinchona (Cinchona sp.). In *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World* (pp. 111–129). Elsevier. <https://doi.org/B978-0-12-384677-8.00004-7>
- Pérez, C. A., y Peroza C, V. (2013). Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichathium aristatum* Benth) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 3362–3369. <https://doi.org/10.21897/rmvz.199>
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., y Van Der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 11, Issue 11, pp. 789–799). <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>
- Phillips, J. M., y Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158–IN18. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- R Core Team. (2018). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rillig, M. C., y Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. In *New Phytologist* (Vol. 171, Issue 1, pp. 41–53). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x>
- Rodríguez, F. (2014). *Inoculación in vitro de hongos micorrízicos (mucl 46238; mucl 43204) independientemente en Cinchona officinalis* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/9103>
- Schenck, N. (2006). *INVAM International Culture Collection of Arbuscular y Vesicular Mycorrhizal Fungi*. <http://fungi.invam.wvu.edu/>
- Schussler, A., y Walker, C. (2010). The Glomeromycota. A species list with new families and new genera. *The Royal Botanic Garden Kew*, 60.
- Serrano, F. (2013). *Identificación molecular de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) asociados a Cinchona pubescens (Rubiaceae): una especie invasora en la isla Santa Cruz (Galápagos)* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/7940>
- Smith, S. ., y Read, D. . (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (Academic P). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Trouvelot, A., Kough, J., y Gianinazzi, V. (1986). Mesure du taux de mycorrhization va d'un systeme radriculaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, 217–221.
- Urgiles, Narcisa; Haug, Ingeborg , Setaro, Sabrina ; Aguirre, N. (2016). *Introduction to mycorrhizas in the tropics with emphasis on the montane forest in Southern Ecuador*.
- Urgiles, N., Lalangui, C., Chamba, E., Loján, P., Poma, L., Encalada, M., y Aguirre, N. (2019). Aislamiento y caracterización morfológica de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) de zonas riparias del Sur del Ecuador: un enfoque a la producción de biofertilizantes. *CEDAMAZ Revista Del Centro de Estudio y Desarrollo de La Amazonía*, 09(01), 1–7.
- Urgiles, N., Loján, P., Aguirre, N., Blaschke, H., Günter, S., Stimm, B., y Kottke, I. (2009). Application of mycorrhizal roots improves growth of tropical tree seedlings in the nursery: a step towards reforestation with native species in the Andes of Ecuador. *New Forests*, 38(3), 229–239. <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9143-x>
- Van der Heijden, M. G., Wiemken, A., y Sanders, I. R. (2003). Different arbuscular mycorrhizal fungi alter co-existence and resource distribution between co-occurring plants. *New Phytologist*, 158(3), 569–578. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00805.x>
- Villar del Fresno, Á., y Doadrio, A. (2008). Perspectivas históricas de Las Quinas; Notas botánicas y Geobotánicas sobre el género Cinchona L. (Rubiaceae, Cinchonoideae, Cinchoneae). In *Las Quinas* (p. 106).
- Walker, C. (1999). Methods for culturing and isolating arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza News*, 11(2), 2–4.
- Walker, C., Vestberg, M., Demircik, F., Stockinger, H., Saito, M., Sawaki, H., Nishimura, I., y Schüßler, A. (2007). Molecular phylogeny and new taxa in the Archaeosporales (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., *Ambisporaceae* fam. nov., and emendation of *Archaeospora* and *Archaeosporaceae*. *Mycological Research*, 111(2), 137–153. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.11.008>
- Zevallos, P. (1989). Taxonomía, distribución geográfica y status del género Cinchona en el Perú. In *Universidad Nacional Agraria La Molina* (p. 75).

# Cambios microscópicos en la madera de 10 especies forestales de la ciudad de Loja, Ecuador

## *Microscopic changes in the wood of 10 forest species from the city of Loja, Ecuador*

Eva Fernanda Cueva Briceño<sup>1</sup> and Darwin Alexander Pucha Cofrep<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: darwin.pucha@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 25/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 05/12/2023

Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—Las especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja brindan múltiples servicios ecosistémicos. Pero el escaso conocimiento sobre su estructura y crecimiento dificulta el manejo en planes de arborización. Por ello, este estudio examinó las características anatómicas de la madera de las diez especies de árboles más comunes (nueve latifoliadas y una conífera) en la ciudad de Loja. El análisis incluyó aspectos cualitativos, cuantitativos e intraanuales, utilizando cortes micrométricos en los planos tangencial, transversal y radial y se basó en la nomenclatura de la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA). Los resultados mostraron que, aunque las características anatómicas cualitativas de la madera no varían en función del sitio de crecimiento, sí lo hacen las cuantitativas. Las características anatómicas más comunes en las especies latifoliadas fueron vasos solitarios, punteaduras alternas, pared de las fibras de delgadas a gruesas, y radios de células procumbentes de 1 y 3 series. Interanualmente, la diferenciación entre madera temprana y tardía fue evidente por el diámetro de los vasos y fibras, un aspecto clave para visualizar mejor los anillos de crecimiento. En consecuencia, se concluye que las características anatómicas, particularmente las cuantitativas como la longitud y el diámetro de los vasos, pueden servir como valiosos indicadores del sitio para evaluar la adaptabilidad de las especies forestales en diferentes áreas urbanas de Loja.

**Palabras clave**—Árboles urbanos, Anatomía de la madera, Cambios intraanuales, Características cuantitativas, Anillos de crecimiento.

**Abstract**—The urban tree species of the city of Loja provide multiple ecosystem services. However, the limited knowledge about their structure and growth hinders their management in arboriculture plans. Therefore, this study examined the anatomical characteristics of the wood from the ten most common tree species (nine broadleaved and one conifer) in the city of Loja. The analysis included qualitative, quantitative, and intra-annual aspects, using micrometric cuts in tangential, transversal, and radial planes and was based on the nomenclature of the International Association of Wood Anatomists (IAWA). The results showed that, although the qualitative anatomical characteristics of the wood do not vary according to the growth site, the quantitative ones do. The most common anatomical features in broadleaved species were solitary vessels, alternate pitting, fiber walls ranging from thin to thick, and procumbent cell rays of 1 and 3 series. On an intra-annual basis, the differentiation between early and late wood was evident by the diameter of the vessels and fibers, a key aspect to better visualize the growth rings. Consequently, it is concluded that the anatomical characteristics, particularly the quantitative ones such as the length and diameter of the vessels, can serve as valuable site indicators to assess the adaptability of forest species in different urban areas of Loja.

**Keywords**—Urban trees, Wood anatomy, Intra-annual changes, Quantitative characteristics, Tree-rings.

## INTRODUCCIÓN

Los árboles de la ciudad de Loja brindan múltiples servicios ecosistémicos (Cipra-Rodríguez et al., 2020). Por lo que analizar la ciudad de Loja como un ecosistema no tiene sólo interés cultural o científico, si no también nos permite aportar soluciones de otros ámbitos propios del funcionamiento interno de la ciudad (Higuera, 2008). Por ello, es importante conocer también aspectos más específicos de la especie, como es su ecología, fisiología, y adaptación a zonas urbanas.

En ese sentido, la caracterización anatómica de la madera de una especie constituye el punto de partida para conocer

el funcionamiento de los organismos vegetales, su comportamiento asociativo y su relación con el ambiente (Grande y Polanco, 2007). Además, nos permite elaborar claves de identificación que facilitan el reconocimiento entre especies (Giménez et al., 2005). Las diferencias de las características anatómicas son como una huella digital para identificar una especie maderable de otra (Rendle, 1932).

Las características anatómicas cuantitativas de la madera son fundamentales para observar diferencias entre individuos y especies. Otras características anatómicas clave en los procesos de identificación de maderas es la presencia o ausencia de los anillos de crecimiento (Grande y Polanco, 2007), los

cuales son elementos fundamentales para proporcionar información intra-anual valiosa en el estudio de eventos ambientales (Rojas-Badilla *et al.*, 2017). Otra característica clave es la distinción de madera tardía y madera temprana (Sass-klassen *et al.*, 2014). Sin embargo, en varias especies tropicales, los anillos de crecimiento son poco visibles, o forman falsos anillos de crecimiento con bandas interanuales que dificultan su correcta datación. No obstante, la característica caducifolia de la especie y la presencia de particularidades climáticas interanuales, suman características para la presencia de especies arbóreas con anillos de crecimiento anual (Egoavil *et al.*, 2020).

En este sentido, para garantizar la sostenibilidad de las especies forestales urbanas que habitan en la ciudad de Loja, es necesario conocer y profundizar estudios en las características anatómicas macro y microscópicas, así como los cambios intraanuales que presenta la madera en cada especie. Esto permitirá tener información sólida basada en estudios científicos para dar nuevas alternativas de manejo, uso y conservación de los árboles urbanos. Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar los cambios cualitativos, cuantitativos, e intraanuales de la madera de las 10 especies forestales más frecuentes en tres sectores (norte, centro, y sur) de la ciudad de Loja.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área estudio

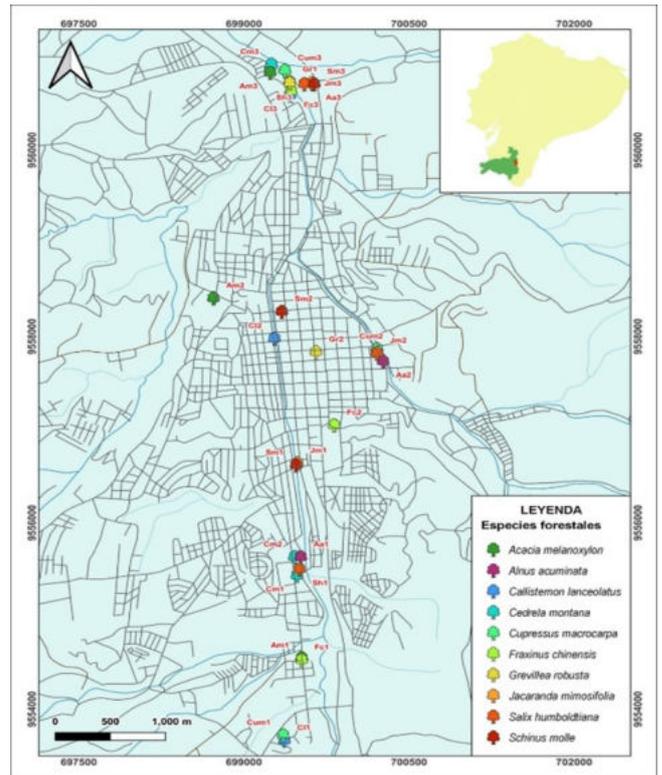
Este estudio se realizó en tres sectores de la ciudad de Loja (norte, centro, y sur) incluyendo avenidas y parques, con diez especies forestales: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz (Cedro), *Acacia melanoxylon* R. Br (Acacia negra), *Alnus acuminata* Kunth, 1817 (Aliso), *Callistemon lanceolatus* Sweet (Calistemo), *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord (Ciprés), *Fraxinus chinensis* Roxb. 1820 (Fresno chino), *Jacaranda mimosifolia* D. Don, 1822 (Arabisco), *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br (Roble), *Salix humboldtiana* Willd (Sauce), *Schinus molle* L., 1753 (Molle). Los análisis anatómicos fueron desarrollados en el laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales ubicado en la Universidad Nacional de Loja, en el marco del proyecto dominado 17-DI-FARNR-2021 “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja” (Figura 1).

### Unidad de muestreo

Por cada especie se seleccionaron tres individuos por especie en los sectores norte, centro, y sur de la ciudad, dando un total de 30 muestras de madera (núcleos). Los criterios de selección de los individuos a muestrear se basaron en el método de selección de caracteres tomando en cuenta: abundancia, accesibilidad del sitio, estado fitosanitario, fuste recto y diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 20 cm. La toma de muestras de madera se realizó a una altura de 1,30 m (DAP) con dirección “N – S” con la ayuda de un barrenado de Pressler de 5,5 mm de diámetro y 40 cm de longitud.

### Cortes anatómicos

Los núcleos de madera fueron llevados al Laboratorio de Anatomía de Madera Tropicales de la Universidad Nacional



**Fig. 1:** Mapa de ubicación y distribución de 10 especies forestales en estudio al norte, centro, y sur de la ciudad de Loja.

de Loja para obtener finas láminas de madera (de 1 a 3  $\mu\text{m}$ ) con un micrótopo GSL1/ WSL (Gärtner *et al.*, 2014). Cabe resaltar, que este es el primer estudio donde se obtuvo cortes anatómicos de los tres planos, transversal, tangencial, y radial a partir de núcleos de madera de 5,5 mm de diámetro. Una vez hechos los cortes, se los colocó en un porta-objetos para ser revisados en el microscopio y así seleccionar los mejores cortes para la tinturación. A cada corte se le colocó Astrablue dejando reposar de 10 a 15 minutos dependiendo de cada especie.

Posteriormente con ayuda de una pipeta se lavó las muestras con alcohol en diferentes concentraciones (50 %, 95 % y 96 %) para quitar el exceso de tinte. Luego con la ayuda de un palillo fue extraída una porción de Bálsamo de Canadá natural y se colocó una mínima cantidad en un extremo de la muestra, luego se procede a ubicar un cubreobjetos sobre la muestra con Bálsamo de Canadá, y se presiona con precaución. Las muestras fueron envueltas en una lámina de papel de aluminio y presionadas con imanes sobre una placa metálica para tener presión constante durante todo el tiempo de secado y evitar que queden burbujas de aire.

Finalmente, las placas metálicas con las muestras se colocaron en la estufa a una temperatura de 75 °C por 24 horas o hasta que se seque completamente el Bálsamo de Canadá, siguiendo la metodología establecida por (Feijoo *et al.*, 2018). Con ayuda del microscopio Olympus BX41TF y el Software Infinity Analyze v5 se tomó fotografías digitales de cada corte en sus diferentes planos y con diferentes objetivos (4X, 10X y 20X) para poder observar con mayor facilidad las características microscópicas establecidas según la nomenclatura “IAWA”.

## Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó con la importación de datos al software R y RStudio para evaluar un total de 87 características anatómicas en 9 especies latifoliadas (Tabla 1), y 42 características para la única especie conífera (Tabla 2). Se realizó una matriz de correlación para identificar las especies que presentaron mayor similitud en sus estructuras anatómicas. Además, se realizaron diagramas de caja (Boxplot) y diagrama de vértices mediante análisis no paramétricos de Kruskal–Wallis, y Wilcoxon test para identificar similitud o diferencias significativas entre los tres sectores estudiados. Este análisis se realizó únicamente para las características cualitativas de la madera entre sitios, y entre características intraanuales de la madera.

El análisis se realizó a partir de las variables: número de vasos, diámetro de lumina de vaso, elemento de vaso, número de radios, tamaño de radios, y punteaduras con 25 mediciones por cada una de las variables. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), con el propósito de buscar relaciones e interacciones entre todas las variables. Finalmente, para el análisis de la evaluación intraanual de madera temprana y tardía se analizaron las siguientes variables cuantitativas: número de vasos, diámetro de vasos, y diámetro de fibras tanto para madera temprana como para tardía, y como variables cualitativas se analizó: la presencia y ausencia de anillos de crecimiento, tipo de vasos, parénquima, tilosis, y fibras.

## RESULTADOS

Se encontró que cinco de las diez especies mostraron anillos de crecimiento visibles (*Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Jacaranda mimosifolia* y *Salix humboldtiana*) con presencia de vasos en patrones radiales de tipo solitarios, punteaduras simples, y punteaduras alternas (excepto *Alnus*); pared de fibra delgada a gruesa (excepto *Salix*), y células radiales todas procumbentes (excepto *Salix*) (Figura 6). Únicamente *Acacia melanoxylon*, *Callistemon lanceolatus*, *Grevillea robusta*, *Schinus molle* y *Cupressus macrocarpa* presentaron anillos de crecimiento poco visibles o ausentes con poros difusos, punteaduras simples, y punteaduras alternas (Figura 2).

En el caso de la especie conífera *Cupressus macrocarpa* se identificó límites del anillo de crecimiento borrosos a ausentes, punteaduras en traqueidas en paredes radiales predominantemente: uniseriados, traqueidas en espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal): presente con el espesor del muro traqueal de la madera tardía: pared delgada, parénquima axial presente con disposición tangencialmente zonificar y con paredes transversales de perlas o nodular, composición en el radio traqueal comúnmente presente, canales intercelulares axiales presente y células epiteliales de pared delgada (Figura 2).

De acuerdo con el análisis de la matriz de correlación se demostró que de las nueve especies estudiadas únicamente tres presentan correlación significativa mayor o igual al 50%. *Cedrela montana* con un 70% de correlación con *Fraxinus chinensis* (p-valor: 1,47E-07), y el 60% de correlación entre *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,0006) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,0008). En cambio, las especies con una menor

correlación fueron *Cedrela montana* con un 40% de correlación con *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,005) y *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,018).

### Características anatómicas cuantitativas de la madera

Se encontró que el mayor número de vasos en promedio los tuvo: *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies *Grevillea robusta* (p-valor: 0,003) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,026) presentaron una varianza moderada entre los tres sectores, a diferencia de las especies *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,985), *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,933) y *Schinus molle* (p-valor: 0,866) que presentaron valores de varianza más bajos.

El mayor número de radios mediante el promedio se presentó en las especies: *Alnus acuminata*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Grevillea robusta* (p-valor: 3,11E-05) y *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,055) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,787), *Schinus molle* (p-valor: 0,669) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,465) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

Las mayores longitudes del radio mediante el promedio se presentaron en las especies: *Grevillea robusta* y *Callistemon lanceolatus*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que la especie: *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,020) presentó una moderada correlación a diferencia de las especies: *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,631) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,542) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los elementos del vaso mayores se presentaron en las especies: *Callistemon lanceolatus* y *Salix humboldtiana*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 1,73E-08), *Cedrela montana* (p-valor: 1,93E-05) y *Grevillea robusta* (p-valor: 7,28E-10) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,803) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,665) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los mayores diámetros de vasos se presentaron en las especies: *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Grevillea robusta*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 5,15E-07), *Cedrela montana* (p-valor: 0,000296) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,000562) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,946), *Grevillea robusta* (p-valor: 0,346) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,199) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los diámetros de punteaduras mayores se presentaron en las especies: *Salix humboldtiana* y *Schinus molle*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 7,88E-05), *Cedrela montana* (p-valor: 0,000274), *Fraxinus chinensis* (p-valor: 4,08E-06), *Schinus molle* (p-valor: 0,000252), *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,00652) y *Grevillea robusta* (p-valor: 0,031) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,157), *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,12) y *Alnus acuminata* (p-valor: 0,112) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

**Tabla 1:** Características anatómicas para especies latifoliadas utilizadas en el presente estudio, de acuerdo con la nomenclatura IAWA.

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Anillo de crecimiento</b>
1	1	Anillo crecimiento visible
2	2	Anillo crecimiento ausentes
		<b>Porosidad - pág. 236</b>
3	3	Anillo poroso
4	4	Anillo semiporoso
5	5	Anillos poros difusos
		<b>Disposición de los vasos o poros - pág. 238</b>
6	6	Vasos en bandas tangenciales
7	7	Vasos en patrones radiales
8	8	Vasos en patrones dendríticos
		<b>Agrupación de vasos - pág. 242</b>
9	9	Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90% o más)
10	10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más
11	11	Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)
		<b>Perfil de vasos solitarios - pág. 244</b>
12	12	Perfil angular de vasos solitarios
		<b>Placas de perforación - pág. 246</b>
13	13	Placas perforadas simples
14	14	Placas de perforación escalariforme
15	15	Placas de perforación escalariformes con $\leq 10$ barras
16	16	Placas de perforación escalariformes con 10 -20 barras
17	17	Placas de perforación escalariforme con 20- 40 barras
18	18	Placas de perforación escalariformes con $\geq 40$ barras
19	19	Reticular, foraminado y/u otros tipos de placas perforadas múltiples
		<b>Punteaduras comunes: disposición y tamaño - pág. 250</b>
20	20	Punteaduras intervasculares escalariformes
21	21	Punteaduras intervasculares opuestas
22	22	Punteaduras intervasculares alternas
23	23	Forma de las punteaduras intervasculares alternas
24	24	Punteaduras diminutas $\leq 4\mu m$
25	25	Punteaduras pequeño 4-7 $\mu m$
26	26	Punteaduras medio 7-10 $\mu m$
27	27	Punteaduras grande $\geq 10\mu m$
		<b>Diámetro medio tangencial de la lúmina de los vasos (Diam_lum_v) – pág. 258</b>
28	40	$\leq 50\mu m$
29	41	50-100 $\mu m$
30	42	100-200 $\mu m$
31	43	200 $\mu m$
32	44	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
33	45	Vasos_dist_clas_diam
		<b>Vasos (poros) por milímetro cuadrado (V_mm2) - pág. 259</b>
34	46	$\leq 5Pmm^2$
35	47	5-20 P mm <sup>2</sup>
36	48	20-40 P mm <sup>2</sup>
37	49	40-100 P mm <sup>2</sup>
38	50	100 P mm <sup>2</sup>
39	51	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
		<b>Longitud media del elemento del vaso - pág. 259</b>
40	52	$\leq 350\mu m$
41	53	350-800 $\mu m$
42	54	V 800 $\mu m$
43	55	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
		<b>Tilosis y depósitos en vasos - pág. 259</b>
44	56	Tilosis común
45	57	Tilosis esclerótica
46	58	Gomas y otros depósitos en vasos del duramen
		<b>Espesor de la pared de fibra - pág. 268</b>

Tabla 1 continúa de la página anterior

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
47	68	Fibras de pared muy fina
48	69	Fibras de pared delgada a gruesa
49	70	Fibras de paredes muy gruesas
		<b>Parénquima axial - pág. 270</b>
50	75	Parénquima axial ausente o extremadamente raro
		<b>Parénquima axial apotraqueal - pág. 270</b>
51	76	Parénquima axial difuso
52	77	Parénquima axial difuso en agregados
		<b>Parénquima axial paratraqueal - pág. 272</b>
53	78	Parénquima axial paratraqueal escaso
54	79	Parénquima axial vasicéntrico
55	80	Parénquima axial aliforme
56	81	Parénquima axial adiamantado aliforme
57	82	Parénquima axial alado aliforme
58	83	Parénquima axial confluyente
59	84	Parénquima axial unilateral paratraqueal
		<b>Parénquima en bandas - pág. 276</b>
60	85	Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho
61	86	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho
62	87	Parénquima axial reticulado
63	88	Parénquima axial escaliforme
64	89	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales
		<b>Parénquima axial por tipo de células longitud de hebra - pág. 280</b>
65	90	Células de parénquima fusiforme
66	91	Dos células por hebra de parénquima
67	92	Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima
68	93	Ocho (5-8) células por hebra de parénquima
69	94	Más de ocho células por hebra de parénquima
70	95	Parénquima no lignificado
		<b>Radios - pág. 282</b>
		<b>Ancho de radio - pág. 282</b>
71	96	Radios exclusivamente uniseriados
72	97	Radios con ancho de 1 a 3 series
73	98	Radios comunmente de 4 a 10 series
74	99	Radios comunmente mayores a 10 series
75	100	Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas
		<b>Radios agregados - pág. 284</b>
76	101	Radios agregados
		<b>Altura de radio - pág. 284</b>
77	102	Radios de altura mayor a 1mm
		<b>Radios de dos tamaños distintos - pág. 286</b>
78	103	Radios de dos tamaños distintos
		<b>Radios: composición celular - pág. 288</b>
79	104	Todas las células procumbentes
80	105	Todas las células verticales y/o cuadradas
81	106	Cuerpo del radio con células procumbentes y una sóla fila de células verticales y/o cuadradas marginales
82	107	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
83	108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
84	109	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales
		<b>Radios por milímetro (r<sub>mm</sub>) - pág. 296</b>
85	114	$R_{\leq} 4/mm$
86	115	$R_{4-12} / mm$
87	116	$R_{\geq} 12/mm$

**Tabla 2:** Características anatómicas para especies coníferas utilizadas en el presente estudio de acuerdo con la nomenclatura IAWA.

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Anillos De Crecimiento</b>
		<b>Presencia de límites en el anillo de crecimiento - pág. 16</b>
1	40	Límites del anillo de crecimiento distintos
2	41	Límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes
		<b>Transición de la madera temprana a la madera tardía - p. 16</b>
3	42	Abrupto
4	43	Gradual
		<b>Traqueidas</b>
		<b>Picadura de traqueida en paredes radiales (sólo en madera temprana) - p. 19</b>
5	44	(predominantemente) Uniseriadas
6	45	(predominantemente) Dos o más seriados
		<b>Disposición de (dos o más seriadas) punteaduras de traqueidas en paredes radiales (sólo madera temprana) - p. 19</b>
7	46	Opuesto
8	47	Alternos
		<b>Depósitos orgánicos (en las traqueidas del duramen) - p. 21</b>
9	48	Presente
		<b>Longitud media de la traqueida (clases de tamaño) - p. 22</b>
10	50	Corto (menos de 3000 m)
11	51	Medio (3000 a 5000 m)
12	52	Largo (más de 5000 m)
		<b>Espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal) - p. 23</b>
13	53	Presente
		<b>Espesor del muro traqueal de la madera tardía - p. 24</b>
14	54	Pared delgada (espesor de pared doble inferior al diámetro del lumen radial)
15	55	Pared gruesa (espesor de pared mayor que el diámetro del lumen radial)
		<b>Parénquima Axial</b>
		<b>Parénquima axial (excluidas las células epiteliales y subsidiarias de los canales intercelulares) - p. 35</b>
16	72	Presente
		<b>Disposición del parénquima axial - pág. 37</b>
17	73	Difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)
18	74	Tangencialmente
19	75	Marginal
		<b>Paredes de los extremos transversales - p. 39</b>
20	76	Lisos
21	77	Engrosamiento irregular
22	78	Perlas o nodulares
		<b>Composición de Radios</b>
		<b>Traqueidas radiales - p. 40</b>
24	79	Comúnmente presente
25	80	Ausentes o muy escasas
		<b>Tamaño Radio</b>
		<b>Altura media de los radios - p. 55</b>
26	101	... < m »>...
		<b>Altura media del radio (número de celdas) - p. 57</b>
27	102	Muy bajo (hasta 4 células)
28	103	Medio (5 a 15 células)
29	104	Alto (de 16 a 30 células)
30	105	Muy alta (más de 30 células)
		<b>Canales Intercelulares</b>
		<b>Canales intercelulares axiales (resina) - p. 58</b>
31	109	Presente
		<b>Canales intercelulares radiales (resina) - p. 60</b>
32	110	Presente
		<b>Canales traumáticos (de resina) (axiales, radiales) - p. 60</b>
33	111	Presente

Tabla 2 continúa de la página anterior

		<b>Células epiteliales (de canales intercelulares) - pág. 62</b>
34	116	De pared gruesa
35	117	De pared delgada
		<b>Inclusiones Minerales</b>
		<b>Cristales - p. 65</b>
36	118	Presente
		<b>Tipo de cristales - p. 65</b>
37	119	Prismático
38	120	Drusas
39	121	Otras formas (especifique)
		<b>Cristales ubicados en - p. 65</b>
40	122	Radios
41	123	Parénquima axial
42	124	Células asociadas a canales intercelulares

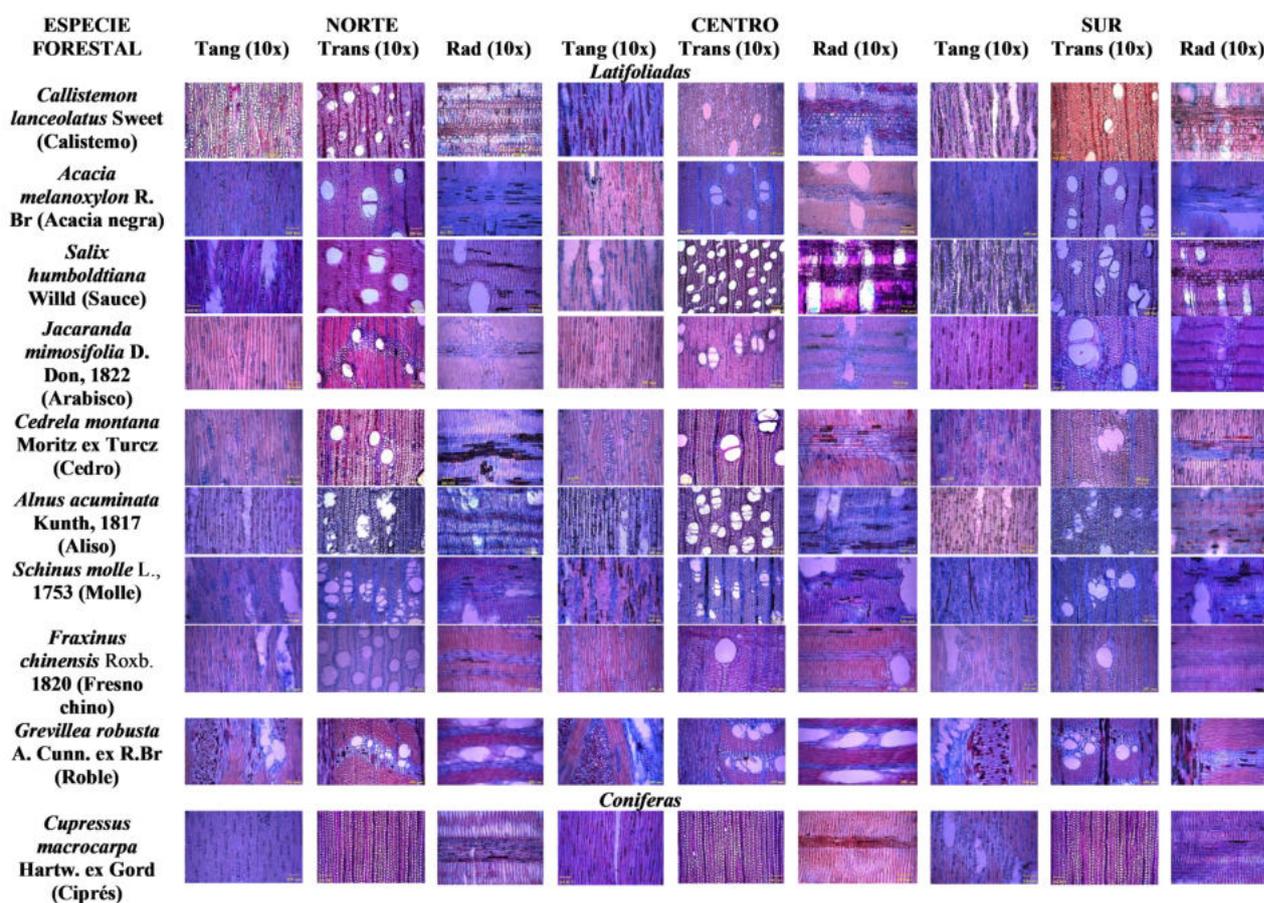


Fig. 2: Imágenes microscópicas de la madera por especie y sector de estudio, en tres planos anatómicos: tangencial, transversal y radial. Aumento 10X

En el caso del análisis cuantitativo de *Cupressus macrocarpa* se encontró que presentó una longitud promedio de la traqueida en el sector norte de 16,91  $\mu\text{m}$ , en el centro 17,01  $\mu\text{m}$ , y en el sur de 14,1  $\mu\text{m}$ . La longitud media de la traqueida fue corta ya que los valores fueron menores de 3000  $\mu\text{m}$ . En el caso de la altura media del radio el sector norte tuvo 169,13  $\mu\text{m}$ , en el centro 123,39  $\mu\text{m}$ , y en el sur 136,83  $\mu\text{m}$ . Mientras que en el promedio del número de células del radio para el sector norte se obtuvo 7,68  $\mu\text{m}$ , en el centro 6,32  $\mu\text{m}$ , y en el sur 7,76  $\mu\text{m}$ . Dándonos una altura media del radio en la categoría medio ya que tuvo de 5 a 15 células.

Mediante el análisis de los diagramas de vértices se encontró que el número de vasos, número de radios, longitud del radio, y diámetro de punteaduras de los sectores estudiados no presentaron diferencias significativas entre sectores (Figura 3). Únicamente se encontró diferencias en el caso de los elementos del vaso debido a que el sector centro y sur no se conectaron con el sector norte. De igual forma, en el diámetro de vasos el sector norte fue significativamente diferente al sector centro y sur, ya que no se conectan los vértices entre sí.

### Relación entre los elementos de vasos con la cercanía a fuentes de agua

Para este análisis se seleccionaron los individuos con una cercanía aproximadamente a 20 metros de distancia a las fuentes de agua de la ciudad, esto para poder afirmar o descartar que los cambios significativos entre sectores se deban a esta condición de crecimiento de cada árbol. Con lo cual, se realizó un análisis estadístico mediante gráficos de vértices (Figura 4) donde se logró determinar que no presentan diferencias significativas ninguna de las variables de los elementos de los vasos con la cercanía a fuentes de agua.

Mediante el análisis PCA de las diferencias en base a la estructura anatómica cuantitativa de la madera de las nueve especies latifoliadas evaluadas, se encontró que la especie más diferente fue *Grevillea robusta*, la cual mostró mayor sensibilidad a las variables diámetro de vasos, y longitud de vasos. En cambio, para las variables número de vasos, diámetro de punteaduras, y número de radios. Las especies con más sensibilidad fueron *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia*. En el caso de *Callistemon lanceolatus* y *Cedrela montana* presentaron mayor sensibilidad a la longitud de vasos y diámetro de vasos. Mientras que *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus chinensis* y *Salix humboldtiana* presentaron mayor sensibilidad al diámetro de punteaduras y al número de radios (Figura 5).

### Cambios intraanuales en la madera

#### Características anatómicas cualitativas

Las especies que presentaron anillos de crecimiento visible para la identificación de madera temprana y tardía fueron: *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Jacaranda mimosifolia*, y *Salix humboldtiana* (Figura 6).

En las especies evaluadas se determinó que la mayor diferencia entre tipo de madera se dio en el parénquima, en cambio donde se presentó similitud entre especies fue en el tipo de vasos, arrojando que todas las especies presentan vasos solitarios tanto para madera temprana como para tardía,

excepto *Alnus acuminata* que presentó vasos en grupos radiales en madera tardía (Tabla 3).

**Tabla 3:** Características presentes en la madera temprana y tardía de las cinco especies que presentaron anillos de crecimiento visibles.

Característica anatómica	Tipo de madera	<i>Alnus acuminata</i> (Aliso)	<i>Cedrela montana</i> (Cedro)	<i>Fraxinus chinensis</i> (Fresno chino)	<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Arabisco)	<i>Salix humboldtiana</i> (Sauce)
Anillos de crecimiento visibles	Temp	X	X	X	X	X
	Tard	X	X	X	X	X
Vasos solitarios	Temp	X	X	X	X	X
	Tard		X	X	X	X
Vasos en grupos radiales	Temp					
	Tard	X				
Tilosis común	Temp					X
	Tard					
Tilosis en gomas	Temp		X			
	Tard		X			
Espesor de la pared de fibra muy delgada	Temp	X				X
	Tard					
Espesor de la pared de fibra delgada a gruesa	Temp		X	X	X	
	Tard	X	X	X	X	X
Parénquima difuso-agregado	Temp				X	
	Tard	X				
Parénquima paratraqueal - escaso	Temp		X			
	Tard					X
Parénquima ausente - difuso	Temp	X				
	Tard					
Parénquima vasicéntrico - marginal	Temp			X		
	Tard		X		X	
Parénquima confluyente	Temp			X		
	Tard					
Parénquima ausente - marginal	Temp					X
	Tard					

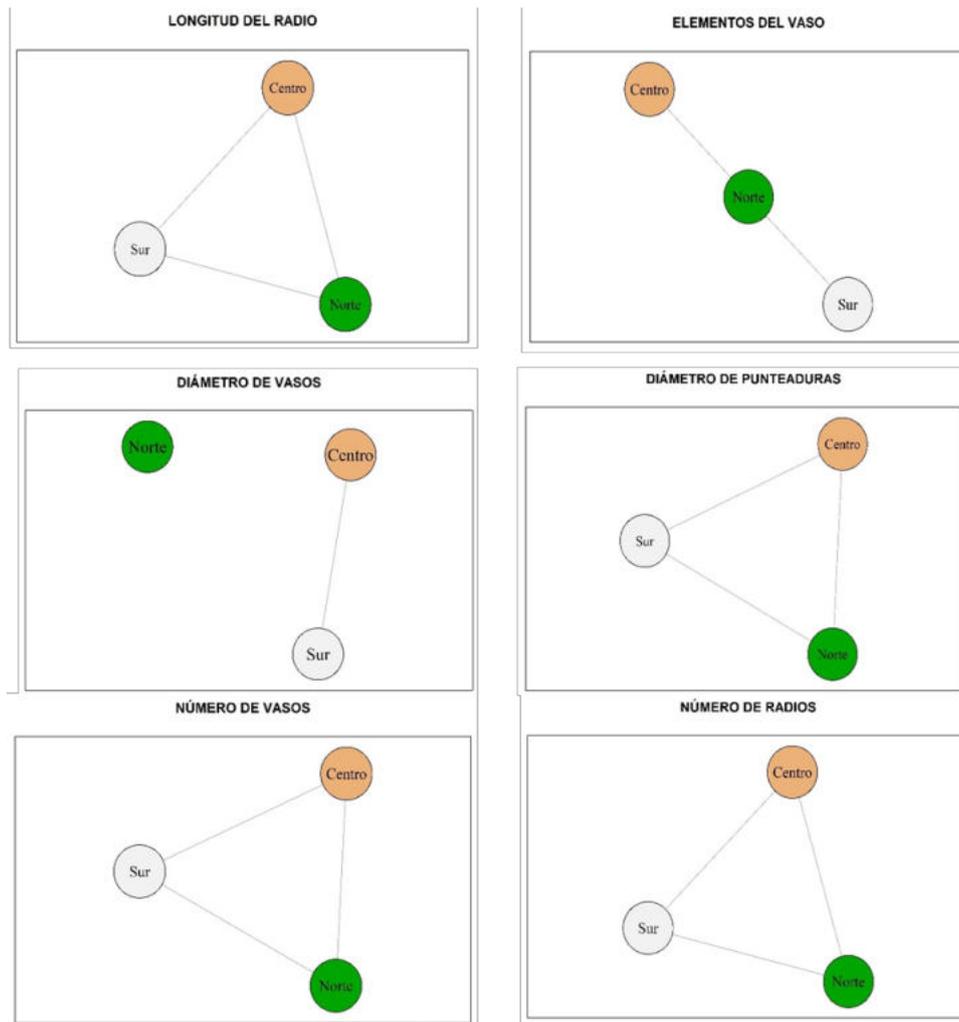
#### Características anatómicas cuantitativas de la madera

El mayor número de vasos mediante el promedio presentaron las especies: *Alnus acuminata* y *Salix humboldtiana*. Además, analizando mediante el tipo de madera se determinó que las especies: *Cedrela montana* (p-valor: 1,41E-06), *Fraxinus chinensis* (p-value: 0,000182) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,0953) presentaron una alta variabilidad a diferencia de la especie *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,862) que presentó los valores de variabilidad más bajos (Figura 5 y 6).

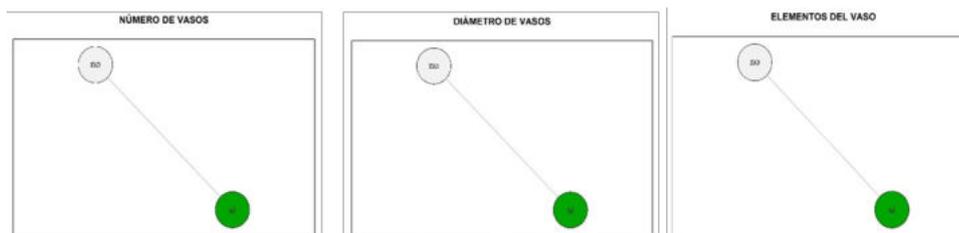
Las especies que presentan el diámetro de vasos mayor mediante el promedio fueron: *Cedrela montana* y *Fraxinus chinensis*. Además, evaluando por el tipo de madera se determinó que las especies: *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,341) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,277) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,495) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,46) que presentó los valores de variabilidad más bajos (Figura 5 y 6).

Las especies que presentan el diámetro de fibras mayor mediante el promedio fueron: *Cedrela montana* y *Salix humboldtiana*. Además, de acuerdo a el tipo de madera se determinó que en las cinco especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,203), *Cedrela montana* (p-valor: 0,304), *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,282), *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,314) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,135) se presentó una alta variabilidad (Figura 5 y 6).

Mediante el análisis de los diagramas de vértices de los cambios intraanuales se determinó que, en el caso del número de vasos no presentó diferencias significativas entre made-



**Fig. 3:** Diagramas de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las nueve especies evaluadas. Los sitios o círculos conectados no son significativamente diferentes (son iguales) a través de las pruebas no paramétricas de Wilcoxon o Mann-Whitney test,  $p$ -valor = 0.01.



**Fig. 4:** Diagramas de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las nueve especies evaluadas, para ver las diferencias significativas por sector.

ras, debido a que se conectan entre ellas. Mientras que para el caso de diámetro de vasos y diámetro de fibras si hay diferencias significativas en los tipos de maderas estudiadas ya que no se conectan entre sí (Figura 7).

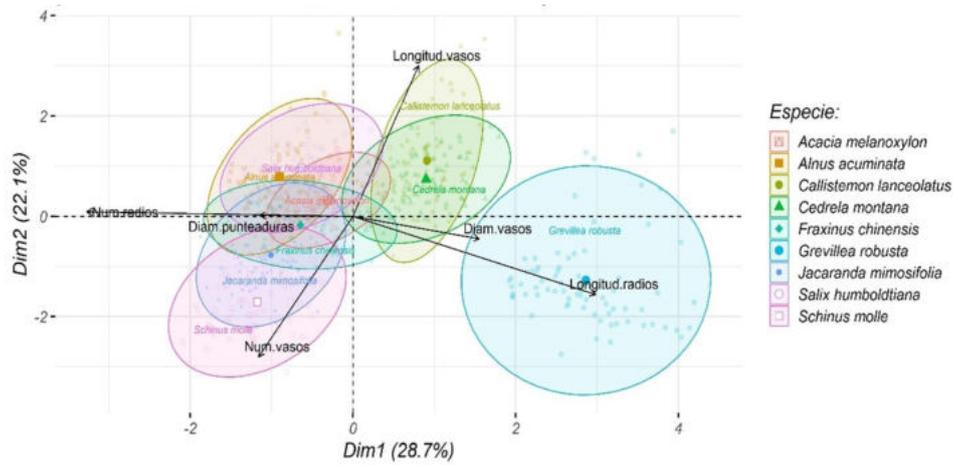
## DISCUSIÓN

### *Características anatómicas cualitativas de la madera*

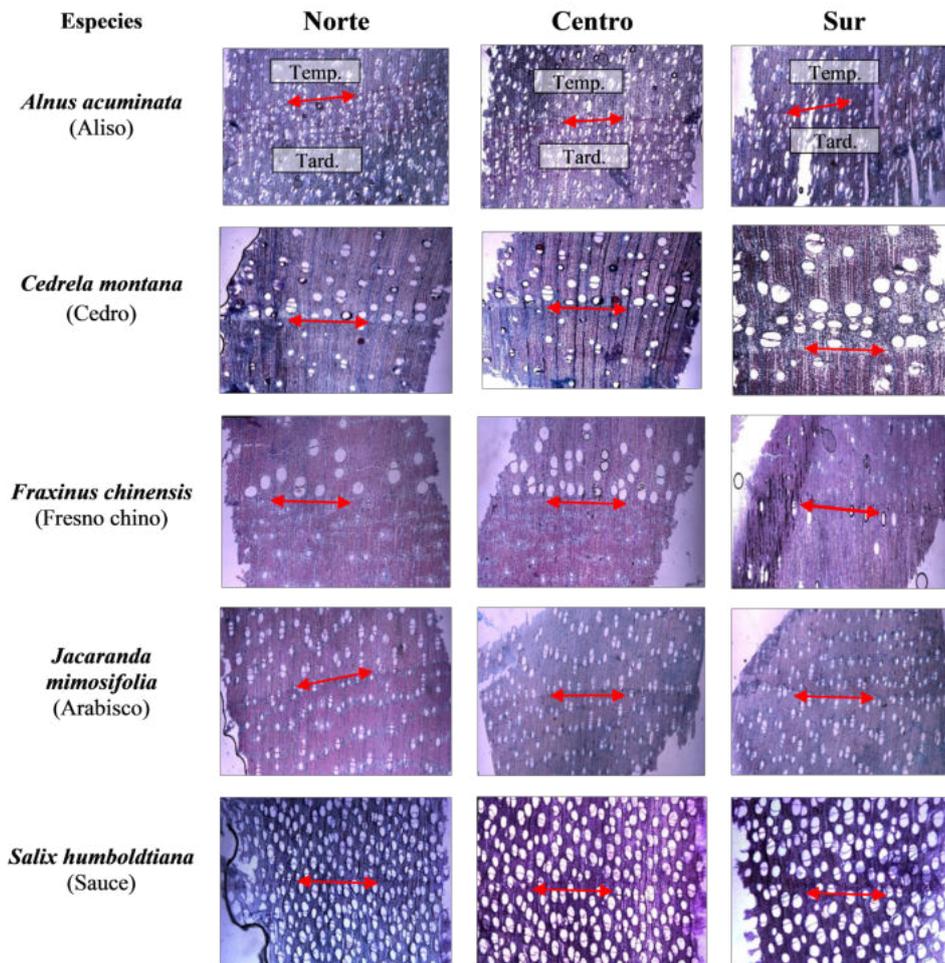
#### *Anillos de crecimiento*

De las 10 especies estudiadas cinco presentaron anillos de crecimiento visibles, esta diferencia en los niveles de visibilidad de anillos de crecimiento puede estar dada por la naturaleza de caducidad de las hojas. Barbosa et al., (2018), men-

cionan que la presencia de los anillos pueden estar asociadas a zonas donde hay lapsos bien definidos de precipitación y del clima durante el año vegetativo, mientras que las que crecen en lugares donde las condiciones climáticas se mantienen constantes durante gran parte del año, tienen anillos de crecimiento poco notables (Giménez et al., 2005). Adicionalmente, existen diversos factores que interrumpen el crecimiento o desarrollo de los anillos de crecimiento en las especies como son los daños por insectos, enfermedades, viento, fuego, competencia arbórea y estrés (Giménez et al., 2005) y (Briceno. et al., 2018). Sin embargo, el carácter distintivo de la anatomía de los anillos varía entre especies (Coster, 1928) y esto es causado principalmente por las diferencias en la estructura de la madera, una condición específica propia de



**Fig. 5:** Análisis de componentes principales de los árboles urbanos de la ciudad de Loja. Se muestra las diferencias de la estructura anatómica cuantitativa de las nueve especies evaluadas.



**Fig. 6:** Estructura microscópica y cambios intraanuales en la madera de las cinco especies que presentaron anillos de crecimiento visibles.

\*La flecha indica la presencia del anillo de crecimiento en la madera

\*Temp: madera temprana Tard: madera tardía

cada especie (León Hernandez, 2009). La presencia de anillos visibles en las especies mencionadas fue reportado por el estudio realizado por Armijos, (2019) al sur de Ecuador, y así mismo por Poma, (1973) al norte de Ecuador.

**Vasos o poros**

De las especies evaluadas *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Callistemon lanceolatus*, *Cedrela montana*, *Grevillea robusta*, *Jacaranda mimosifolia* y *Schinus molle* presentaron anillos con poros difusos, resultados que concuerdan con los estudios realizados por Monteoliva y Igartúa (2010);



**Fig. 7:** Análisis estadístico de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las cinco especies evaluadas mediante el tipo de madera. Los círculos conectados no son significativamente diferentes (son iguales) a través de las pruebas no paramétricas de Wilcoxon o Mann-Whitney test, p-value = 0.01.

y Igartúa et al. (2013) confirmando la presencia de esta característica en estas especies. El estudio realizado por Rangel (2016) nos señala que el comportamiento de las especies en cuanto a su distribución, podría generar la modificación en el tipo de porosidad y podría estar relacionado con la reacción de las especies a las condiciones climáticas del sitio donde crecen (Undurraga, 1997); tal como lo vemos en *Salix humboldtiana* y *Fraxinus chinensis*, especies que presentaron anillos semiporosos en su estructura, convirtiéndose esto en un elemento clave para su identificación.

En cuanto a la disposición de los vasos de las nueve especies latifoliadas analizadas cuatro de ellas presentaron vasos en patrones radiales (*Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Salix humboldtiana* y *Schinus molle*). Mientras que *Callistemon lanceolatus* y *Fraxinus chinensis* presentan vasos solitarios. Y en el caso de *Jacaranda mimosifolia* vasos en bandas tangenciales. Respecto a esto, Wodzicki (2001) menciona que esta variedad de patrones se debe a que las plantas están expuestas a factores ambientales cuya variación puede provocar cambios anatómicos para adaptar a la planta a las condiciones externas. Por su parte, León Hernández (2001) menciona que en las plantas leñosas, las características de los elementos de vaso se modifican, dependiendo del grado de humedad del suelo y de factores como el clima, la altitud y la latitud. Cabe mencionar que los vasos fueron las únicas características que presentaron diferencias por sitio, y pueden ser consideradas como indicadores claves de sitio para identificar en qué condiciones se ha desarrollado la especie.

## Parénquima

El parénquima se presenta de distintos tipos en las especies evaluadas donde *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana* y *Fraxinus chinensis* presentaron parénquima vasicéntrico, lo que concuerda con los estudios realizados por Monteoliva y Igartúa (2010); y Maza (2010), quienes mencionan que las tendencias anatómicas están desarrolladas con algunos aspectos climáticos y evolutivos de adaptación de cada especie. Mientras que las especies *Alnus acuminata*, *Callistemon lanceolatus*, *Jacaranda mimosifolia*, *Salix humboldtiana* y *Schinus molle* presentaron parénquima difuso y ausente, características que también se reportaron en el estudio desarrollado por Huarcaya (2016) para estas especies. Por su parte Poma (1973) indica que hay especies que aunque presenten un parénquima difuso se puede identificar anillos de crecimiento mediante la presencia bien marcada del cambium, confirmando los resultados obtenidos en el presente estudio, en los cuales la coloración y estructura del parénquima nos permitió

la identificación de anillos de crecimiento en cinco especies de las 10 especies estudiadas.

## Parénquima radial (Radios)

En este estudio se encontró que tres especies latifoliadas (*Alnus acuminata*, *Jacaranda mimosifolia* y *Salix humboldtiana*) de las nueve evaluadas presentaron radios exclusivamente uniseriados, en el caso de *Cedrela montana*, *Acacia melanoxylon*, *Callistemon lanceolatus* y *Fraxinus chinensis* registran radios 1 a 3 series. Sin embargo, *Schinus molle* presentó radios de 4 a 10 series de cuerpo procumbente de 1 fila cuadrados, lo que concuerda con el estudio realizado por Olvera et al. (2005) donde nos dice que las especies del género *Acacia* y *Callistemon* tienden a presentar radios de 1 a 3 series. En el caso de *Schinus molle* difiere con los resultados obtenidos por Olvera-Licona et al. (2021) donde nos dice que la especie presenta radios triseriados y heterogéneos con cristales.

### Características anatómicas cuantitativas de la madera

La frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup> está dada como un indicativo muy importante en referencia al tipo de clima de una región (Carlquist, 2000), además el número elevado de vasos es frecuente en ambientes secos o fríos, constituyendo una expresión muy sensible del xerofitismo o mesomorfismo de las especies (Chiu y Ewers, 1992) lo cual concuerda con nuestros resultados al observar una variabilidad moderada dentro de las especies *Grevillea robusta* y *Fraxinus chinensis* en la gradiente altitudinal muy corta de la ciudad de Loja (2 100-2 700 m. s.n.m.).

Las especies *Grevillea robusta* y *Acacia melanoxylon* presentaron una alta variabilidad en el número de radios a nivel de sectores, a diferencia de *Callistemon lanceolatus* que fue la única especie con una variabilidad moderada, lo que concuerda con los resultados del estudio realizado por Elaieb et al. (2019), este estudio muestra que el número y el tamaño de los radios está influenciado por la estructura interna de cada especie, condiciones climáticas y de sitio donde se desarrollan que hacen que la especie presente cambios anatómicos para adaptar a la planta a las condiciones externas y generar la formación de radios dependiendo de sus requerimientos (Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales, 2017)

La variabilidad de los elementos del vaso presentado en las especies estudiadas puede estar relacionado a la altitud sobre el nivel del mar (Montaño-Arias et al., 2016) así como la ubicación geográfica (Giménez y Moglia, 1998), donde las regiones húmedas se caracterizan por presentar un xilema con elementos de vaso largos, diámetros medianos a grandes y poco numerosos para conducir grandes volúmenes de

agua como estrategia de optimización y conducción tal como lo observamos en *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana* y *Grevillea robusta*.

Las especies *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Schinus molle*, *Salix humboldtiana* y *Grevillea robusta* presentaron una alta variabilidad en el diámetro de punteaduras, característica que puede estar relacionada a la entrada de aire en los elementos del vaso así como la presión que ejerce el agua (Carlquist, 1987) considerando a las punteaduras como una característica anatómica importante para diferenciar una especie de otra según las condiciones del sitio y el clima en donde se desarrolló la especie (Montaña-Arias *et al.*, 2016).

### **Cambios intraanuales de la madera**

#### **Características anatómicas cualitativas de la madera**

Cherubini *et al.* (2003), ratifica que se conoce poco sobre las relaciones intraanuales entre el clima y la madera en regiones mediterráneas, donde los árboles están sujetos a un doble estrés caracterizado por dos interrupciones de la actividad del cambium; una durante el invierno causada por las bajas temperaturas y otra durante el verano causada por las altas temperaturas y la falta de precipitaciones. Enunciado que coincide con lo obtenido dentro de nuestros resultados en la que únicamente nos basamos en las especies que presentaron anillos de crecimiento visibles, generando información nueva sobre estos cambios mediante el análisis del tipo de madera temprana y tardía, en la que presentó diferencias en el diámetro de vasos y fibras respectivamente.

Estos resultados pueden estar relacionados a que las características anatómicas en la madera temprana pueden darse debido a que el leño temprano deriva del reinicio del crecimiento vegetativo a partir de la primavera y resulta del cambio repentino en la tasa de división celular (Haines *et al.*, 2016), y su formación se da cuando las nuevas hojas empiezan a formarse, no necesariamente por cambio de temporada, ya que nuestro sitio de estudio está en los trópicos, y las células de parénquima y fibras son las que presentan un mayor tamaño en la madera temprana.

Rathgeber *et al.* (2006), menciona que la lluvia al principio del periodo vegetativo estimula la formación de la madera temprana, disminuyendo su densidad, y concluye que a la mitad del periodo vegetativo los factores climáticos afectan al crecimiento radial, mientras que durante la segunda mitad del periodo vegetativo afectan fundamentalmente a los procesos de engrosamiento de la pared celular. Experimentos más detallados mostraron que la máxima producción de células corresponde al periodo de máxima duración del día, haciendo que la formación de la pared celular y su lignificación se produzcan al final del verano (Rossi *et al.*, 2006).

Igualmente, en madera tardía la variabilidad presentada entre las especies estudiadas puede estar relacionada al engrosamiento de las paredes celulares y el aplanamiento radial de las células, cuyo límite es marcado por un cambio abrupto en el tamaño y forma de las células entre un año y el siguiente tal como lo menciona Haines *et al.* (2016) al analizar diferentes características que presenta generalmente el leño tardío.

#### **Características anatómicas cuantitativas de la madera**

Se determinó, que dentro de la caracterización anatómi-

ca cuantitativa de los cambios intraanuales de madera en relación con el tipo de madera, solamente *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* presentaron una variabilidad grande en el número de vasos, lo cual podemos confirmar mediante el estudio realizado por Carlquist, (2000) donde nos dice que la frecuencia de vasos está dada como un indicativo muy importante en referencia al tipo de clima de una región. Así también, el estudio de Chiu y Ewers, (1992) menciona que la proporción del leño tardío (4-5 células aprox.) es notoriamente menor al leño temprano (25 células aprox.).

En el caso de *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* fueron las especies que presentaron una variabilidad grande en el diámetro de vasos. En el caso del diámetro de fibras todas las especies presentaron una variabilidad grande. Esto lo podemos relacionar con lo mencionado por Giménez y Moglia (1998) las especies de regiones húmedas se caracterizan por presentar los elementos de vaso grandes para conducir grandes volúmenes de agua, dependiendo del hábitat de las especies, serán las estrategias que desarrollen las plantas para optimizar y asegurar la conducción de agua.

En nuestro estudio, uno de los principales factores que influyó en la diferenciación entre madera temprana y tardía, está relacionada por los cambios de follaje propios de cada especie. De acuerdo con Adamo, (2002) *Cedrela montana* es una especie totalmente caducifolia, por tal motivo se puede afirmar la claridad de la presencia de anillos de crecimiento en esta especie. León Hernández (2001) menciona que en las plantas leñosas, las características de los elementos de vaso y fibras se modifican, dependiendo del grado de humedad del suelo y de factores como el clima, la altitud y la latitud.

Los resultados obtenidos en este estudio están fuertemente influenciados por los factores climáticos como la temperatura, precipitación y el sitio donde se desarrollaron cada uno de los individuos de las especies evaluadas, ya que hubo variedad de condiciones unos se encontraron en laderas de vías principales, otras en terrenos planos, y en orillas de los ríos o lagunas de los parques de la ciudad de Loja.

### **CONCLUSIONES**

El sitio de crecimiento de los árboles urbanos de Loja no influye en las características anatómicas cualitativas de la madera, sin embargo, sí influye en las características cuantitativas como es en el tamaño del diámetro y longitud de los vasos. De las 10 especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja sólo *Grevillea robusta* tuvo diferencias significativas en las características anatómicas cuantitativas por sus grandes radios y diámetro de vasos. Las características anatómicas cualitativas más comunes para las nueve especies forestales latifoliadas son vasos solitarios en patrones radiales, placas de perforación simples, punteaduras alternas, pared de las fibras de delgadas a gruesas, y radios de células procumbentes de 1 y 3 series.

La especie que muestra mayor sensibilidad al diámetro de vasos y longitud de vasos por sector es *Grevillea robusta*. A nivel intraanual, el diámetro de vasos y diámetro de fibras son los principales indicadores para diferenciar la madera temprana de la madera tardía, o para diferenciar claramente un anillo de crecimiento verdadero, esto debido a los cambios fisiológicos que se presentan mediante el desarrollo de la es-

pecie.

La mayor diferencia entre tipo de madera está en el parénquima, mientras que la mayor similitud está en el tipo de vasos, ya que todas las especies tienen vasos solitarios tanto para madera temprana como para madera tardía, excepto *Alnus acuminata* que tiene vasos en grupos radiales en su madera tardía. En el análisis cuantitativo de los cambios intraanuales se determinó que *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* son las especies que presentaron el mayor número de vasos en madera temprana. *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* el mayor diámetro de vasos en madera temprana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, por el apoyo a la investigación mediante el proyecto 17-DI-FARNR-2021. Igualmente agradecemos al técnico del laboratorio Andrés Armijos por su acertada asistencia técnica en el desarrollo de la presente investigación.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: EC y DP; metodología: EC y DP; análisis formal: EC y DP; investigación: EC; recursos: DP; curación de datos: EC y DP; redacción — preparación del borrador original: EC y DP; redacción — revisión y edición: EC y DP; visualización: DP; supervisión: DP; administración de proyecto: DP; adquisición de financiamiento para la investigación: DP. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Darwin Pucha: DCP. Eva Cueva: EC

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, a través del proyecto de investigación 17-DI-FARNR-2021: Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja.

## REFERENCIAS

Adamo, G. M. (2002). *Autoecología de la especie: CEDRO. Cartilla N°4, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y SEFORVEN, Caracas, Venezuela. Cedro | Jardín Botánico de Mérida*. [http://vereda.ula.ve/jardin\\_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/cedro/](http://vereda.ula.ve/jardin_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/cedro/)

Aguilar-Rodríguez, S., y Barajas-Morales, J. (2017). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Botanical Sciences*, 58(77), 51. <https://doi.org/10.17129/botsci.1712>

Armijos, A. (2019). *Fo Restales En El Sur Del Ecuador* ". <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21992>

Barbosa, A. C. M., Pereira, G. A., Granato-Souza, D., Santos, R. M., y Fontes, M. A. L. (2018). Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry

tropical forest. *Australian Journal of Botany*, 66(5), 414–427. <https://doi.org/10.1071/BT17212>

Briceño-J., A. M., Rangel-Ch., J. O., y Marys-Bogino, S. (2018). *COLOMBIA WOOD ANATOMY AND ANNUITY OF THREE RINGS OF SPECIES OF THE DRY FOREST IN THE CARIBBEAN*. 169–178. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.10>

Carlquist, S. (1987). Wood Anatomy of Noteworthy Species of *Ludwigia* (Onagraceae) with Relation to Ecology and Systematics. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74(4), 889. <https://doi.org/10.2307/2399455>

Carlquist, S. (2000). Wood and stem anatomy of *Sarcobatus* (Caryophyllales): Systematic and ecological implications. *Taxon*, 49(1), 27–34. <https://doi.org/10.2307/1223929>

Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Braker, O. U., Schoch, W., y Innes, J. L. (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev.*, 78, 119–148. <https://doi.org/10.1017/S1464793102006000>

Chiu, S. T., y Ewers, F. W. (1992). Xylem structure and water transport in a twiner, a scrambler, and a shrub of *Lonicera* (Caprifoliaceae). *Trees*, 6(4), 216–224. <https://doi.org/10.1007/BF00224339>

Cipra Rodríguez, J. A., Montoya Yanavilca, A. E., Adriano Reyes, J. J., Colán de la Vega, X. del P., y Móstiga Rodríguez, M. J. (2020). Anatomía de la madera de *Schinus molle* L. con tumoraciones en zonas urbanas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(1), 62. <https://doi.org/10.25127/aps.20201.545>

Coster, C. (1928). Zur anatomie und physiologie der zuwachszone-und jahresringbildung in den tropen. *Annales Jardim Botanica Buitenzorg*, 38, 1–114. <https://edepot.wur.nl/162386>

Egoavil, G., Pereira, M., Klitzke, R. J., y Mora, E. G. (2020). *Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de Calycophyllum spruceanum ( Benth ). Hook . Anatomical characterization and variation of components of Calycophyllum spruceanum ( Benth ). Hook . wood*. 11(2), 93–106. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p93-106>

Elaieb, M. T., Shel, F., Jalleli, M., Langbour, P., y Candelier, K. (2019). Propiedades físicas de la madera de cuatro especies de latifoliadas de porosidad anular: influencia de los radios sobre las contracciones tangencial y radial. *Madera y Bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/MYB.2019.2521695>

Feijoo, C., Ramon, D., y Pucha, D. (2018). *Guía Para Cortes Anatómicos De La Madera* (Issue October).

Gärtner, H., Lucchinetti, S., y Schweingruber, F. H. (2014). New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: The GSL1-microtome. *Dendrochronologia*, 32(1), 47–51. <https://doi.org/10.1016/J.DENDRO.2013.07.002>

Giménez, A., Moglia, J., y Gerez, R. (2005). *Anatomía de madera*. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>

Giménez, M., y Moglia, J. (1998). Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la Región Chaqueña Argentina. *Investiga-*

- ción Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, ISSN 1131-7965, Vol. 7, Nº 1-2, 1998, Págs. 53-72, 7(1), 53-72.*
- Grande, D., y Polanco, C. (2007). *DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA DE CUARENTA ESPECIES DEL BOSQUE. 10(20).*
- Haines, H. A., Olley, J. M., Kemp, J., y English, N. B. (2016). Progress in Australian dendroclimatology: Identifying growth limiting factors in four climate zones. *Science of the Total Environment, 572(December), 412–421.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.096>
- Higueras, E. (2008). La ciudad como ecosistema urbano. *El Reto de La Ciudad Habitable y Sostenible, Pamplona. España. Pdf.* <https://www.marcialpons.es/libros/el-reto-de-la-ciudad-habitable-y-sostenible/9788492507191/>
- Huarcaya, R. (2016). *Universidad nacional del centro del peru.*
- Igartúa, D. V., Piter, J. C., y Monteoliva, S. E. (2013). Propiedades xilotecnológicas de Acacia melanoxylon implantada en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires - Argentina. *Tesis Doctoral, 1–286.*
- León Hernandez, W. J. (2001). Anatomía del leño, aspectos ecológicos y filogenia en mangles de Venezuela. In *Revista Forestal Venezolana (Vol. 45, Issue 2, pp. 191–203).*
- León Hernandez, W. J. (2009). Anatomía De La Madera Y Clave De Identificación Para Especies Forestales Vedadas En Venezuela. *Revista Forestal Venezolana, Volumen 53(1), 51–62.*
- Maza, H. (2010). Anatomía macroscópica y algunas características físicas de siete especies maderables de pie de monte de la zona alta de la cuenca del Río Puyango. In *Revista Ecológica Forestal (Vol. 1, Issue 1, p. 150).* <http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/handle/123456789/327>
- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., y Grether, R. (2016). Anatomía de la madera de tres especies de Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae) distribuidas en México. *Madera Bosques, 22(1), 191–202.* <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221486>
- Monteoliva, S., y Igartúa, V. (2010). *Variación anatómica de la madera de Acacia melanoxylon implantada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. 109, 1–7.*
- Olvera-Licona, G., Machuca, Borja, R., Corona, A., y Zaragoza, A. (2021). *Xilotecnia de la madera de Schinus molleL. de una plantación forestal comercial en Hidalgo, México. 27, 1–19.* <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2711567>
- Olvera, P., Paz, C. De, Sotelo, D., Isaías, Q., Alejandra, P., De, C., y Pérez, P. (2005). *Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos ( Quercus ) de Durango , México.* <https://www.redalyc.org/pdf/617/61711204.pdf>
- Poma, L. F. (1973). *Descripción macroscópica y microscópica de 15 maderas del Ecuador y clave de identificación con tarjetas perforadas. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Departamento de Ciencias Forestale.* <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1117>
- Rangel, G. (2016). *Descripción anatómica de la madera de Fresno Fraxinus uhdei ( Wenz .) Lingelsh. July.* <https://docplayer.es/63502251-Descripcion-anatomica-de-la-madera-de-fresno-fraxinus-uhdei-wenz-lingelsh.html>
- Rathgeber, C. B. K., Decoux, V., y Leban, J. M. (2006). Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annals of Forest Science, 63(7), 699–706.* <https://doi.org/10.1051/forest:2006050>
- Rendle B. J. (1932). *Anatomía de la madera como vínculo entre la botánica y la silvicultura. 130(3292), 834–836.* <https://www.nature.com/articles/130834a0>
- Rojas-Badilla, M., Álvarez, C., Velásquez-Álvarez, G., Hada, M., Quesne, C. Le, y Christie, D. A. (2017). *Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de Austrocedrus chilensis ( D. Don ) Pic . -Serm . et Bizzarri en el norte de. 74(2), 269–281.*
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., Morin, H., Sarcino, A., Motta, R., y Borghetti, M. (2006). Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist, 170(2), 301–310.* <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01660.x>
- Sass-klassen, U., Gebrekirstos, A., Bra, A., y Mbow, C. (2014). *ScienceDirect Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. 48–53.* <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.011>
- Undurraga, J. P. (1997). *CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE MADERA DE Salix L.* [http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998\\_vol12-13/n1-2a8.pdf](http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a8.pdf)
- Wodzicki, T. J. (2001). Natural factors affecting wood structure. *Wood Science and Technology 2001 35:1, 35(1), 5–26.* <https://doi.org/10.1007/S002260100085>

# Diagnóstico de los conflictos fauna silvestre gente en el valle seco interandino de Vilcabamba, Andes del sur de Ecuador.

## *Diagnosis of wildlife conflicts in the inter-Andean dry valley of Vilcabamba, southern Andes of Ecuador.*

Leonardo Ordóñez-Delgado<sup>1,2,\*</sup>, María José Salinas<sup>3</sup> y Diana Maldonado<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecología Tropical y Servicios Ecosistémicos (EcoSs-Lab). Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

<sup>2</sup> Museo de Zoología, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

<sup>3</sup> Titulación en Gestión Ambiental, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

<sup>4</sup> Grupo de Investigación - Gobernanza, Biodiversidad y Áreas Protegidas, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: lyordonez2@utpl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 03/10/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 06/12/2023

Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—Los conflictos fauna-gente constituyen una de las problemáticas más acuciantes de los entornos urbanos y rurales en el mundo. A pesar de ser una temática de estudio en crecimiento, aún existen significativos vacíos de conocimiento respecto de su dinámica e impacto, principalmente cuando el tema involucra especies menores tales como zorros, zarigüeyas y ardillas; o, ecosistemas particulares que no han contado con mucho interés de investigación, como los valles interandinos. Ecuador es un país en el cual la economía primaria del campesinado se sostiene en procesos productivos minifundistas, de ahí que el ataque de la fauna silvestre a animales domésticos o cultivos suponga un serio problema para las familias campesinas. Este estudio se desarrolló en el valle seco interandino de Vilcabamba, en el sur de Ecuador. Con el uso de entrevistas semiestructuradas se realizó el diagnóstico general de los conflictos entre la fauna silvestre y los pobladores. Se identificaron dos tipos de conflictos principales: depredación de animales domésticos y daño a cultivos, y otros considerados secundarios: uso medicinal de la fauna y ofidiofobia. Las principales especies involucradas en los conflictos son *Simosciurus neboxii*, *Didelphis marsupialis*, *Neogale frenata*, *Lycalopex culpaeus* y algunas especies de aves rapaces diurnas. Además, se identificó que la respuesta básica de los pobladores locales a este tipo de conflictos es el control letal de las especies problema por diferentes vías (envenenamiento, cacería). La información aquí presentada constituye una línea de base clave para la gestión futura de este tipo de conflictos en la localidad de estudio.

**Palabras clave**—Biodiversidad, Comportamiento animal, Conocimiento tradicional, Ecuador.

**Abstract**—Wildlife-people conflicts are one of the most critical issues in urban and rural environments around the world. In spite of being a growing subject of study, there are still important gaps in knowledge regarding its dynamics and impact, mainly when the subject involves minor species such as foxes, opossums and squirrels, or particular ecosystems that have not received much research interest, such as the inter-Andean valleys. Ecuador is a country in which the primary economy of the rural peasantry is based on smallholder production processes, which is why wildlife attacks on domestic animals or crops are a serious problem for peasant families. This study was carried out in the dry inter-Andean valley of Vilcabamba, in southern Ecuador. Using semi-structured interviews, a general diagnosis of conflicts between wildlife and local people was made. Two main types of conflicts were identified: predation of domestic animals and damage to crops, and others considered secondary: medicinal use of wildlife and ophiophobia. The main species involved in the conflicts are *Simosciurus neboxii*, *Didelphis marsupialis*, *Neogale frenata*, *Lycalopex culpaeus* and some species of diurnal birds of prey. In addition, it was identified that the basic response of local people to this type of conflict is the lethal control of the problem species by different means (poisoning, hunting). The information presented here constitutes a key baseline for the future management of this type of conflict in this study locality.

**Keywords**—Biodiversity, Animal behavior, Traditional knowledge, Ecuador.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida, degradación de hábitats, introducción de especies exóticas, explotación insostenible de recursos y el cambio climático se han propuesto como las principa-

les causas de pérdida de biodiversidad (Ceballos & Ortega-Baes, 2011; Primack et al., 2001). Sin embargo, actualmente, otros factores adicionales se suman a la compleja problemática ambiental global, regional y local, uno de los más acu-

cientes lo constituyen los conflictos entre la fauna silvestre y la gente (Dickman, 2010).

Los conflictos fauna silvestre-gente se definen como, el conjunto de interacciones negativas que surgen de los intereses contrapuestos entre las actividades y necesidades humanas y el bienestar y supervivencia de la fauna silvestre (Abrahms, 2021). Existe una ingente gama de posibilidades que pueden desencadenar conflictos de este tipo, estos pueden ir desde el consumo de granos o alimentos almacenados, por parte de roedores pequeños (Muñoz & Muñoz-Santibañez, 2016), el ataque a diferentes tipos de cultivos y animales domésticos (Bonacic *et al.*, 2017; Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021), la transmisión de enfermedades de especies silvestres a animales domésticos y humanos (Rahman *et al.*, 2020) e inclusive la afectación o comprometimiento de la vida de los habitantes de una determinada localidad (Conforti & Azevedo, 2003).

Estos conflictos pueden ser causados por una variedad de factores, listando entre los principales el crecimiento poblacional, los cambios de uso del suelo, y la pérdida, degradación y fragmentación de hábitats (Distefano, 2005). Los cambios en la matriz del paisaje, como resultado del incremento desordenado de las actividades humanas conlleva la creación de un nuevo escenario con diferentes usos del suelo, contexto propicio para que surjan interacciones conflictivas (Flores-Armillas *et al.*, 2019), por cuanto estos cambios desencadenan la competencia por espacio y recursos entre la fauna y los pobladores (Billah *et al.*, 2021).

Los conflictos fauna-gente constituyen una problemática alarmante debido al riesgo para la conservación de las especies involucradas, ya que como procedimiento básico de control, en la mayoría de las veces se aplica la eliminación de la especie involucrada (Dickman, 2010). Dicha eliminación incide negativamente en las poblaciones faunísticas locales, al causar la reducción en el número de individuos (Canavelli *et al.*, 2012), factor crítico en especies de tamaños poblacionales pequeños o amenazadas (Primack *et al.*, 2001).

Si bien el tema de los conflictos entre la fauna silvestre y la gente ha evidenciado cierto interés en la región neotropical en los últimos años (Bonacic *et al.*, 2017; Castaño-Uribe *et al.*, 2016), los trabajos publicados en medios científicos para países como Ecuador son pocos; y, la mayoría centrados en el análisis del conflicto de depredadores grandes como *Tremarctos ornatus*, evidenciándose importantes vacíos de información sobre otras especies involucradas en esta problemática (Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021).

Para promover alternativas apropiadas de gestión local a las interacciones conflictivas fauna silvestre-gente es fundamental definir claramente las especies involucradas, el tipo de conflicto y el contexto de cada comunidad, esto por cuanto, al igual que en todos los Andes, en Ecuador gran parte del campesinado basa su economía en la producción agropecuaria, y muchas de estas actividades se desarrollan en áreas que se solapan o se localizan cerca de hábitats en donde viven especies silvestres (Bonacic & Ibarra, 2010). De ahí que la frecuencia y severidad de los conflictos se encuentre en franco incremento y probablemente continuarán agravándose (Ministerio del Ambiente del Ecuador & Wildlife Conservation Society, 2018).

En base a los planteamientos previos, en el presente trabajo se evalúan las interacciones conflictivas existentes entre la

fauna silvestre y los pobladores de la parroquia Vilcabamba, valle seco interandino del sur de Ecuador. Específicamente se buscó a) caracterizar el tipo y frecuencia de los conflictos humanos-fauna, b) determinar el costo económico de los daños; y, c) definir la existencia del tipo de uso de la fauna silvestre local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

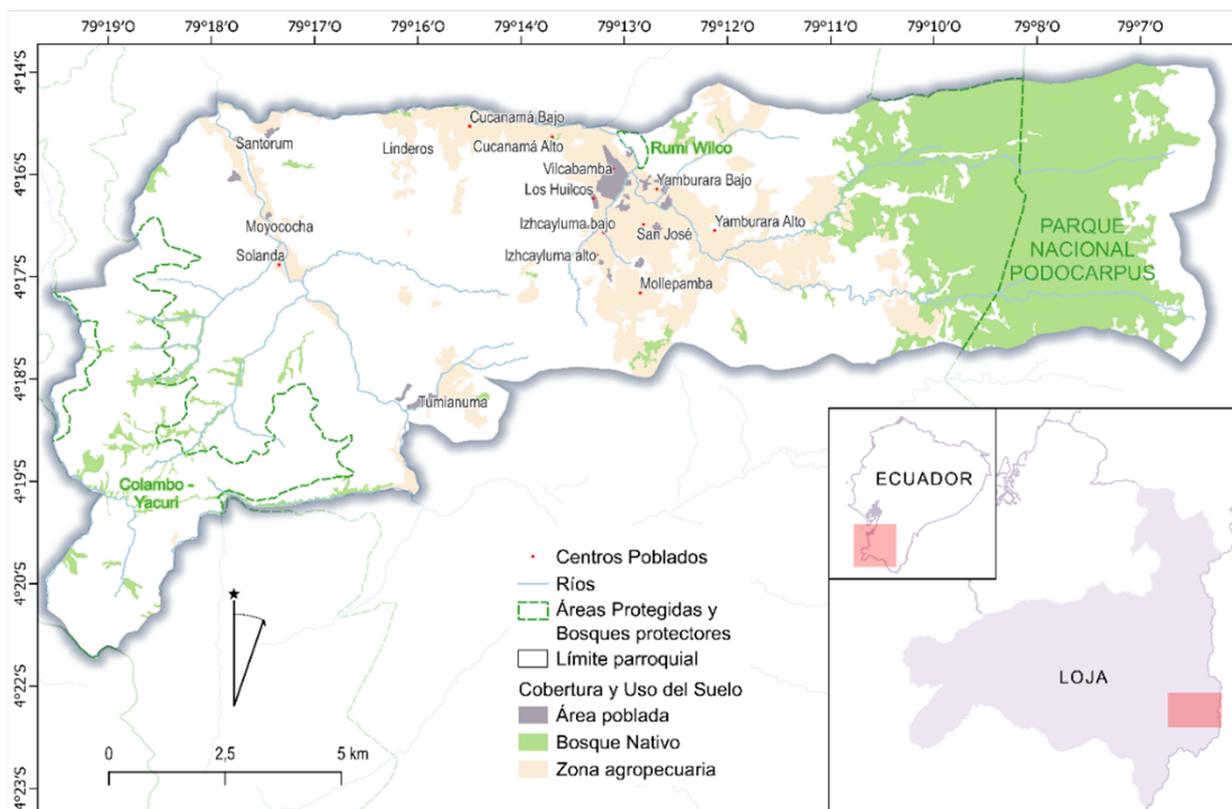
Este estudio se desarrolló en la parroquia Vilcabamba (4° 15' 39" S, 79° 13' 21" O), cantón Loja, provincia de Loja, Andes del sur de Ecuador. Esta parroquia corresponde a un valle seco interandino, su rango altitudinal va de los 1400 a los 3700 m s.n.m. Los ecosistemas característicos de la parroquia Vilcabamba corresponden a bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles, arbustal semideciduo del sur de los Valles y bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2013). Especies arbóreas características de la zona son *Acacia macracantha*, *Abatia canescens*, *Ceiba insignis* y *Celtis loxensis* (Lozano, 2002). Posee clima subtropical seco con temperatura promedio de 20.3°C y régimen pluviométrico semiárido (<500 mm/año) (Maldonado, 2002).

La parroquia Vilcabamba se divide en 19 barrios, seis urbanos y 13 rurales (Figura 1). Las principales actividades económicas del sector son la agricultura, ganadería y silvicultura (Segarra *et al.*, 2015). La agricultura es temporal, manteniendo sembríos en época de lluvias, principalmente para cultivos de ciclo corto como maíz, fréjol, yuca, hortalizas, entre otros (Segarra *et al.*, 2015). Un dato relevante en cuanto a la actividad pecuaria de la zona es la producción de animales menores (aves de corral, cobayos, cerdos, cabras) que se realiza junto a las viviendas, con el propósito de alimentación familiar; o, en caso de necesidad, la venta de los animales, mientras que el ganado vacuno se maneja de forma extensiva (Segarra *et al.*, 2015).

El 29,59% del territorio de Vilcabamba se encuentra bajo alguna figura de conservación reconocida por el Estado ecuatoriano. Al este de la parroquia se localiza el Parque Nacional Podocarpus, del cual 2362,60 ha forman parte del territorio de la parroquia Vilcabamba, mientras que en el oeste se ubica el Bosque Protector Colambo Yacuri que aporta con 2226,87 ha a la parroquia, y en el centro de Vilcabamba se localiza el Bosque Protector Rumihuilco con 26,31 ha (Segarra *et al.*, 2015). Actualmente en los límites de estas áreas protegidas se presenta una compleja problemática ambiental ligada a la expansión de la frontera agropecuaria, minería (legal e ilegal), conflictos de tenencia de tierra, caza, pesca y extracción de especies silvestres, lo que causa pérdida o deterioro de la cubierta vegetal y disminución de la fauna y flora nativa (Segarra *et al.*, 2015).

### Metodología

La metodología utilizada en esta investigación se fundamentó en el trabajo de Iñiguez-Gallardo *et al.*, (2021). Al no contar con datos previos sobre los conflictos fauna silvestre-gente en el sector, se definió realizar una investigación exploratoria cualitativa orientada a recopilar información detallada sobre el tipo de conflicto, las especies, el uso de la vida



**Fig. 1:** Mapa del área de estudio, parroquia Vilcabamba, cantón Loja, provincia de Loja, Ecuador.

silvestre, los costos de los daños y las respuestas de los residentes ante esta problemática. Para lograr esto se usó una entrevista cualitativa semiestructurada, acompañada de visitas a los barrios. Los datos se recopilaban entre junio y agosto de 2021.

El estudio se realizó mediante un muestreo direccional/dirigido o intencional (Otzen & Manterola, 2017), es decir, se inició identificando personas con características particulares, en este caso, pobladores del sector que hayan vivido toda su vida en Vilcabamba, que se dedican principalmente a actividades agropecuarias y, que en base a información preliminar, se conocía que habían enfrentado alguna situación conflictiva con la fauna local. Posteriormente, aplicando la estrategia de muestreo en cadena (Newing, 2011) se pidió a las primeras personas identificadas con conflictos con la fauna local que nos recomienden otras personas que fueron afectadas por ataques de fauna silvestre.

En total se entrevistaron a 60 habitantes pertenecientes a 13 barrios rurales de la parroquia. El tamaño de la muestra se determinó por saturación, en base a los lineamientos de Krueger and Casey, (2010). Las entrevistas se realizaron en el domicilio de las personas y fueron grabadas para su posterior análisis, siempre con el consentimiento de los participantes. La entrevista constó de 36 preguntas tomadas del proyecto “Caracterización de los conflictos gente-fauna en el Ecuador” (Universidad Andina Simón Bolívar, 2015). Las preguntas fueron ordenadas de manera progresiva desde los temas generales a los específicos y divididas en cuatro apartados: a) información general, b) percepción con respecto de la fauna silvestre, c) conflicto de los pobladores con respecto

a la fauna y d) uso y otras interacciones con la fauna.

## RESULTADOS

### Perfil de los informantes

La muestra de entrevistados estuvo compuesta de 27 mujeres y 33 hombres, sus edades oscilaron entre 18 y 85 años. Todos los entrevistados se dedican principalmente a actividades de producción agropecuaria de pequeña escala, entre estas la siembra de maíz, hortalizas, caña de azúcar y crianza de aves de corral, ganado vacuno, ovino y caprino, los que son destinados al consumo familiar y en ciertos casos puntuales a la venta de excedentes. Además de las actividades económicas agropecuarias, los entrevistados también se desempeñan como comerciantes, amas de casa y en algunos casos como servidores públicos. En cuanto a la tenencia de tierra, solo 24 personas mencionaron tener, adicional a su casa de habitación, fincas cercanas a su vivienda o hasta 5 km de distancia.

### Caracterización de la fauna silvestre

En base a la entrevista a los pobladores del sector se pudo definir una lista de al menos 25 especies de fauna silvestre que ellos consideran las más comunes de la parroquia (Tabla 1).

Cabe señalar que, en el caso de las aves rapaces diurnas, localmente a todas se las denomina gavilanes, ya sean estos halcones como por ejemplo *Falco sparverius*, elanios como *Chondrohierax uncinatus* o gavilanes propiamente dichos como *Ruphornis magnirostris* o *Parabuteo unicinctus*,

**Tabla 1:** Especies faunísticas identificadas por los pobladores en el valle de Vilcabamba. LRE: Listas Rojas de las especies en Ecuador: Aves (Freile *et al.*, 2019), Mamíferos (Tirira, 2021), Reptiles (Carrillo *et al.*, 2005). UICN RL: UICN Red List (IUCN, 2022). Fr: Frecuencia de mención de las especies por los entrevistados.

Clase	Nombre común	Nombre científico	LRE	UICN RL	Fr
Aves	Búho-Lechuza	<i>Tyto furcata</i>	LC	LC	1
	Chilalo	<i>Furnarius cinnamomeus</i>	LC	LC	14
	Chiroca	<i>Icterus graceannae</i>	LC	LC	2
	Tordo	<i>Dives waczewiczi</i>	LC	LC	17
	Colibrí	<i>Amazilia amazilia</i>	LC	LC	6
	Gallinazo	<i>Coragyps atratus</i>	LC	LC	4
	Pava de monte	<i>Penelope barbata</i>	VU	NT	1
	Gavilán	Varias especies	-	-	13
	Palomas	Varias especies	-	-	4
Mammalia	Pericos	Varias especies	-	-	9
	Amingo	<i>Eira barbara</i>	LC	LC	2
	Ardilla	<i>Simosciurus neboxii</i>	LC	LC	48
	Conejo	<i>Sylvilagus andinus</i>	NT	DD	1
	Chucurillo	<i>Neogale frenata</i>	LC	LC	11
	Guanchaca	<i>Didelphis marsupialis</i>	LC	LC	44
	Oso	<i>Tremarctos ornatus</i>	EN	VU	3
	Puma	<i>Puma concolor</i>	EN	LC	11
	Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>	NT	LC	12
	Tigrillo	<i>Leopardus wiedi</i>	NT	NT	1
	Raposo	<i>Lycalopex culpaeus</i>	VU	LC	12
	Chonto	<i>Mazama rufina</i>	EN	VU	8
	Añango	<i>Conepatus semistriatus</i>	LC	LC	4
Reptilia	Equis	<i>Bothrops asper</i>	DD	LC	2
	Macanche	<i>Bothrops lojanus</i>	DD	VU	2
	Lagartijas	Varias especies	-	-	2

todas estas especies (y varias otras) están presentes en esta zona (Correa-Conde & Ordóñez-Delgado, 2007). Para este caso se ha definido utilizar las palabras aves rapaces diurnas como el referente de las aves en conflicto.

### Tipo y frecuencia del conflicto humano-fauna silvestre.

De todos los entrevistados que tuvieron conflicto con la fauna silvestre en el año 2021, el 53,19% expresaron que estos eventos se presentaron en los patios de sus domicilios y el 46,81% en fincas, siendo el barrio Linderos (centro de la parroquia) el que evidencia mayor frecuencia (n=10) en interacciones conflictivas con la fauna local.

### Especies conflictivas, tipos de conflicto y percepción de los pobladores

Las especies con las que mayor conflicto existe en el sector son: *S. neboxii* 27 menciones, *D. marsupialis* 25 menciones, *L. culpaeus* 7 menciones, *N. frenata* 6 menciones, y Aves Rapaces Diurnas 7 menciones. Respecto de la percepción de los entrevistados, el 83% describe a estas especies con adjetivos tales como: dañinas, plagosas, ladronas y malas. Los conflictos más frecuentes fueron la depredación de animales domésticos y el daño a cultivos (Tabla 2).

**Tabla 2:** Daños producidos por las especies consideradas conflictivas.

Nombre científico	Tipo de afectación	Frecuencia
<i>Simosciurus neboxii</i>	Daño a cultivos	27
<i>Didelphis marsupialis</i>		2
<i>Didelphis marsupialis</i>	Animales muertos	22
<i>Neogale frenata</i>		6
<i>Lycalopex culpaeus</i>		5
Aves Rapaces Diurnas*		3
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Animales heridos	2
<i>Neogale frenata</i>		1
<i>Didelphis marsupialis</i>		1

\* Por ejemplo: *Buteo brachyurus*, *Chondrohierax uncinatus*, *Parabuteo unicinctus*, *Buteo albonotatus*.

### Magnitud del conflicto humano-fauna silvestre y relación causa-conflicto.

Las pérdidas económicas que provocaron estas especies a los pobladores en el año 2021 alcanzaron los USD \$1292 (Tabla. 3). Principalmente como resultado de la depredación de aves de corral (gallinas y polluelos), siendo *D. marsupialis* la especie que más pérdidas económicas ocasionó (USD \$780), seguido de *L. culpaeus* por la depredación de cabras. Adicionalmente a esto se suma la afectación a los cultivos (maíz, árboles frutales, cultivos varios) a causa de *S. neboxii* con un total de USD \$659 (Tabla. 4). Ninguno de los entrevistados reportó afectaciones al ganado vacuno.

Sobre las causas por las cuales se suceden estos problemas, el 46,8% de los afectados cree se debe al aumento de

**Tabla 3:** Pérdidas económicas a causa de la depredación de aves de corral y otros animales en el periodo 2020-2021.

Nombre científico	Animal doméstico afectado	Nº de animales muertos	Costo en USD \$
<i>Didelphis marsupialis</i>	Aves de corral	92	780
<i>Neogale frenata</i>	Aves de corral	23	100
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Animales varios*	11	354
<i>Aves Rapaces Diurnas</i>	Aves de corral	4	58
<b>Total</b>			<b>1292</b>

Nota. La estimación del costo fue referida por el afectado en función del precio individual de venta local del elemento afectado (animal doméstico o cultivo) al momento del ataque. \*Por ejemplo: Aves de corral, cabras, ovejas.

**Tabla 4:** Pérdida económica a causa del daño a cultivos en el periodo 2020-2021.

Nombre científico	Cultivos afectados	Costo
<i>Simosciurus neboxii</i>	Cultivos varios*	\$533
<i>Simosciurus neboxii</i>	Árboles frutales varios	\$126
<i>Didelphis marsupialis</i>		
<b>Total</b>		<b>\$659</b>

la población humana, el 40,4% a la falta de presas naturales y el 12,8% relaciona el conflicto con la disminución de áreas naturales, fruto del incremento de actividades agrícolas y ganaderas, obras de infraestructura, tala y minería.

### Uso de la fauna silvestre

Si bien el 40% de los entrevistados afirmó no usar fauna silvestre de ninguna manera, el 60% considera que *D. marsupialis*, tiene propiedades medicinales, principalmente para problemas de acné y afecciones respiratorias, mientras que la grasa de las serpientes *Bothrops lojanus* y *Bothrops asper* tienen utilidad para problemas de circulación, golpes o articulaciones.

### Acciones ante el conflicto humano-fauna silvestre

Todos los entrevistados que enfrentaron algún tipo de conflicto mencionaron que realizan diferentes acciones frente esta problemática. En la mayor cantidad de casos (45%) la acción inmediata sobre el animal problemático es procurar envenenarlo, un 26% colocaron trampas, el 15% manifestaron que lo único que hacen es asustar al animal, algunas veces utilizando perros, el 9% poner vigilancia y el 5% procurar la captura del animal con la finalidad de eliminarlo.

## DISCUSIÓN

La información sobre el tema de conflictos fauna-gente para Ecuador es escasa (Iñiguez-Gallardo et al., 2021), esto es más evidente aún cuando el tema es tratado para ciertas regiones del país como los valles secos interandinos, sitios que no han contado con el mismo interés de investigación que otros ecosistemas y la información referente a la biodiversidad que albergan se considera incompleta, fragmentada o desactualizada (Albuja, 2011).

El presente estudio fue realizado en la parroquia de Vilcabamba, valle seco interandino del sur de Ecuador en donde la información publicada sobre su fauna; y, particularmente, sobre el nivel de relacionamiento con los pobladores locales es inexistente. Los datos oficiales que maneja el gobierno lo-

cal en su planificación territorial (Segarra et al., 2015) sobre la fauna del sector únicamente abordan el tema de manera superficial, enumerando algunas especies que por lo general tienen escalas de distribución espacial más amplias, por ejemplo, el nivel cantonal o provincial, cómo es el caso de *F. cinnamomeus* o *Turdus reevei* (Correa-Conde & Ordóñez-Delgado, 2007; Ordóñez-Delgado et al., 2016) e inclusive se presentan en el mismo varias especies cuya distribución no se corresponde con el valle de Vilcabamba, por ejemplo: Mirlo Piquinegro (*Turdus ignobilis*) y el Jambato de Boulenger (*Atelopus boulengeri*) que habitan la Amazonía de Ecuador (Coloma et al., 2022; Ordóñez-Delgado et al., 2017).

Sin embargo de lo previamente expuesto, el conocimiento general por parte de los pobladores sobre la fauna de este valle es importante para ciertos grupos, por ejemplo los mamíferos, mencionando la existencia de al menos doce especies, entre las que destacan algunas amenazadas o casi amenazadas en Ecuador (Tirira, 2021) por ejemplo *T. ornatus* (EN), *L. culpaeus* (VU) y *O. virginianus* (NT). Otras comunes, que según sus pobladores han incrementado sus números poblacionales hasta constituirse en plagas, tales como *S. neboxii* (LC) (Tirira, 2021). Y, también se nombran varias especies de aves, entre estas algunas endémicas de la Región Tumbesina como *F. cinnamomeus*, o de los Andes del Sur de Ecuador y norte del Perú como *P. barbata* (Ridgely & Greenfield, 2001); y, especies de reptiles amenazados como *B. lojanus* (VU) (IUCN, 2022).

Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Vilcabamba (Segarra et al., 2015), el barrio Linderos, sector en el que se registró el mayor número de conflictos, se considera un barrio rural consolidado, con una población de entre 150 a 500 habitantes, presencia de zonas de producción agrícola de pequeña escala y pequeños remanentes de vegetación nativa, factores que se consideran como una variable que ayuda a la presencia de especies tales como *D. marsupialis* o *S. neboxii*, que se adaptan bastante bien a entornos antropizados (Tirira, 2007), Esto corrobora lo propuesto por Flores-Armillas et al., (2019), que plantean que los entornos transformados y con diferentes usos de suelo, facilitan el incremento en el número de individuos de ciertas especies que se adaptan bien a las nuevas condiciones; y, por consiguiente favorecen la presencia de interacciones negativas entre los pobladores locales y la fauna silvestre.

Respecto de los conflictos humano-fauna silvestre, llama la atención que en el caso de Vilcabamba los conflictos identificados se encuentren relacionados principalmente con especies faunísticas de tamaño mediano y pequeño (p. ej.: *L. culpaeus*, *D. marsupialis*, *S. neboxii*, *N. frenata*, entre

otros), siendo inexistentes los problemas con especies más grandes como *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*, que han sido reportadas como las especies con mayor número de conflictos en los Andes de Ecuador (Universidad Andina Simón Bolívar, 2015) y que también se distribuyen en esta región (Tirira, 2007). Esto puede estar ligado al hecho de que el valle de Vilcabamba posee una considerable intervención humana, factor que en muchos casos limita la presencia de este tipo de mamíferos, aunque la información recopilada en este estudio no nos permitiría afirmar de manera categórica este tema. En este sentido, sería importante que este análisis se aborde en procesos de investigación futuros, pero tomando como eje de trabajo las áreas protegidas y sus áreas de influencia inmediata, en donde los conflictos con estas especies podrían ser mayores que en el valle mismo.

Un tema de particular preocupación de los pobladores de este sector es el actual conflicto que se presenta con *S. neboxii*. Esta especie habita los bosques secos del suroccidente de Ecuador y el noroeste de Perú, tanto dentro de áreas naturales como en remanentes de vegetación fragmentada y zonas de uso agropecuario (De Vivo & Carmignotto, 2015) y suele ser objeto de tráfico y venta de individuos, en la frontera Ecuador-Perú, específicamente en el sector de Arenillas, provincia de El Oro (Ordóñez-Delgado L. obs.pers.). Existe un solo estudio previo desarrollado en el sector de Zapotillo, suroccidente de Ecuador, en el cual se menciona a esta especie involucrada en conflictos fauna gente, aunque la magnitud del problema en esta zona no es considerado tan relevante como el causado por otras especies de mayor tamaño como el *P. concolor* (Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021).

En Vilcabamba se ha llegado a definir a *S. neboxii* como una de las plagas más importantes y en crecimiento, pobladores locales expresan mensajes como: “*el número de ardillas ha ido aumentado con el tiempo, antes no había tantas*”. Manifestaciones como estas, nos llevan a proponer que este es un conflicto en crecimiento, el principal daño que causan en este sector tiene que ver con el consumo de cultivos y frutales. Además, se debe considerar que estudios previos realizados en Ecuador han definido que los nidos de *S. neboxii* albergan algunas variedades de Triatomíneos (Chinches) (Ocaña-Mayorga *et al.*, 2018), que son vectores del parásito *Trypanosoma cruzi* causante de la enfermedad de Chagas, de ahí que su incremento supondría un riesgo a la salud de los pobladores locales, tema que debería ser abordado con mayor detenimiento en trabajos futuros.

Otra de las especies locales que cobra importancia en cuanto a conflictos es *D. marsupialis*, esta especie se considera un problema para las aves de corral, principalmente en entornos rurales de Colombia (Rodríguez *et al.*, 2022), Ecuador (Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021; Universidad Andina Simón Bolívar, 2015), Perú (Gonzales Guillén & Llerena Reátegui, 2014) y otros países. De acuerdo a Flórez-Oliveros and Vivas-Serna, (2020) en Colombia es usual que la esta especie sea estigmatizada por su aspecto, asociándola con roedores o depredación de animales domésticos en comunidades rurales y urbanas, de ahí que en este país se hayan desarrollado estudios sobre protocolos experimentales para ahuyentar a la especie (Rodríguez *et al.*, 2022).

En una serie de estudios desarrollados alrededor del Parque Nacional Podocarpus (Andes del sur de Ecuador) *D. marsupialis* se constituye en una de las más nombradas cuan-

do se trata de conflictos (Aguilar-Cueva, 2019; Calderón, 2019; Chamba, 2019; García, 2019; Loaiza, 2019; Ochoa, 2017). Las características ecológicas, adaptabilidad a ambientes transformados, su dieta generalista, potencial reproductivo (hasta 10 crías al año) la vuelven una especie exitosa en diferentes tipos de ambientes (Flórez-Oliveros & Vivas-Serna, 2020; Vaughan & Hawkins, 1999), lo que facilita a su vez la presencia de situaciones conflictivas entre este animal y los pobladores.

Por otra parte, en el presente trabajo se presentan los primeros reportes que nombran a *L. culpaeus* y a *N. frenata* como especies involucradas en conflictos fauna gente en Ecuador. *N. frenata* es un depredador generalista que se alimenta de roedores, conejos, aves y sus huevos (Martínez Vaca-León *et al.*, 2019), en Estados Unidos se considera a esta especie como una plaga, debido al impacto en el consumo de aves de corral (Sheffield & Thomas, 1997). Sin embargo de esto, a nivel regional existe un solo estudio que reporta a esta especie como causante de conflictos con los pobladores en Colombia (Parra-Colorado *et al.*, 2014). En el caso de *L. culpaeus*, se ha reportado en varios estudios relacionados a conflictos humanos fauna silvestre en Argentina (González *et al.*, 2012; Lucherini & Merino, 2008) en donde la especie es considerada como el principal depredador del ganado (Gutiérrez *et al.*, 2021) inclusive causando más daño que el puma (Llanos *et al.*, 2019), también existen reportes de ataques al ganado y otras especies domésticas en Chile (Novaro *et al.*, 2017; Zorondo-Rodríguez *et al.*, 2020) y Bolivia (Gallardo *et al.*, 2020). Mientras que para Ecuador hasta el momento no se cuenta con documentos publicados en medios científicos sobre la conflictividad existente con este cánido silvestre.

Estas dos especies se encuentran afectadas por la presencia de perros ferales, en el primer caso *L. culpaeus* suele consumir carroña que se envenena, como método de control letal de este tipo de perros, afectando así sus poblaciones (Gutiérrez *et al.*, 2017; Reina Moreno, 2019) y, por otra parte, se ha reportado que este tipo de perros constituyen una amenaza potencial para las comunidades de mamíferos como *N. frenata* en el norte de Ecuador (Zapata-Ríos & Branch, 2016). Es interesante evidenciar que en el caso de Vilcabamba, por el momento no se reportan afectaciones de perros ferales, problemática grave y creciente tanto en Ecuador (Hughes and Macdonald, 2013; Zapata-Ríos and Branch, 2016; Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021; Macias and Vera, 2023) así como en diversos países de todos los continentes del planeta (Hughes & Macdonald, 2013).

Respecto de las aves rapaces diurnas involucradas en conflictos en Vilcabamba, se repite el mismo patrón evidenciado en otras localidades del país, a estas aves se las denomina comúnmente como Gavilanes, involucrando dentro de este grupo a varios tipos de aves (gavilanes, elanios, halcones). Los conflictos con aves rapaces son comunes en Ecuador (Iñiguez-Gallardo *et al.*, 2021; Macias & Vera, 2023) y varios otros países de América Latina (Muñoz & Muñoz-Santibañez, 2016; Sarasola *et al.*, 2010; Zuluaga & Echeverry-Galvis, 2016), en la mayoría de los casos se relacionan con el ataque a aves de corral, sin embargo, en nuestro país esto no ha sido documentado de manera adecuada y suele quedar relegado a comentarios anecdóticos. En Ecuador existen significativos vacíos de información sobre las aves involucradas en conflictos con la gente.

La tipología de conflictos identificados en Vilcabamba son similares a los presentes en otros sectores de Ecuador, entre estos constan principalmente la depredación de animales domésticos y el daño a cultivos (Iñiguez-Gallardo et al., 2021; Macias & Vera, 2023); sin embargo en Vilcabamba también se presentan en menor medida el consumo de ciertos animales como medicina (p. ej.: *D. marsupialis*) o se ataca a cualquier vívora (Viperidae) o culebra (Colubridae) por el temor a sus mordeduras (ofidiofobia), aunque muchas de ellas no supongan riesgo alguno para las personas (Estévez & Proaño-Morales, 2019).

Numerosas especies de pequeños mamíferos son capaces de colonizar sistemas antropogénicos (Umetsu & Pardini, 2007); sin embargo hay muy poca información sobre el rol que están cumpliendo y los efectos que está causando su interacción. Sin duda, muchas especies de mamíferos pequeños cumplen funciones ecológicas como dispersores o controladores de plagas, pero también, existen especies como *S. neboxii* y *D. marsupialis*, que como se muestra en este estudio llegan a ser consideradas por pobladores locales como plagas (Aponte, 2013; Parra-Colorado et al., 2014), debido a los daños que provocan en la producción agrícola y consecuentemente la afectación de la economía local (Segarra et al., 2015). De hecho, de acuerdo a los entrevistados *S. neboxii* y *D. marsupialis* son las especies que mayores pérdidas económicas ocasionan. Particularmente, en el valle interandino de Vilcabamba el 32 % de la población económicamente activa se dedica principalmente a actividades relacionadas con la agricultura, proceso productivo que se realiza generalmente en predios familiares; y por tanto, la pérdida de un cultivo o un animal doméstico puede significar el comprometimiento del sustento diario de muchos hogares (Segarra et al., 2015).

Respecto del uso de la fauna, como previamente se mencionó, en el presente caso se corrobora la creencia de que *D. marsupialis* y *B. lojanus* son especies con potencial medicinal, esto ha sido identificado en varias localidades cercanas alrededor del Parque Nacional Podocarpus (Aguilar-Cueva, 2019; Calderón, 2019; Chamba, 2019), valles aledaños como Catamayo (Aguilar, 2019) y en el suroccidente de Ecuador (Iñiguez-Gallardo et al., 2021).

También se corrobora que, al igual que en toda localidad en donde se presenta conflictos de este tipo, en Vilcabamba, la forma básica de enfrentar esta problemática es procurar eliminar la especie conflictiva con algún método letal, siendo la primera opción de manejo de una “plaga” (Dickman, 2010) aun a sabiendas de que en muchos casos este tipo de métodos no logran resultados adecuados de control (Canavelli et al., 2012).

El presente estudio reafirma la tendencia en el interés y tratamiento de esta problemática en torno a especies de mayor tamaño como *T. ornatus*, *P. onca* o *P. concolor*, lo que está ligado al impacto económico fruto del conflicto (Llanos et al., 2020; Lucherini & Merino, 2008; Pacheco et al., 2004). Es evidente que el daño al ganado (vacuno, porcino, ovino o caprino) causado por un depredador, siempre contemplará un mayor impacto económico e interés en los campesinos, respecto del daño en animales menores o cultivos (Iñiguez-Gallardo et al., 2021). Sin embargo, esto no implica que en localidades en donde priman procesos de producción minifundista, como es común en los países de América del sur, el conflicto con otras especies menores no sea relevante, por

el contrario, la poca visibilidad que tienen este tipo de conflictos denota la imperiosa necesidad de su evaluación y divulgación, ya que esta será la única forma de poder definir acciones para su adecuada gestión y mitigación futura.

## CONCLUSIONES

Los conflictos fauna-gente constituyen una problemática compleja y creciente, que, a pesar de su importancia posee significativos vacíos de información en países como Ecuador, en donde el principal enfoque de investigación se ha centrado en especies mayores tales como *Puma concolor* y *Tremarctos ornatus*. Sin embargo, existen varias otras especies involucradas en interacciones negativas con pobladores locales. En el presente trabajo, para el valle seco de Vilcabamba, ubicado en los Andes del sur de Ecuador, son especies de tamaño mediano o pequeñas tales como *Lycalopex culpaeus*, *Didelphis marsupialis*, *Simosciurus neboxii* y *Neogale frenata* las que se consideran especies problema. La principal afectación causada por estas especies se relaciona con el impacto económico en las actividades de producción agropecuarias, de ahí que la respuesta más habitual para enfrentar el problema sea el de procurar eliminar a las especies involucradas. Este trabajo permite identificar diferentes elementos de este tipo de conflictos en una región previamente no estudiada, constituyéndose en un elemento clave para la toma de decisiones en cuanto a su gestión futura, tema que debe partir del conocimiento básico de los conflictos, para luego tomar decisiones técnicas acordes a la realidad económica, social e institucional de cada localidad.

## AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Técnica Particular de Loja por el apoyo y respaldo institucional en el desarrollo del presente documento. A Ivonne González por la ayuda en la elaboración de la cartografía temática. LOD agradece a Leonardo y Alejandra Ordóñez-Jaramillo por su invalorable y continuo apoyo en la ejecución de su trabajo de campo.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: LOD y DM; metodología: LOD y DM; análisis formal: todos los autores; investigación: MJS; curación de datos: todos los autores; redacción — preparación del borrador original: LOD; redacción — revisión y edición: todos los autores. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Leonardo Ordóñez-Delgado: LOD, María José Salinas: MJS, Diana Maldonado: DM.

## REFERENCIAS

- Abrahms, B. (2021). Human-wildlife conflict under climate change. *Science*, 373(6554), 484–485. <https://doi.org/10.1126/science.abj4216>
- Aguilar-Cueva, B. (2019). *Evaluación de las interacciones conflictivas entre humanos y fauna en la región sur zona occidental del Parque nacional Podocarpus en el sector Yangana Palmira*. (Trabajo de Titulación de Ingeniería)

- ro en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24799>
- Aguilar, Y. (2019). *Análisis de conflicto entre la fauna local y la población rural del cantón Catamayo, provincia de Loja*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/25310>
- Albuja, L. (2011). *Biodiversidad de los valles secos interandinos del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Aponte, J. D. (2013). Una revisión de la biología del *Didelphis marsupialis* y su relación con el mal de Chagas y la leishmaniasis. *Hipótesis: Apuntes Científicos Uniandinos (Número Especial)*, 1(1), 96–101. <http://hdl.handle.net/1992/4823>
- Billah, M. M., Rahman, M. M., Abedin, J., & Akter, H. (2021). Land cover change and its impact on human–elephant conflict: a case from Fashiakhali forest reserve in Bangladesh. *SN Applied Sciences*, 3(6), 649. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04625-1>
- Bonacic, C., Amaya-Espinel, J. ., & Ibarra, J. . (2017). Human-wildlife conflicts: an overview of cases and lessons from the Andes of South America. In A. Aguirre & R. Sukumar (Eds.), *Tropical Conservation: A View from the South on Local and Global Priorities* (1st ed., pp. 109–125). Oxford University Press.
- Bonacic, C., & Ibarra, J. T. (2010). *Fauna Andina: historia natural y conservación. Serie Fauna Australis*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. División Andina, Codelco Chile.
- Calderón, C. (2019). *Análisis de conflicto entre la población de la ciudad de Loja y la fauna local*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/25495>
- Canavelli, S. B., Aramburú, R., & Zaccagnini, M. E. (2012). Aspectos a considerar para disminuir los conflictos originados por los daños de la cotorra (*Myiopsitta monachus*) en cultivos agrícolas. *Hornero*, 27(1), 89–101.
- Carrillo, E., Aldás, S., Altamirano, M., Ayala, F., Cisneros, D., Endara, A., Márquez, C., Morales, M., Nogales, F., Salvador, P., Torres, M., Valencia, J., Villamarín, F., Yáñez, M., & Zárate, P. (2005). *Lista Roja de los Reptiles del Ecuador*. Fundación Novum Milenium, UICN-Sur, UICN-Comité Ecuatoriano, Ministerio de Educación y Cultura. Proyecto Especies Ecuatorianas en Peligro de Extinción - PEEPE.
- Castaño-Urbe, C., Lasso, C., Hoogesteijn, R., Diaz-Pulido, A., & Payán, E. (2016). *II. Conflictos entre felinos y humanos en América Latina. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical* (C. Castaño-Urbe, C. Lasso, R. Hoogesteijn, A. Diaz-Pulido, & E. Payán (eds.)). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Ceballos, G., & Ortega-Baés, P. (2011). La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. In J. Simonetti & R. Dirzo (Eds.), *Conservación Biológica: perspectivas latinoamericanas* (pp. 95–108). Editorial Universitaria S.A.
- Chamba, A. (2019). *Evaluación de las interacciones conflictivas entre gente fauna silvestre en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, región centro Yanacocha Cristal*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/25319>
- Coloma, L. A., Frenkel, C., Félix-Novoa, C., Quiguango-Ubillús, A., & Varela-Jaramillo, A. (2022). *Atelopus boulengeri*, Jambato de Boulenger, Boulenger's jambato toad Peracca (1904). In S. R. Ron, A. Merino-Viteri, & D. A. Ortiz (Eds.), *Anfibios del Ecuador. Version 2022.0*. (p. 1). Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Conforti, V., & Azevedo, F. (2003). Local perceptions of jaguars (*Panthera onca*) and pumas (*Puma concolor*) in the Iguazu National Park area, south Brazil. *Biological Conservation*, 111(2), 215–221. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00277-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00277-X)
- Correa-Conde, J., & Ordóñez-Delgado, L. (2007). *El Sur Tienne Alas: Guía de Aviturismo de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe*. Ministerio de Turismo, Fundación Ecológica Arcoiris, The Nature Conservancy. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34547.30244>
- De Vivo, M., & Carmignotto, A. (2015). Family Scuridae G. Fischer, 1817. In J. Patton, U. Pardiñas, & G. D'Elia (Eds.), *Mammals of South America, Volume 2: Rodents*. University of Chicago Press. Chicago, USA.
- Dickman, A. J. (2010). Complexities of conflict: the importance of considering social factors for effectively resolving human-wildlife conflict. *Animal Conservation*, 13(5), 458–466. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00368.x>
- Distefano, E. (2005). *Human-Wildlife Conflict worldwide: collection of case studies, analysis of management strategies and good practices*. Sustainable Agriculture and Rural Development Initiative (SARD Initiative) Report, FAO.
- Estévez, M., & Proaño-Morales, A. (2019). Percepción y conocimientos de serpientes en una zona rural y urbana del Ecuador. *Ethnoscientia*, 4(1). <https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v4i1.153>
- Flores-Armillas, V. H., Valenzuela-Galván, D., Peñamondragón, J. L., & López-Medellín, X. (2019). Human-wildlife conflicts in Mexico: Review of status and perspectives. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1). <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2274>
- Flórez-Oliveros, F. J., & Vivas-Serna, C. (2020). *Zarigüeyas (chuchas comunes), marmosas y colicortos en Colombia* (p. 264). Fundación Zarigüeya – FUNDZAR. Medellín, Colombia.
- Freile, J. F., Santander, T., Carrasco, L., Cisneros-Heredia, D. F., Guevara, E., Sánchez-Nivicela, M., & Tinoco, B. (2019). *Lista roja de las aves del Ecuador continental*. Ministerio del Ambiente, Aves y Conservación, Comité Ecuatoriano de Registros Ornitológicos, Universidad del Azuay, Red Aves Ecuador y Universidad San Francisco de Quito.
- Gallardo, G., Pacheco, L. F., Rios, R. S., & Jiménez, J. E. (2020). Predation of livestock by puma (*Puma concolor*) and culpeo fox (*Lycalopex culpaeus*): Numeric and eco-

- onomic perspectives. *Therya*, 11(3), 359–373. <https://doi.org/10.12933/therya-20-986>
- García, D. (2019). *Evaluación de las interacciones conflictivas entre humanos y fauna en la región sur zona occidental del Parque Nacional Podocarpus, parroquia Valladolid, cantón Palanda*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24799>
- Gonzales Guillén, F. N., & Llerena Reátegui, G. (2014). Cacería de mamíferos en la Zona de Uso Especial y de Amortiguamiento del Parque Nacional Tingo María, Huánuco, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 21(3), 283–286. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i3.10904>
- González, A., Novaro, A., Funes, M., Pailadura, O., Bolgeri, M. J., & Walker, S. (2012). Mixed-breed guarding dogs reduce conflict between goat herders and native carnivores in Patagonia. *Human-Wildlife Interactions*, 6(2), 327–334.
- Guntiñas, M., Lozano, J., Cisneros, R., Narváez, C., & Armijos, J. (2017). Feeding ecology of the Andean fox in southern Ecuador: Wild ungulates being the main prey. *Contributions to Zoology*, 86(2), 169–180. <https://doi.org/10.1163/18759866-08602004>
- Hughes, J., & Macdonald, D. W. (2013). A review of the interactions between free-roaming domestic dogs and wildlife. *Biological Conservation*, 157, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.005>
- Iñiguez-Gallardo, V., Guerrero, A., & Ordóñez-Delgado, L. (2021). Análisis exploratorio sobre conflictos fauna silvestre-gente en la Reserva Natural Tumbesia La Ceiba, área núcleo de la Reserva de Biosfera Binacional Ecuador-Perú “Bosques de Paz.” *Revista Peruana de Biología*, 28(1), e17665. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i1.17665>
- IUCN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2*. <https://www.iucnredlist.org>
- Krueger, R., & Casey, A. (2010). Focus Group Interviewing. In J. Wholey, H. Hatry, & K. Newcomer (Eds.), *Handbook of Practical Program Evaluation* (3rd Ed, pp. 378–403). John Wiley & Sons, Inc.
- Llanos, R., Andrade, A., & Travaini, A. (2020). Puma and livestock in central Patagonia (Argentina): from ranchers’ perceptions to predator management. *Human Dimensions of Wildlife*, 25(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/10871209.2019.1668987>
- Loaiza, J. (2019). *Evaluación de las interacciones conflictivas entre gente fauna silvestre en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, sectores Rumishitana-Vilcabamba*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24071>
- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. In Z. Aguirre, J. M. Madsen, E. Cotton, & Balslev, H. (Eds.), *Botánica Austroecuatorialiana - Estudios sobre los Recursos Vegetales en las Provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchi*. (pp. 29–78). Ediciones ABYA YALA.
- Lucherini, M., & Merino, M. J. (2008). Perceptions of Human–Carnivore Conflicts in the High Andes of Argentina. *Mountain Research and Development*, 28(1), 81–85. <https://doi.org/10.1659/mrd.0903>
- Macías, F., & Vera, D. (2023). Conflictos fauna silvestre-humanos en el área de influencia al Bosque Protector Cordillera Chongón Colonche. *Revista PENTACIENCIAS*, 5(3), 745–763.
- Maldonado, N. (2002). Clima y vegetación de la región sur del Ecuador. In Z. Aguirre, J. M. Madsen, E. Cotton, & H. Balslev (Eds.), *Botánica Austroecuatorialiana - Estudios sobre los Recursos Vegetales en las Provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchi*. (pp. 1–28). Ediciones ABYA YALA.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Muñoz, A., & Muñoz-Santibañez, P. (2016). Conflictos entre la fauna silvestre y la agricultura en Chile. *Agronomía y Forestal UC*, 53, 10–17.
- Newing, H. (2011). *Conducting Research in Conservation: Social Science Methods and Practice* (1st ed.). Routledge, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780203846452>
- Novaro, A. J., González, A., Pailadura, O., Bolgeri, M. J., Hertel, M. F., Funes, M. C., & Walker, R. S. (2017). Management of the conflict between carnivores and livestock in patagonia using mixed-breed guarding dogs | Manejo del conflicto entre carnívoros y ganadería en Patagonia utilizando perros mestizos protectores de ganado. *Mastozoología Neotropical*, 24(1).
- Ocaña-Mayorga, S., Lobos, S. E., Crespo-Pérez, V., Villacís, A. G., Pinto, C. M., & Grijalva, M. J. (2018). Influence of ecological factors on the presence of a triatomine species associated with the arboreal habitat of a host of *Trypanosoma cruzi*. *Parasites and Vectors*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3138-4>
- Ochoa, M. (2017). *Diagnóstico Socio ambiental de la fauna silvestre en la cuenca del río Jambue, parte sur del corredor Podocarpus-Yacuambi: Usos e interacciones conflictivas*. (Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17554>
- Ordóñez-Delgado, L., Reyes-Bueno, F., Orihuela-Torres, A., & Armijos-Ojeda, D. (2016). Registros inusuales de aves en la hoya de Loja, Andes sur del Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 8(1), 26–36. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i1.276>
- Ordóñez-Delgado, Leonardo, Orihuela-Torres, A., Reyes-Bueno, F., & Rosado, D. (2017). First record of *Turdus ignobilis* Sclater, 1857 (Aves: Turdidae) in the Andes of Ecuador. *Check List*, 13(2). <https://doi.org/10.15560/13.2.2103>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pacheco, L., Lucero, A., & Villca, M. (2004). Dieta del puma (Puma concolor) en el Parque Nacional Sajama, Bolivia y su conflicto con la ganadería. *Ecología En Bolivia*, 39(1), 75–83.

- Parra-Colorado, J. W., Botero-Botero, Á., & Saavedra-Rodríguez, C. A. (2014). Perception and use of wild mammals by andean rural communities in Génova, Quindío, Colombia | Percepción y uso de mamíferos silvestres por comunidades campesinas andinas de Génova, Quindío, Colombia. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 18(1), 78–93.
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., & Massardo, F. (2001). *Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica. México, DF.
- Rahman, M. T., Sobur, M. A., Islam, M. S., Ievy, S., Hosain, M. J., El Zowalaty, M. E., Rahman, A. T., & Ashour, H. M. (2020). Zoonotic Diseases: Etiology, Impact, and Control. *Microorganisms*, 8(9), 1405. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091405>
- Reina Moreno, D. S. (2019). Componentes alimentarios en la dieta del lobo de páramo *Lycalopex culpaeus* en la plataforma del aeropuerto Mariscal Sucre, parroquia Tababela, Cantón Quito, Pichincha, Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 11(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i2.828>
- Ridgely, R., & Greenfield, P. (2001). *The birds of Ecuador. Volume 1: Status, distribution and taxonomy*. Cornell University Press.
- Rodríguez, K. N., Aguirre, D. R., & Ceballos, C. P. (2022). Experimental protocol to repel opossums (*Didelphis marsupialis*) through an artisanal odor repellent device. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 35(4), 205–216. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v35n4a01>
- Sarasola, J., Santillán, M., & Galmes, M. (2010). Crowned eagles rarely prey on livestock in central Argentina: persecution is not justified. *Endangered Species Research*, 11(3), 207–213. <https://doi.org/10.3354/esr00280>
- Segarra, G., Castro, S., Ramón, D., González, S., Salcedo, L., & Lituma, I. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Vilcabamba - Fase de Diagnóstico*. <https://bit.ly/3KPKmp9>
- Sheffield, S., & Thomas, H. (1997). *Mustela frenata*. In *Mammalian Species* (Issue 570). American Society of Mammalogists. <https://doi.org/10.1644/0.570.1>
- Tirira, D. (2007). *Guía de campo de los mamíferos del Ecuador*. Ediciones Murciélago Blanco. Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 6. Quito, Ecuador.
- Tirira, D. (2021). Lista Roja de los mamíferos del Ecuador. In D. Tirira (Ed.), *Libro Rojo de los mamíferos del Ecuador* (3a edición, p. 85). Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Fundación Mamíferos y Conservación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador. Publicación Especial sobre los mamíferos del Ecuador 13.
- Umetsu, F., & Pardini, R. (2007). Small mammals in a mosaic of forest remnants and anthropogenic habitats - Evaluating matrix quality in an Atlantic forest landscape. *Landscape Ecology*, 22(4), 517–530. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9041-y>
- Universidad Andina Simón Bolívar. (2015). *Caracterización de los conflictos Gente-Fauna en el Ecuador y elaboración de una propuesta de protocolos de respuesta para ser usado por autoridades ambientales en caso de conflicto*. Universidad Andina Simón Bolívar, Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Vaughan, C. S., & Hawkins, L. F. (1999). Late dry season habitat use of common opossum, *Didelphis marsupialis* (Marsupialia: Didelphidae) in neotropical lower montane agricultural areas. *Revista de Biología Tropical*, 47(1–2), 263–269.
- Zapata-Ríos, G., & Branch, L. C. (2016). Altered activity patterns and reduced abundance of native mammals in sites with feral dogs in the high Andes. *Biological Conservation*, 193, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.016>
- Zorondo-Rodríguez, F., Moreira-Arce, D., & Boutin, S. (2020). Underlying social attitudes towards conservation of threatened carnivores in human-dominated landscapes. *Oryx*, 54(3), 351–358. <https://doi.org/10.1017/S0030605318000832>
- Zuluaga, S., & Echeverry-Galvis, M. Á. (2016). Domestic fowl in the diet of the Black-and-chestnut eagle (*Spizaetus isidori*) in the eastern Andes of Colombia: a potential conflict with humans? *Ornitología Neotropical*, 27, 113–120. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v27i0.86>

# Sustentabilidad de la apicultura en San Pedro de Vilcabamba, sur del Ecuador

## *Beekeeping sustainability in San Pedro de Vilcabamba, southern Ecuador*

Bayron Cisneros<sup>1,\*</sup> and Deicy Lozano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Programa de Maestría de Agroecología y Desarrollo Sostenible. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Ecuador*

<sup>2</sup> *Carrera de Ingeniería Forestal. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; deicy.lozano@unl.edu.ec*

\* *Autor para correspondencia: byronecisneros@gmail.com, bayron.cisneros@unl.edu.ec*

Fecha de recepción del manuscrito: 19/05/2023    Fecha de aceptación del manuscrito: 10/12/2023    Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—La apicultura es una actividad sustentable para las poblaciones rurales. En el sur del Ecuador se encuentra el Parque Nacional Podocarpus (PNP), área protegida que posee una riqueza biodiversa de flora que puede ser aprovechada para desarrollar actividades apícolas. Las abejas habitan en todos los ecosistemas, sin embargo, en la actualidad estos insectos enfrentan problemas muy graves por la degradación de los ecosistemas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sustentabilidad en la dimensión social (ISC), económica (IK) y ambiental (IE) de la apicultura en la Asociación de Apicultores de San Pedro de Vilcabamba, para contribuir al manejo y conservación de los ecosistemas de la Región Sur del Ecuador. Con base en la propuesta metodológica de Sarandón se realizó la valoración interdisciplinaria y la evaluación de la sustentabilidad de la apicultura, mediante la construcción de nueve indicadores y 43 subindicadores en las tres dimensiones ISC, IK y IE. Se consideraron los siguientes valores para los indicadores: 0 = malo, 1 = bueno y 2 = muy bueno. La valoración cuantitativa de la sustentabilidad apícola fue de 1,61 y los valores obtenidos en la dimensión ISC fueron de 1,65, en la IE de 1,56 y en la IK de 1,61. Los resultados de esta investigación muestran que la apicultura es una actividad socialmente justa, económicamente rentable y ambientalmente sostenible. Por lo tanto, se concluye que la apicultura puede proyectarse a ser una actividad productiva en las familias rurales del país.

**Palabras clave**—Abejas, ambiental, biodiversidad, conservación, económico, ecosistemas, social.

**Abstract**—Beekeeping is a sustainable activity for rural populations. In southern Ecuador, Podocarpus National Park (PNP) is a protected area with a rich biodiversity of flora that can be seized for beekeeping activities. Bees inhabit all ecosystems; however, these insects are currently facing serious problems due to the degradation of ecosystems. The objective of this research was to evaluate the sustainability in the social (CSI), economic (KI) and environmental (EI) dimensions of beekeeping by the Association of Beekeepers of San Pedro de Vilcabamba, to contribute with the management and conservation of the ecosystems of the Southern Region of Ecuador. Based on Sarandón's methodological proposal, an interdisciplinary assessment and evaluation of the sustainability of beekeeping was carried out through the construction of nine indicators and 43 sub-indicators in the three dimensions CSI, KI, and EI. The following values were considered for the indicators: 0 = bad, 1 = good and 2 = very good. The quantitative valuation of beekeeping sustainability was 1.61 and the values obtained in the CSI dimension were 1.65, in the EI 1.56 and in the KI 1.61. The results of this research show that beekeeping is a socially just, economically profitable, and environmentally sustainable activity. Therefore, beekeeping can be projected to be a productive activity in rural families in the country.

**Keywords**—Bees, biodiversity, conservation, economic, ecosystems, environmental, social.

## INTRODUCCIÓN

La apicultura es de gran importancia socioeconómica y ecológica por lo que es considerada como una de las principales actividades pecuarias generadora de divisas (Zavala Beltrán et al., 2021). La apicultura juega un papel fundamental en el mantenimiento de los ecosistemas y es una de las actividades más antiguas en la evolución de la humanidad (Camacho Pérez, 2010). FAO (2018) y Hernández (2020) ha-

cen referencia al papel importante que desempeñan las abejas y la función decisiva en la agricultura pues son vitales para la preservación del equilibrio ecológico y la biodiversidad en la naturaleza. Esto significa más alimentos para la humanidad y la fauna silvestre. Sin embargo, en los últimos años, las abejas y el sector apícola han sufrido especialmente las repercusiones del cambio climático, que representan una grave amenaza para estos insectos, los cuales desempeñan un importante papel en la producción mundial de cultivos. A escala



se realizó considerando los 13 integrantes de la Asociación y sus núcleos familiares, con los siguientes valores para los indicadores: 0 = bajo, 1 = medio y 2 = alta. Se evaluaron las realidades en las dimensiones social (ISC), económica (IK) y ambiental (IE). Dentro de la **dimensión social** fueron construidos los siguientes 3 indicadores con sus respectivos subindicadores para cada uno: **A) satisfacción de las necesidades básicas** (A.1. Acceso a servicios básicos, A.2. Vías de acceso, A.3. Conectividad, A.4. Acceso a la salud, A.5. Tiene acceso a transporte, A.6. Aceptación de la apicultura en la comunidad, A.7. Recambio generacional), **B) convivencia social** (B.1. Organización social y comunitaria, B.2. Modelo de gestión, B.3. Fortalecimiento de capacidades locales, B.4. Acceso a asistencia técnica, B.5. Instituciones brindan asistencia técnica, B.6. Aplica conocimientos ancestrales, B.7. Los terrenos donde instalan los apiarios, B.8. Existen problemas de robos de las colmenas) y **C) enfoque de género** (C.1. Participación de la mujer en las actividades apícolas, C.2. Participación de la mujer en la organización, C.3. Participación de la mujer en la toma de decisiones de la organización, C.4. Participación de la mujer en la toma de decisiones familiares). Para determinar el indicador social (ISC) se realizó el promedio de los subindicadores e indicadores de la ecuación 1.

$$ISC = \frac{\left(\frac{A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7}{7}\right) + \left(\frac{B1+B2+B3+B4+B5+B6+B7+B8}{8}\right) + \left(\frac{C1+C2+C3+C4}{4}\right)}{3} \quad (1)$$

Donde: *ISC* = Indicador Sociocultural; *A1*, *B1* y *C1* Subindicadores

En la **dimensión económica** fueron construidos y evaluados junto con los apicultores 3 indicadores y 10 subindicadores: **A) producción** (A.1. Productividad y rendimiento de miel de abeja en litros/colmena, A.2. Cosecha, postcosecha, envasado, comercialización, A.3. Cuántas veces cosecha por año, A.4. Otros productos derivados de las abejas diferentes de la miel), **B) ingresos anuales/cosecha** (B.1. Canales de comercialización, B.2. Destino de la producción, B.3. Origen de los recursos, B.4. Necesidades alimenticias (autoconsumo), B.5. El modelo de apicultura satisface las necesidades económicas de la familia, B.6. Fuente de financiamiento) y **C) índices financieros** (C1 Beneficio/costo) (ecuación 2).

$$IK = \frac{\left(\frac{A1+A2+A3+A4}{4}\right) + \left(\frac{B1+B2+B3+B4+B5+B6}{6}\right) + C1}{3} \quad (2)$$

Donde: *IK* = Indicador económico; *A1*, *B1* y *C1*: Subindicadores.

En la **Dimensión Ambiental (IE)** fueron 3 indicadores y 14 subindicadores evaluados con los apicultores: **A) especies florísticas** (A.1. Número de especies vegetales con aptitud melífera, A.2. Número de especies vegetales con aptitud polínifera, A.3. Número de especies vegetales con aptitud de propóleos, A.4. Presencia o ausencia de familias, A.5. Trashumancia), **B) contaminación y destrucción ambiental** (B.1. Presencia de aplicación de agroquímicos cerca de los apiarios, B.2. Incendios forestales, B.3. Avances de la frontera agrícola, ganadera y tala de bosques, B.4. Manejo de plagas y enfermedades) y **C) conservación del medio ambiente** (C.1. La presencia de abejas contribuye a la conservación del ecosistema, C.2. La importancia de las abejas para la obtención de alimentos y el equilibrio del medio ambiente, C.3. Falta vigilancia y cuidado de la vegetación por parte de los apicultores, C.4. Falta vigilancia y

cuidado de la vegetación por parte de los apicultores, C.5. Vulnerabilidad ambiental) (ecuación 3).

$$IE = \frac{\left(\frac{A1+A2+A3+A4+A5}{5}\right) + \left(\frac{B1+B2+B3+B4}{4}\right) + \left(\frac{C1+C2+C3+C4+C5}{5}\right)}{3} \quad (3)$$

Donde: *IE* = Indicador Ambiental; *A1*, *B1* y *C1*: Subindicadores.  
**Índice de sustentabilidad general**

Para calcular el índice de sustentabilidad general se aplicó la fórmula propuesta por Sarandón y Flores (2014), en donde las tres dimensiones reciben una misma valoración porque, en una visión de la sustentabilidad, estas deben tener la misma importancia y, por lo tanto, el mismo valor. La fórmula para calcular el índice de sustentabilidad general de la apicultura aplicada se muestra a continuación (ecuación 4):

$$ISGen = \frac{IK + ISC + IE}{3} \quad (4)$$

Donde: *ISGen* = Indicador de sostenibilidad general; *IK* = Indicador económico; *ISC* = Indicador sociocultural; *IE* = Indicador ambiental.

#### Análisis de datos

Los resultados de los indicadores y subindicadores de las dimensiones social, económica y ambiental fueron representados en diagramas de radar, también denominado tipo tela de araña, ameba o cometa en el que se muestra un gráfico bidimensional que utiliza ejes radiales para representar uno o más grupos de valores (Primost, 2019; Marchionni y Schalamuk, 2010). El análisis de los datos para realizar los diagramas de radar fue mediante el software estadístico R (R Core Team, 2021) y Excel.

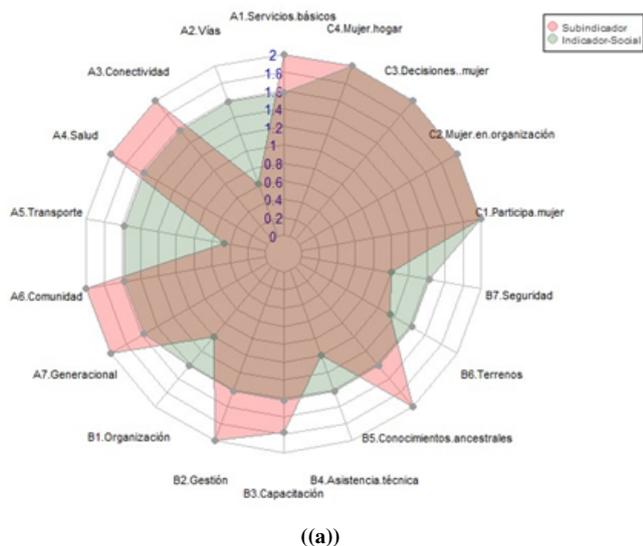
## RESULTADOS

En la dimensión social del número total de socios entrevistados el 46 % fueron mujeres y el 54 % hombres. El núcleo familiar de los 13 socios suma un total de 20 personas de las cuales el 65 % eran adultos, el 20 % niños y el 15 % jóvenes. En lo referente al nivel de educación el 8 % corresponde a primaria, 69 % secundaria y el 23 % superior. Los tres indicadores de la dimensión social, es decir, la satisfacción de las necesidades básicas, la convivencia social y el enfoque de género, obtuvieron una valoración de 2 (Fig. 2a).

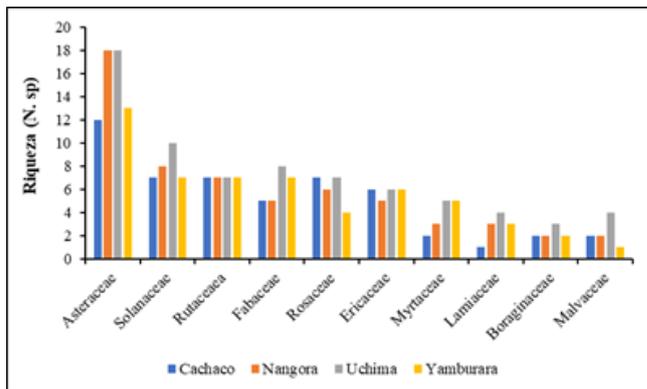
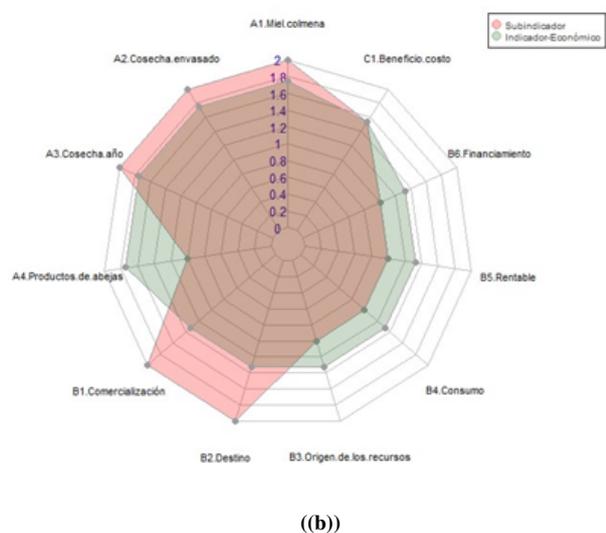
En la dimensión económica los resultados de esta investigación muestran que la productividad obtenida en las colmenas es de 24,5 kg/colmena/cosecha, obteniendo de 2 a 3 cosechas al año, con una relación de beneficio/costos de 3,20. El 80 % de la producción se comercializa y el 20 % lo destinan para el autoconsumo familiar, siendo estos indicadores de producción y comercialización los que recibieron la mayor valoración (Fig. 2b).

La contribución de este estudio en la dimensión ambiental ha permitido confirmar la riqueza florística en la zona, lo cual respalda la viabilidad de la implementación de colmenas. De hecho, el 100 % de los socios expresaron su convicción de que *en la zona de amortiguamiento del PNP se registra una notable presencia de flora propicia para la instalación de apiarios*". Esta afirmación se confirma a partir de observaciones exhaustivas, incluyendo estudios *in situ* que permitieron la identificación de 51 familias y 138 especies botánicas con potencial melífero en el área de estudio (Fig. 4). Asimismo, se destaca que el 71 % (36) de las familias botánicas identificadas se localizan en los barrios de Cachaco, Nangora, Uchima y Yamburara, pertenecientes al cantón Loja.

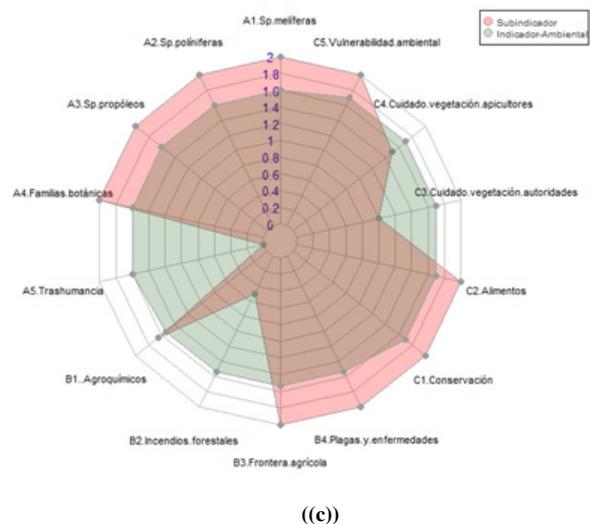
En la Figura 3 se puede observar que el indicador enfoque de género, seguido por la producción y la conservación ambiental fueron los que alcanzaron los mayores valores en la valoración de la sustentabilidad de la apicultura en la Asociación de Apicultores San Pedro de Vilcabamba. Además, se puede observar que los indicadores ingresos anuales y convivencia social fueron los de menor valoración.



**Fig. 3:** Diagrama de radar de la valoración de los indicadores social, económico y ambiental de sustentabilidad de la apicultura, según los integrantes de la Asociación de Apicultores San Pedro de Vilcabamba, Loja, Ecuador.



**Fig. 4:** Diez familias botánicas con mayor riqueza de especies con aptitud apícola en los bosques de la zona de influencia de los apiarios de la Asociación de apicultores San Pedro de Vilcabamba, Loja, Ecuador.



**Fig. 2:** Diagramas de radar de la valoración de los indicadores social 2(a), económico 2(b) y ambiental 2(c) de la apicultura, según las opiniones de los integrantes de la Asociación de Apicultores San Pedro de Vilcabamba, Loja, Ecuador.

En la dimensión ambiental se obtuvo un valor promedio de 1,61. En el indicador cobertura vegetal para los subindicadores A1, A2, A3 y A4 se obtuvo la mayor valoración de 2 (Figura 2(c)), debido a que en la zona de amortiguamiento del PNP donde están instaladas

las colmenas se pudo observar presencia de diversidad de flora con aptitud apícola. El subindicador A5 que se refiere a la actividad de hacer trashumancia fue valorado con 0, pues los apicultores no realizan esta actividad debido a la falta de seguridad para las colmenas en la movilización.

La contaminación y destrucción ambiental alcanzó un valor promedio de 1,54. En este indicador se pudo observar que los subindicadores B3, referente a los avances de la frontera agrícola, ganadera y tala de bosques, y el B4 referente al manejo de plagas y enfermedades de las colmenas de abejas, alcanzaron la máxima puntuación de 2 en la escala establecida (Figura 2(c)). Este valor evidencia que en los últimos años los campesinos que se dedicaban a la ganadería y la agricultura paulatinamente han abandonado estas actividades tanto por envejecimiento como por la migración del campo hacia la ciudad de las nuevas generaciones, estas causas han disminuido la presión hacia los bosques y el cambio de uso de la tierra, lo cual es muy favorable para la conservación del bosque y las abejas. En relación con el manejo de las plagas y enfermedades de las colmenas los apicultores utilizan métodos ancestrales que no afectan a las abejas como por ejemplo el uso de marco *Ambrosia artemisioides* en el jarabe para controlar la varroa, en la alimentación de las abejas usan el polen y la miel que producen las mismas abejas, para la revisión de las colmenas usan hojas de hierbaluisa *Cymbopogon*

*citratu*s, eucalipto *Eucalyptus saligna* y ruda *Ruda graveolens* en el ahumador con el objetivo de producir un humo suave y relajante para reducir la agresividad de las abejas.

En lo relacionado al subindicador B1, sobre la aplicación de insecticidas en los lugares cercanos donde se encuentran instaladas las colmenas, se alcanzó un valor de 1,65. Los agricultores indicaron que en la parroquia de Malacatos barrio Nangora existen cultivos de ciclo corto y por ende se aplican agroquímicos, aunque las colmenas están en sitios alejados de los cultivos, por lo que no hay problemas de contaminación de las colmenas, pero sí es preocupante por la muerte de las abejas cuando están en las labores de pecoreo. En el subindicador B2, que se refiere a la presencia de los incendios forestales, se obtuvo un valor de 0,50 y es relativamente bajo pues estas actividades han disminuido considerablemente en los últimos años.

El indicador de conservación del medio ambiente obtuvo un valor de 1,70, donde los subindicadores C1 (si las abejas son importantes para la conservación), C2 (la importancia de las abejas en la producción de alimentos) y C5 (si las abejas son vulnerables) obtuvieron el valor de 2, el más alto de la escala. Para los subindicadores C3 y C4 que se refieren a la preocupación de las autoridades y apicultores sobre el cuidado de la vegetación, se obtuvo un valor de 1,0 y 1,50, respectivamente, por lo que se deduce que existe poca preocupación de las autoridades y alta por los apicultores en la conservación de la flora apícola. **Índice de sustentabilidad general**

El índice de sustentabilidad general fue 1,61 (Tabla 1). La dimensión social obtuvo la mayor valoración y la dimensión económica la menor.

**Tabla 1:** Valores del índice de sustentabilidad general (ISGen) y de los indicadores social, económico y ambiental de la apicultura manejada por la Asociación de la Apicultores San Pedro de Vilcabamba, Loja, Ecuador.

Dimensión	Indicador	Índice
Económica	A. Producción	1,75
	B. Ingreso neto anual o por cosecha	1,33
	C. Índices financieros	1,61
		<b>1,56</b>
Social	A. Satisfacción de las necesidades básicas	1,58
	B. Convivencia social	1,37
	C. Enfoque de género	2,00
		<b>1,65</b>
Ambiental	A. Cobertura vegetal	1,60
	B. Contaminación y destrucción ambiental	1,54
	C. Conservación del medio ambiente	1,70
<b>ISGen</b>		<b>1,61</b>

## DISCUSIÓN

La evaluación de la sustentabilidad es un objetivo difícil de alcanzar debido a la propia complejidad del término. Sin embargo, el uso de indicadores, a través de un análisis multicriterio, puede resultar un instrumento válido para traducir esta complejidad en valores objetivos y claros que permitan cuantificar y comparar estos aspectos (Sarandón, 2002). Se han desarrollado estudios agroecológicos donde aplican indicadores para evaluar la sustentabilidad en las comunidades (Franco et al., 2018; Romero Simón, 2019; Franco Navarrete, 2020). En la presente investigación se generaron nueve indicadores y 43 subindicadores para evaluar la sustentabilidad de la actividad apícola. En estudios similares, Márquez y Julca (2015) propusieron el empleo de nueve indicadores y 17 subindicadores para evaluar la sostenibilidad del cultivo de café en la región de Cusco, Perú. Es relevante señalar que, al enfocarse el presente estudio en la evaluación de la actividad apícola, se establecieron indicadores específicos en el ámbito social, los cuales abordaron la satisfacción

de las necesidades básicas, la convivencia social y la perspectiva de género, indicadores no usados en el citado trabajo. Esto muestra la diversidad de criterios y perspectivas presentes en distintos estudios que evalúan la sostenibilidad, brindando una base crucial para la contextualización y adaptación de estos enfoques en diversos contextos geográficos y sectoriales. Especial énfasis se da a la equidad de género, donde se destaca la participación de la mujer en las actividades reproductivas, agroproductivas y dirigenciales de la Asociación de Apicultores San Pedro de Vilcabamba, lo cual demuestra que la apicultura se configura como una actividad inclusiva.

En la dimensión social se verificó que la apicultura ha incidido en los medios de vida de las personas que integran la asociación estudiada. Esto debido a que las necesidades básicas están cubiertas, la convivencia social y el enfoque de género son fortalezas de la comunidad al desarrollar las actividades apícolas. La apicultura tiene una gran importancia social en el medio rural, ya que es una de las principales actividades agroecológicas generadora de empleos, ingresos y divisas para los productores rurales (Chan Chi et al. 2018; Contreras-Uc et al. 2018). Además, la apicultura sostenible es vital para la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades (Flora et al. 2004; Flora et al. 2005; Shiram Mashinkias, 2022). Adicionalmente, los resultados mostraron que tanto las mujeres como los hombres participan en todo el proceso apícola, esto evidenció la importancia del enfoque de género en las actividades apícolas de la asociación. Cristina Bianca y McDonough (2015) mencionan que las mujeres continúan practicando la agricultura de subsistencia y la apicultura sigue siendo de pequeña escala, además, que las familias consumen más miel y las mujeres reconocen los beneficios nutricionales. La FAO (2021) manifiesta que cuando las mujeres tienen el mismo acceso que los hombres a los recursos productivos y los servicios, pueden aumentar notablemente los rendimientos de sus explotaciones y adaptarse a un clima cambiante. El aprovechar los conocimientos y las capacidades de las mujeres y contar con su participación constituyen oportunidades significativas para el desarrollo de soluciones nuevas y eficaces al cambio climático en beneficio de todos.

La evaluación de la sustentabilidad en la dimensión económica fue analizada desde el punto de producción, egresos e ingresos a la familia del apicultor. Las explotaciones apícolas de los socios alcanzan una productividad de 24,5 kg/colmena, frente a los 15 kg/colmena que se obtienen en promedio en el país (MAG 2020). Estos valores ubican a los apiarios de los socios de la Asociación de apicultores San Pedro de Vilcabamba en un buen nivel de producción apícola. Zavala Beltrán et al. (2021) en su investigación en Aguas Calientes, México, obtuvieron una productividad de 19,6 kg/colmena en el estrato I que fue de 20 a 50 colmenas, en el estrato II de 51 a 199 colmenas obtuvieron una productividad de 26,4 kg/colmena y en el III estrato una productividad de 30,2 kg/colmena. Magaña et al. (2016) manifiestan que la rentabilidad promedio de la producción apícola por apiario obtenida resultó positiva igualmente cuando fue segmentada o estratificada por tenencia total de colmenas, es decir, se observó que la rentabilidad se incrementaba a medida que aumentaba el número de colmenas en posesión. Además, más de la mitad de los 15 principales países productores de miel presentan una productividad promedio de 20 kg o menos por colmena al año, mientras que casi en un tercio de dicho grupo esta productividad supera los 30 kg (Magaña et al. 2016). Se verificó que la productividad de los apicultores de San Pedro de Vilcabamba se inserta en los rangos nacionales e internacionales.

En relación con la rentabilidad se determinó que la actividad apícola es rentable. El ingreso anual proveniente de la apicultura alcanzó un valor de  $IK = 1,3$  sin embargo en relación con el ISGEN = 1,61 es bajo, porque según el análisis realizado con base en el promedio de la productividad y la producción, esta última se la puede incrementar con la instalación de más colmenas, tomando como base el porcentaje de presencia de vegetación con aptitud apícola

que es alta según los apicultores y por las observaciones realizadas en territorio. Según Heldt et al. (2020) se pueden instalar de 10 a 20 colmenas por hectárea, frente a 7 colmenas como máximo que tienen los apicultores por sitio, esto debido al gran potencial florístico que se dispone en la zona de amortiguamiento del PNP. Para Márquez y Julca (2015), la rentabilidad es un indicador clave en la sustentabilidad: tal como lo indica en su estudio, la productividad de un sistema es sustentable si la producción, en cantidad y calidad, es suficiente para cubrir los costos de producción y las necesidades económicas de la familia. Los autores además indican que la rentabilidad es fundamental por lo que ha sido considerada como el subindicador más importante por las características del cultivo y la dedicación que los apicultores le dan a la producción de café, ya que este producto está dirigido a la exportación, por lo que se le otorgó el doble del valor de ponderación en la valoración de la sustentabilidad. Por lo tanto, se determinó que se debe mejorar la producción, lo que directamente se reflejaría en el incremento de los ingresos económicos elevando la calidad de vida y manteniendo la rentabilidad de la apicultura en el tiempo. Adicionalmente, Becerril García et al. (2020) manifiestan que los ingresos generados por la apicultura en el ámbito de la unidad familiar contribuyen al desarrollo, a la superación de la pobreza y a la sustentabilidad de la región.

En la dimensión ambiental se observó que la apicultura es una actividad que contribuye a la conservación de los ecosistemas. En las áreas donde se ubican las colmenas para efectuar la apicultura como son Cachaco, Nangora, Uchima y Yamburara se observaron 51 familias botánicas y 138 especies melíferas. Las familias Asteraceae, Solanaceae, Rutaceae y Fabaceae se presentaron en mayor riqueza de especies melíferas. Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Ramírez (2000) quien registró 59 familias, 152 géneros y 217 especies vegetales de interés apícola en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Estos resultados califican al sector como diverso y rico en especies melíferas que contribuyen con néctar y polen. Otro estudio realizado por Eguiguren et al. (2010) indica que las familias con mayor número de especies y géneros son Asteraceae y Ericaceae en el Parque Nacional Podocarpus. Por otro lado, Araujo-Mondragón et al. (2019) manifiestan que *Apis mellifera* visita y aprovecha 93 especies diferentes, por lo cual es de vital importancia conservar la diversidad de especies para la producción apícola. Por lo tanto, con esta investigación se identifica la necesidad de elaborar un calendario de floración de especies con aptitud apícola en el sur del Ecuador.

La agroecología y la sustentabilidad de los sistemas productivos van de la mano, esta investigación demostró que se pueden aprovechar los recursos naturales de manera sostenible, y generar beneficios económicos y sociales a las familias rurales por medio de la apicultura. Así mismo, hay que reconocer que las abejas son insectos que apoyan directamente a la producción a través de la polinización de los cultivos y bosques garantizando la conservación de la vida.

## CONCLUSIONES

En la dimensión social los factores de mayor importancia son el acceso a los servicios básicos, la experiencia en la actividad, la equidad de género, la asociatividad y la comercialización para alcanzar el desarrollo sostenible a través de una apicultura incluyente en beneficio de sus familias y comunidad en general. En cambio, en la dimensión económica la apicultura es una actividad rentable generando una relación beneficio/costo de 3,2 debido a la productividad y comercialización. En la dimensión ambiental se identificó alta diversidad de flora representada por 138 especies con aptitud apícola y 51 familias. Asteraceae, Solanaceae, Rutaceae y Fabaceae son las que presentaron la mayor riqueza de especies melíferas en las áreas de estudio.

En la Asociación existe un potencial para comercializar los productos derivados de la miel de abeja debido a la marca "Abejita Longeva" que ya cuenta con un posicionamiento reconocido en el mercado local y nacional.

## AGRADECIMIENTOS

A la Asociación de Apicultores San Pedro de Vilcabamba, Loja, Ecuador por compartir y brindar la información, los cuales permitieron realizar esta investigación en sus apiarios.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: BECS; metodología: BECS; análisis formal: BECS y DCLS; investigación: BECS; curación de datos: BECS; redacción - pre-paración del borrador original: BECS; redacción - revisión y edición: BECS y DCLS; visualización: BECS y DCLS. supervisión: BECS y DCLS. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Bayron Efrén Cisneros Songor: BECS; Deicy Carolina Lozano Sívica: DCLS.

## FINANCIAMIENTO

El financiamiento fue con recursos propios.

## REFERENCIAS

- Araujo-Mondragón, F., Redonda-Martínez, R., Araujo-Mondragón, F., y Redonda-Martínez, R. (2019). Flora melífera de la región centro-este del municipio de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Acta botánica mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1444>
- Becerril García, J., Hernández Cuevas, F. I., Becerril García, J., y Hernández Cuevas, F. I. (2020). Apicultura: Su contribución al ingreso de los hogares rurales del sur de Yucatán. *Península*, 15(2), 9-29.
- Camacho Pérez, M. D. L. Á. (2010). Apuntes de apicultura, Universidad de la Laguna. España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. 93
- Cañas B., R. L., y Chamorro M., W. A. (2017). Caracterización de la biodiversidad de insectos asociados al cultivo de lechuga bajo producción orgánica y convencional. Zamorano, Escuela Agrícola Panamericano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6084>
- Cartay, R., Márquez, L. E., Cuetara, L. M., y Chaparro-Martínez, E. I. (2020). Análisis comparativo de la modalidad de ecoturismo entre los destinos de Costa Rica y Ecuador. *Revista Espacios*, 41(15).
- Chan Chi, J. R., Caamal Cauich, I., Pat Fernández, V. G., Martínez Luis, D., Pérez Fernández, A., Chan Chi, J. R., Caamal Cauich, I., Pat Fernández, V. G., Martínez Luis, D., y Pérez Fernández, A. (2018). Caracterización social y económica de la producción de miel de abeja en el norte del Estado de Campeche, México. *Textual: análisis del medio rural latinoamericano*, 72, 103-123. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.72.007>
- Collantes, R. D., Lezcano, J. A., y Marquínez, L. M. (2021). Sustentabilidad del agroecosistema de café robusta en la Provincia de Colón, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (32), 38-50.
- Contreras-Uc, L. C., Magaña-Magaña, M. A., Sanginés-García, J. R., Contreras-Uc, L. C., Magaña-Magaña, M. A., y Sanginés-García, J. R. (2018). Características técnicas y socioeconómicas de la apicultura en comunidades mayas del Litoral Centro de Yucatán. *Acta universitaria*, 28(1), 77-86. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1390>

- Cordero D., D. (2011). Los bosques en América latina (Raul Borja). Fundación Friedrich Ebert ILDIS: Centro de Estudios Fiscales CEF; EcoEcoEs Asociación Ecológica en España. 24.
- Cristina Bianca, P., y McDonough, M. (2015). Women, Apiculture and Development: Evaluating the Impact of a Beekeeping Project on Rural Women's Livelihoods. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 72. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:11423>
- Eguiguren, P., Ojeda, T., y Aguirre, N. (2010). Diversidad forística del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus para el Monitoreo del Cambio Climático. *Ecología forestal*, 1(1), 7-18.
- Espinosa-Jiménez, J. A., Pérez-Farrera, M. Á., y Martínez-Camilo, R. (2011). Inventario florístico del Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89, 37-82.
- FAO. (2018). Evaluación de los recursos forestales mundiales. Términos y definiciones.
- FAO. (2021). *Iguales ante las abejas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostories/article/es/c/1600064/>
- Flora, C. B., Emery, M., Fey, S., y Bregendahl, C. (2005). *Community Capitals: A Tool for Evaluating Strategic Interventions and Projects*. 2.
- Flora, C. B., Flora, J. L., Spears, J. D., y Swanson, L. E. (2004). Rural communities: Legacy and change. *Rural Communities: Legacy and Change*. 354. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19931853610>
- Franco Navarrete, J. E. (2020). *El sistema producto apícola en Yucatán: Una contribución hacia la sustentabilidad e innovación social en paraíso, Maxcanú*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4324>
- Franco N. J. E., Sosa, M. y Munguía, A. (2018). Situación agroambiental y económica de la apicultura: Una contribución de la innovación social y el desarrollo en Muna, Yucatán, México. *Tlamati*, 9(2), 25-31.
- Gil, C. G. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Una revisión crítica*. 107-118
- Heldt, B. C. S., Cárdenas, C. L. L., Urrutia, M., Hernández, G., y Pasten, R. (2020). Incorporando la multifuncionalidad en la evaluación económica de proyectos de restauración de bosques nativos siempreverdes en el sur de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 26(1), Article 1. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.525>
- Hernández, M. (2020). ¿Cómo están los bosques en el mundo? La Evaluación de Recursos Forestales de la FAO responde este interrogante. *Boletín El Palmicultor*, 582.
- IICA/GTZ (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit). (1994). Desarrollo sostenible de la agricultura y los recursos naturales. El problema y sus dimensiones. Servicio Especializado I: capacitación, educación y comunicación., 186. Consultado 20 de setiembre de 2011. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8713e/A8713e.pdf>
- Izco, J., Pulgar, Í., Aguirre, Z., & Santin, F. (2007). Estudio florístico de los páramos de pajonal meridionales de Ecuador. *Revista peruana de biología*, 14(2), 237-246.
- Madsen, J. (2002). *Cactus en el sur del Ecuador—Investigación—Universidad de Aarhus*. Cactus en el sur del Ecuador. 289-303. [https://pure.au.dk/portal/en/publications/cactus-en-el-sur-del-ecuador\(a71ef410-e640-11da-bee9-02004c4f4f50\).html](https://pure.au.dk/portal/en/publications/cactus-en-el-sur-del-ecuador(a71ef410-e640-11da-bee9-02004c4f4f50).html)
- MAG. 2020. Con asistencia técnica, capacitaciones e incentivos Ecuador fortalece la producción apícola, Sistema Nacional de Información SIN. <https://www.agricultura.gob.ec/consistencia-tecnica-capacitaciones-e-incentivos-ecuador-fortalece-la-produccion-apicola/>
- MAG, M. (2018). *Ecuador tiene 1760 apicultores registrados – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-1760-apicultores-registrados/>
- Magaña Magaña, M. A., Tavera Cortés, M. E., Salazar Barrientos, L. L., Sanginés García, J. R., Magaña Magaña, M. A., Tavera Cortés, M. E., Salazar Barrientos, L. L., y Sanginés García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1103-1115.
- Marchionni, D., y Schalamuk, I. (2010). Aplicación de la teledetección espacial óptica y de radar para el análisis geológico y la detección de áreas mineralizadas en el sector central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4), 592-607.
- Márquez, F. R., y Julca, A. M. (2015). Indicadores para evaluar la sustentabilidad en fincas cafetaleras en Quillabamba. Cusco. Perú. *Saber y Hacer*, 2(1), Article 1.
- Moreno-Hernández, A., Estrella-Chulim, N., Escobedo, S., y Bustamante-González, Á. (2011). *The Sierra de Amula Región, Jalisco*. México. Universidad Autónoma de Yucatán. Vol. 14. 159
- Orús, A. (2022). Principales países productores de miel a nivel mundial 2020. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/612365/principales-paises-productores-de-miel-a-nivel-mundial/>
- Pantoja, A., Smith-Pardo, A., García, A., Sáenz, A., & Rojas, F. (2014). Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. FAO.
- Parmar, B. S., y Kumar, R. (2019). Prj news and views. *Pesticide Research Journal*, 31(2), 293-297.
- Parroquias | Municipio de Loja. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.loja.gob.ec/contenido/parroquias>
- PDyOT Parroquial, Plan de ordenamiento territorial de la parroquia San Pedro de Vilcabamba. (2015).
- Paz, A. J. (2023, enero 23). Ecuador: Minería ilegal ha arrasado con más de 25 hectáreas de bosque en el Parque Nacional Podocarpus. Noticias ambientales. <https://es.mongabay.com/2023/01/mineria-ilegal-amenaza-al-parque-nacional-podocarpus-en-ecuador/>
- Primost, J. (2019). Desarrollo de una interfaz de visualización de datos de radar. Universidad Nacional de la Plata. 100.
- Ramírez, J. 2000. Estudio potencial melífero de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Loja, Ec., p. 10-12.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Romero Simón, E. M. (2019). Sostenibilidad de la agricultura familiar: El caso del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en la provincia de Oxapampa, Pasco, Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. 131. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4111>
- Sarandón, S. J. (Ed.). (2002). *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. E.C.A. Ed. Científicas Americanas. 557.
- Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (2014). *Agroecología*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). 466. <https://doi.org/10.35537/10915/37280>
- Shiram Mashinkiaash: “La apicultura nos ha dado fuerza a las mujeres para cuidar nuestra tierra”. (2022, septiembre 5). ONU Mujeres – Ecuador. <https://ecuador.unwomen.org/es/stories/noticia/2022/03/shiram-mashinkiaash-la-apicultura-nos-ha-dado-fuerza-a-las-mujeres-para-cuidar-nuestra-tierra-0>

Yaguana, C., Lozano, D., y Aguirre, Z. (2010). Diversidad florística y estructura del bosque nublado en el sur occidente del Parque Nacional Podocarpus. *Ecología forestal*, 1(1), 47-60.

Zavala Beltrán, J. I., López Santiago, M. A., Valdivia Alcalá, R., Montiel Batalla, B. M., Zavala Beltrán, J. I., López Santiago, M.

A., Valdivia Alcalá, R., y Montiel Batalla, B. M. (2021). Análisis de la rentabilidad apícola por estratos en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 453-468. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5652>

# Estudio de la actividad reproductiva en ovejas que habitan a nivel del trópico alto en el sur del Ecuador

## *Study of reproductive activity in ewes living at the high tropical level in South of Ecuador*

Edgar Aguirre-Riofrio <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Carrera Medicina Veterinaria, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: edgar.aguirre@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 07/09/2023    Fecha de aceptación del manuscrito: 06/12/2023    Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—La sierra alta de la provincia de Loja se encuentra entre los 1800 y 2400 msnm y una temperatura media de 15°C, es donde habitan estos pequeños rumiantes manejados al pastoreo extensivo y sogueo. El objetivo del estudio fue analizar la actividad reproductiva de las ovejas bajo estas condiciones medio ambientales. La información provino de visita y entrevista directa con el propietario sobre el historial reproductivo de sus animales, 235 ovejas adultas de 53 rebaños distribuidos en 10 lugares de este ecosistema participaron en el estudio. Determinándose una estacionalidad reproductiva asociada a las condiciones climáticas de la zona, comenzando a ciclar en los meses de mayor pluviosidad y menor luminosidad (disponibilidad de alimento); presentándose los partos en los meses de menor pluviometría y mayor temperatura; destete es a los 3,7 meses, destacando el 21 % de rebaños que no lo hacen. El 43 % de esta población son criollas, 34 % mestizas y 23 % puras; presentan una prolificidad de 1,37; entran a la reproducción a los 11,4 meses; tamaño del rebaño 10 ovejas/carnero, 30 % de rebaños manifiestan antecedentes de abortos y una labor vinculada a la reproducción el suministro de sal, 21 % no lo hace y los que realizan solo el 32 % dan sal mineralizada y el 68 % solo sal, la frecuencia de suministro es semanal (77,3 %), 14 % diario y 8,7 % esporádicamente. Concluyendo las ovejas del trópico alto presentan estacionalidad reproductiva influenciada directamente por la disponibilidad de alimento en los meses de mayor pluviometría y en donde la luminosidad natural también influye.

**Palabras clave**—Estacionalidad reproductiva, Trópico, Oveja.

**Abstract**—The highlands of the province of Loja are range between 1,800 and 2,400 meters above sea level and with temperatures that do not exceed 15°C that find small flocks of sheep managed in extensive grazing and roped. Analyze the reproductive activity of sheep under these environmental conditions was the objective of this study. The database was collected through a visit and direct interview with the owners about the reproductive history of each of his animals, 235 adult sheep from 53 flocks located in 10 highland of the province of Loja participated in study. The results determine that these animals present reproductive seasonality that is associated to the environment conditions of the region, so, sexual receptivity begins in the months of greatest rainfall and lowest light (most availability of food) and births occur in the months with the lowest rainfall and higher temperatures, weaning is carried out at an age of 3.7 months, highlighting the 21 % of herds that do not wean their lambs. 43 % of this sheep population correspond to Creoles, 34 % crossbreed and 23 % pure breeds; present a prolificacy of 1.37, enter reproduction at 11.4 months, the flock size in this area is 10 ewes per ram, 30 % of flocks show a history of abortions, a management task linked to reproduction is the supply of salt to the animals, where 21 % of herds do not do so and in those that do, only 32 % administer mineralized salt and 68 % supply only salt, the frequency of supply the majority (77.3 %) is weekly, 14 % daily and 8.7 % sporadically. In conclusion the ewes that inhabit the Andes high tropics present a reproductive seasonality that is directly influenced by the availability of food in the months of greatest rainfall and where natural light also influences.

**Keywords**—Reproductive seasonality, Tropics, Sheep.

## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Loja, ubicada al sur del Ecuador se encuentra el 9.3 % de la superficie de pastos naturales y el 7 % de ovejas a nivel nacional (ESPAC-INEC, 2021), siendo estos animales los que son manejados en dichos lugares donde el rendimiento de pasturas y por tanto la capacidad receptiva de animales es baja, incidiendo en la pobre perfo-

mance productiva y reproductiva que presenta esta especie en nuestro medio que siempre y en los diversos lugares del mundo ha sido relegada a los lugares menos favorecidos, donde la ganadería bovina o la actividad agrícola no es posible realizar.

De acuerdo a lo manifestado por Rodero *et al.* (1992), fue Cristobal Colon en su segundo viaje al nuevo mundo quien

trajo entre otras especies animales a los ovinos, por lo que originalmente en su habitat existen marcadas estaciones climáticas que favorecen o desfavorecen su reproducción y la oveja con el transcurrir del tiempo de mas de cinco siglos ha tenido que adaptarse a los diferentes ecosistemas del trópico americano, por lo que la interacción que normalmente existe en los rumiantes menores de las horas luz y el ciclo reproductivo no es confiable y mas bien factores como la disponibilidad de alimento, época de lluvias, temperatura ambiental, son los decisivos (Porrás *et al.* 2003; Valencia *et al.* 2006; Arroyo *et al.* 2007; Trujillo *et al.* 2007; Durán *et al.* 2008). En este contexto Delgado *et al.* (2009), manifiestan que las poblaciones ovinas de America se fundaron en el siglo XV sobre una base de escasos animales importados de España y Portugal, por lo que están tremendamente adaptados al medio y capacitados genéticamente para producir en las regiones más inhóspitas y en las áreas más duras, como es el caso de la sierra alta del Sur del Ecuador.

La escasa información técnica referente a la actividad reproductiva de la oveja a nivel del trópico andino, en donde el manejo en su mayoría es de tipo tradicional-familiar, sin el empleo de registros, con una alimentación basada en pasturas naturales y escasa administración de suplementos alimenticios y minerales, es de acuerdo a Mendoza & Peña (2009) y Molina (2015), debido a que esta especie no es considerada como comercial y nuestros campesinos no disponen de recursos económicos para un manejo mas tecnificado, ante esta realidad justifica la necesidad de conocer la funcionalidad reproductiva *in situ* que tiene este animal, permitiendo con ello diseñar y tomar medidas tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia reproductiva y productiva de las explotaciones ovinas de la Región Sur del Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la provincia de Loja al sur del Ecuador (4°03'S 79°39'O), en 10 sectores de la sierra alto andina: Loja, Chuquiribamba, San Lucas, Saraguro, Yangana, Jimbura, Gonzanama, Calvas, Paltas y Celica, ubicados a una altitud entre los 1300 y 2500 msnm (Fig. 1), recopilándose la información mediante ficha técnica que fue llenada al visitar *in situ* y entrevistar directamente al propietario sobre el historial reproductivo de 235 ovejas adultas provenientes de 53 rebaños. Información complementaria también se obtuvo, referente al manejo del destete, distribución racial de dicha población, pubertad, prolificidad, tamaño de los rebaños y manejo en el suministro de sal a estos animales.

## RESULTADOS

Haciendo una recopilación de la información climatológica de la provincia de Loja en los últimos años (Tabla 1), podemos apreciar que la temperatura media durante el año es de  $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , así también los meses con mayor precipitación y humedad son de enero a abril y que constituyen junto con junio y julio los meses de menor luminosidad. Así mismo como se puede apreciar en la Figura 2, los meses de mayor presencia de sol (luminosidad) van desde agosto a octubre.

En el presente estudio se pudo determinar que las ovejas que pastorean extensivamente y al sogueo en la sierra medio

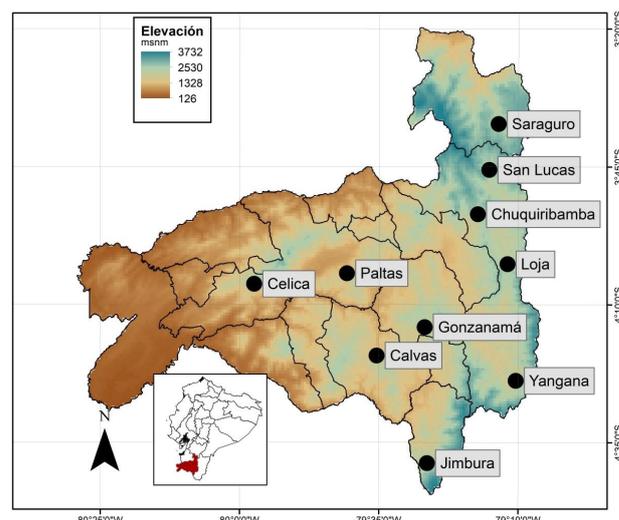


Fig. 1: Mapa de ubicación geográfica y rangos altitudinales de la Región Sur del Ecuador donde se realizó la investigación.

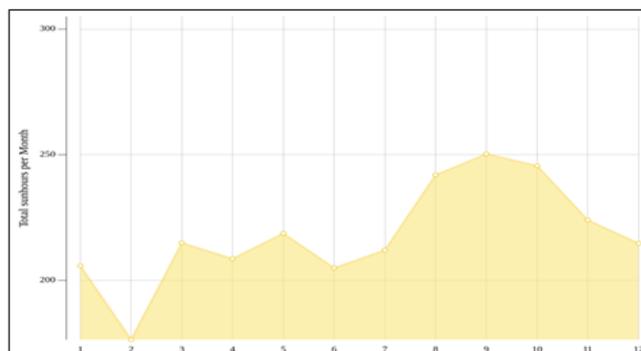


Fig. 2: Total de horas de luminosidad mensual a nivel de la provincia de Loja.

Fuente: [www.climate-date.org](http://www.climate-date.org)

alta de la región andina del sur del Ecuador presentan una estacionalidad reproductiva que va asociada a las condiciones climáticas de la zona, pues comienzan a ciclar en los meses de mayor pluviosidad y menor luminosidad (febrero, marzo, abril, junio) y que constituyen las épocas de mayor disponibilidad de alimento (Figura 3), presentándose los partos en los meses de menor pluviometría y humedad junto con una mayor temperatura ambiental y luminosidad que van de junio hasta diciembre (Figura 4).

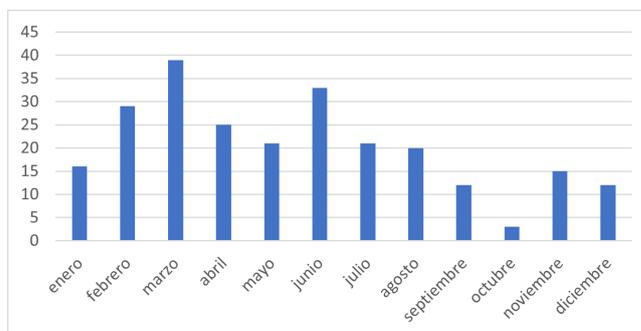
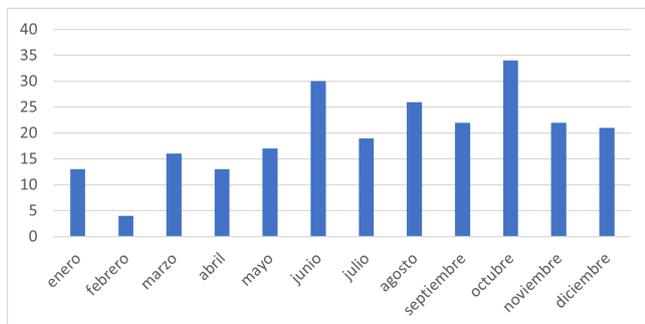


Fig. 3: Frecuencia durante el año de celos naturales en ovejas que pastorean en la sierra alta de los Andes del sur del Ecuador.

En cuanto a la labor de destete en los rebaños que lo realizan, esta se da a una edad de  $3,7 \pm 1,01$  meses, destacando el 21% de los mismos que no destetan a sus corderos, apar-

**Tabla 1:** Información climática histórica del tiempo en la provincia de Loja, Ecuador.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	15.1	15.1	15.2	15.2	15.1	14.3	13.9	14.4	15.4	15.6	15.5	15.3
Temperatura mín. (°C)	12.8	12.9	12.8	12.7	12.4	11.5	10.7	10.7	11.7	12.4	12.5	12.7
Temperatura máx. (°C)	18.9	18.7	18.8	18.7	18.7	17.9	17.8	18.7	19.8	20	20	19.2
Precipitación (mm)	179	208	215	164	96	62	49	35	46	101	143	155
Humedad (%)	80%	83%	82%	81%	79%	78%	76%	73%	70%	74%	75%	79%
Días lluviosos (días)	19	18	19	18	14	12	11	8	9	14	16	17
Horas de sol (horas)	6.6	6.3	6.9	7.0	7.1	6.8	6.8	7.8	8.3	7.9	7.5	6.9

Fuente: <https://en.climate-data.org/south-america/ecuador/provincia-de-loja-40/>**Fig. 4:** Ocurrencia durante el año de partos en ovejas que pastorean en la sierra alta de los Andes del sur del Ecuador.

tándose los mismos de forma natural de sus madres cuando estas cesan su lactogénesis por estar nuevamente preñadas. Es de destacar en este estudio que el 43 % de esta población de ovejas corresponden a criollas, 34 % mestizas y 23 % a razas puras (Poll Dorset, Pelibuey, Khatadin, Corredale).

Presentan una prolificidad de 1,37 corderos/parto y entran a la reproducción a los 11,4±3,8 meses de edad; el tamaño promedio del rebaño en esta zona es de 10 ovejas adultas por carnero y el 30 % de los mismos manifiestan antecedentes de abortos, siendo los mismos ocasionados por causas desconocidas a la fecha del presente estudio. Una labor de manejo vinculada a la reproducción es el suministro de sal, donde el 21 % de rebaños no administran y en los que realizan, solo el 32 % administran sal mineralizada y el 68 % suministran solo sal a sus animales, la frecuencia de suministro en su mayoría (77,3 %) es semanal, 14 % diario y un 8,7 % de forma esporádica.

## DISCUSIÓN

Considerando lo manifestado por Peña (2005) y Molina (2015), en Ecuador entre el 70 % y 90 % de la población ovina es criolla, un 27 % mestizos (criollos x varias razas) y 3 % puros, estos datos, frente a los resultados del presente estudio, evidencian que en esta región habido una mejora genética, con una disminución de la población criolla (43 %) y un aumento de mestizos (34 %) y razas puras (23 %) en donde la presencia de ovinos tropicales es ya notoria en el medio, al existir en la sierra alta del sur del Ecuador alrededor del 80 % de las ovejas que por el fenotipo que tienen, demuestran una mayor o menor frecuencia de genes criollos, ha permitido de acuerdo a Rhind *et al.* (2001); Hazlerigg & Loudon (2008) y Arroyo (2011), una selección natural y mayor adaptación a los diferentes hábitats favoreciendo con ello que la reproducción ocurra armónicamente.

Al estudiar el comportamiento reproductivo de los animales ungulados donde se incluyen a las ovejas, numerosos autores (Bronson 2009; Burns *et al.* 2010; Giwerzman & Gi-

wercman 2011; Taberlet *et al.* 2011; Rodríguez & Ponce de Leon 2013; Ogutu *et al.* 2015) manifiestan que factores medioambientales como: humedad, temperatura, latitud, lluvias y su interacción con los inherentes al individuo como: especie, raza, sexo; son considerados capaces de modificar la actividad reproductiva en ungulados salvajes y domésticos. En este mismo contexto Sumar (1996), Riveros *et al.* (2010) y Urviola & Riveros (2017), reportan en camélidos sudamericanos como el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*) una receptividad sexual que se produce durante la temporada de lluvias de diciembre a marzo coincidiendo con la época de mayor disponibilidad de recursos; de igual manera Carranza *et al.* (2017) señalan que el incremento o disminución de la vegetación y las precipitaciones pluviales podrían alterar seriamente la época reproductiva de los animales.

En el presente estudio se puede corroborar lo manifestado por los autores citados en el párrafo anterior, pues en esta población de ovejas los factores medioambientales influyen en su comportamiento reproductivo, empezando la etapa de receptividad sexual en los meses de mayores lluvias y menor luminosidad (febrero, marzo, abril, junio) y presentándose los partos en los meses de menor pluviosidad y humedad junto con una mayor temperatura ambiental y luminosidad que van de junio hasta diciembre, que son condiciones climáticas más favorables para las crías (Sinclair *et al.* 2000; Santiago-Moreno *et al.* 2006; Gedir *et al.* 2016; Urviola & Riveros 2017).

El promedio de edad en que entran a la reproducción estas ovejas (11,4 meses), es inferior al reportado en México en ovinos de pelo por Gonzalez-Garduño *et al.* (2001) de 13,6 meses, en donde el clima cálido subhúmedo y una temperatura promedio de 27,3°C de dicho lugar pueden influir en una menor precocidad; otro criterio en que coinciden Cruz *et al.* (1983), Gonzalez (1997) y Gonzalez-Garduño *et al.* (2001), es que las ovejas nacidas al inicio de las épocas de sequía encuentran las condiciones en calidad y cantidad de forraje además de factores climáticos, para iniciar la actividad reproductiva más temprano, que las nacidas en otras épocas, lo cual de acuerdo a nuestros resultados puede ser otro factor que incide en la precocidad de estas ovejas.

En cuanto a la prolificidad, Gonzalez-Garduño *et al.* (2001) en ovejas Pelibuey en México, reportan de 1,2 crías, manifestando que la época de empadre influye en una mayor o menor prolificidad, efecto que podría atribuirse a una abundancia de pasto llegando las ovejas al empadre en buena condición corporal, esto se complementa en lo que enfatizan Blache *et al.* (2000) y Scaramuzzi & Martin (2008), que la nutrición y el nivel de reservas corporales mantienen una correlación positiva con la tasa de ovulación y fertilidad en las ovejas, lo cual puede ser el factor que incide en esta pobla-

ción que presentan una mejor prolificidad (1,37).

En un estudio realizado por Mendoza & Peña (2009), sobre la “Situación y perspectivas de los ovinos en el Ecuador”, manifiestan que el suministro de sal mineralizada es una vez al mes, comparado con los resultados de la presente investigación, se puede evidenciar una notable mejoría en esta práctica de manejo, pues más del 90% de los rebaños que suministran, lo hacen de forma diaria o semanal; existiendo un 68% de rebaños que solo administran sal común y un notorio 21% de rebaños que no realizan esta importante labor y que puede a lo mejor ser una de las causas de antecedentes de abortos detectados en algunos rebaños de esta región.

## CONCLUSIONES

Las ovejas que habitan el trópico alto de los Andes cuya alimentación se basa principalmente en el pastoreo, presentan una conducta reproductiva influenciada directamente por las condiciones medioambientales en donde en los meses de mayor pluviometría y disponibilidad de alimento hay mayor actividad ovarica y en los meses de menor humedad y mayor temperatura hay la presencia de los partos, destacando que en todos estos procesos la luminosidad natural también influye.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a los estudiantes de Octavo ciclo, paralelos A y B de la asignatura de Ovinos y Caprinos, periodo octubre 2022-marzo 2023, quienes como parte de su investigación formativa, participaron en la recopilación de la información de campo.

## FINANCIAMIENTO

Se deben mencionar todas las fuentes de financiamiento que permitieron el desarrollo de su investigación. Mencione si el financiamiento fue de procedencia propia o institucional o cualquier otra fuente que haya contribuido a este estudio. Incluya el código o la resolución con la cual se financió el proyecto de investigación. Ejemplo: El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Loja, bajo resolución 250-2021-DI-UNL.

## REFERENCIAS

Arroyo, L. J., Gallegos-Sánchez, J., Villa-Godoy, A., Bermeos, J. M., Perera, G., & Valencia, J. (2007). Reproductive activity of Pelibuey and Suffolk ewes at 19 north latitude. *Animal Reproduction Science*, 102(1-2), 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.09.025>

Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 829-845.

Blache, D., Tellam, R. L., Chagas, L. M., Blackberry, M. A., Vercoe, P. E., & Martin, G. B. (2000). Level of nutrition affects leptin concentrations in plasma and cerebrospinal fluid in sheep. *Journal of Endocrinology*, 165(3), 625-637. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1650625>

Bronson, F. H. (2009). Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the*

*Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3331-3340. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0140>

Burns, B. M., Fordyce, G., & Holroyd, R. G. (2010). A review of factors that impact on the capacity of beef cattle females to conceive, maintain a pregnancy and wean a calf—Implications for reproductive efficiency in northern Australia. *Animal Reproduction Science*, 122(1-2), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.010>

Carranza, J., Yoong, W. A., Mateos, C., Cano Vergara, B., Gómez, C. L., & Macías, V. (2017). Reproductive phenology of Creole horses in Ecuador in the absence of photoperiod variation: the effects of forage availability and flooding affecting body condition of mares. *Animal Science Journal*, 88(12), 2063-2070. <https://doi.org/10.1111/asj.12818>

Cruz, L. C., Fernández-Baca, S., Escobar, F., & Quintana, F. (1983). Edad al primer parto e intervalo entre partos en ovejas Tabasco en el trópico húmedo. *Veterinaria Méx*, 14, 1-5.

Delgado, J.V., León, J.M., Gómez, M., Nogales, S., & Camacho, E. (2009). Las razas ovinas ibéricas y su participación en la colonización de Iberoamérica En Biodiversidad Ovina Iberoamericana. Caracterización y uso sustentable. Universidad de Córdoba, España. Págs. 17-30.

Durán F., Hernández H., & Latorre D. (2008). Manual de Explotación y Reproducción de Ovejas y Borregos. Grupo Latino Editores Ltda. Colombia. Págs. 742.

ESPAC-INEC. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-Instituto Ecuatoriano de estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Gedir, J. V., Cain III, J. W., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C., & Morgart, J. R. (2016). Potential foraging decisions by a desert ungulate to balance water and nutrient intake in a water-stressed environment. *PLoS one*, 11(2), e0148795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148795>

Giwerzman, A., & Giwerzman, Y. L. (2011). Environmental factors and testicular function. *Best practice & research Clinical endocrinology & metabolism*, 25(2), 391-402. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2010.09.011>

González, A. R. (1997). Reproducción en ovinos de pelo en el trópico mexicano. In *Memorias del IX Congreso Nacional de Producción Ovina. Querétaro Qro. México* (pp. 294-319).

González, G. R., Torres, H. G., Becerril, P. C., & Díaz, R. P. (2001). Relación del color del pelaje y factores ambientales con características reproductivas en ovejas tropicales. *Agrociencia*, 35(1), 41-50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235104>

Hazlerigg, D., & Loudon, A. (2008). New insights into ancient seasonal life timers. *Current Biology*, 18(17), R795-R804. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2008.07.040>

Mendoza, B., & Peña, L. (2009). Situación actual y perspectivas de los ovinos en Ecuador En Biodiversidad Ovina Iberoamericana. Caracterización y uso sustentable. Universidad de Córdoba, España. Págs. 433-446.

Molina-Cuasapaz, E. (2015). Comparación de tres protocolos hormonales de sincronización de celo e inseminación

- cervical en borregas con semen crioconservado. Trabajo de grado de Médico Veterinario Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador.
- Ogutu, J. O., Owen-Smith, N., Piepho, H. P., & Dublin, H. T. (2015). How rainfall variation influences reproductive patterns of African savanna ungulates in an equatorial region where photoperiod variation is absent. *PLoS one*, *10*(8), e0133744. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133744>
- Peña, L. (2005). Producción de ovinos. ESPOCH – FCP – EIZ. Riobamba – Ecuador.
- Porras, A. A., Zarco, Q. L. A., & Valencia, J. (2003). Estacionalidad reproductiva en ovejas. *Ciencia Veterinaria*, *9*(4), 1-34.
- Rhind, S. M., Rae, M. T., & Brooks, A. N. (2001). Effects of nutrition and environmental factors on the fetal programming of the reproductive axis. *Reproduction*, *122*(2), 205-214. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1220205>
- Riveros, J. L., Schuler, G., Bonacic, C., Hoffmann, B., Chaves, M. G., & Urquieta, B. (2010). Ovarian follicular dynamics and hormonal secretory profiles in guanacos (*Lama guanicoe*). *Animal reproduction science*, *119*(1-2), 63-67. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.11.005>
- Rodero, A., Delgado, J. V., & Rodero, E. (1992). Primitive Andalusian livestock and their implications in the discovery of America. *Archivos de Zootecnia*, *41*(154), p383-400. <http://hdl.handle.net/10396/3294>
- Rodríguez, Y., & De León, R. P. (2013). Comportamiento reproductivo de novillas Cebú Lechero Cubano y Mestizas de Cebú Lechero en la Empresa Pecuaria Genética “Los Naranjos”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *47*(2), 125-129. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028751003>
- Santiago-Moreno, J., Gómez-Brunet, A., Toledano-Díaz, A., Picazo, R., Gonzalez-Bulnes, A., & López-Sebastián, A. (2006). Seasonal endocrine changes and breeding activity in Mediterranean wild ruminants. *Reproduction in Domestic Animals*, *41*, 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2006.00771.x>
- Scaramuzzi, R. J., & Martin, G. B. (2008). The importance of interactions among nutrition, seasonality and socio-sexual factors in the development of hormone-free methods for controlling fertility. *Reproduction in Domestic Animals*, *43*, 129-136. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01152.x>
- Sinclair, A. R. E., Mduma, S. A., & Arcese, P. (2000). What determines phenology and synchrony of ungulate breeding in Serengeti?. *Ecology*, *81*(8), 2100-2111. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081%5b2100:WDPASO%5d2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081%5b2100:WDPASO%5d2.0.CO;2)
- Sumar, J. B. (1996). Reproduction in llamas and alpacas. *Animal Reproduction Science*, *42*(1-4), 405-415. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(96\)01538-2](https://doi.org/10.1016/0378-4320(96)01538-2)
- Taberlet, P., Coissac, E., Pansu, J., & Pompanon, F. (2011). Conservation genetics of cattle, sheep, and goats. *Comptes rendus biologies*, *334*(3), 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.007>
- Trujillo-Quiroga, M. J., Gallegos-Sánchez, J., Porras-Almeraya, A., & Valencia-Méndez, J. (2007). Los días artificiales largos inducen el anestro en ovejas pelibuey con patrón reproductivo continuo. *Agrociencia*, *41*(5), 513-519.
- Urviola García, A. P., & Riveros, J. L. (2017). Factores moduladores de la estacionalidad reproductiva en ungulados. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *19*(3), 319-336. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.297>
- Valencia, J., Porras, A., Mejía, O., Berruecos, J. M., Trujillo, J., & Zarco, L. (2006). Actividad reproductiva de la oveja Pelibuey durante la época del anestro: influencia de la presencia del macho. *Revista Científica*, *16*(2), 136-141.

# Influencia de diferentes estrategias de nutrición en la etapa reproductiva del café (*Coffea arabica*) en la Región Sur del Ecuador

## *Influence of different nutrition strategies in the reproductive stage of coffee (Coffea arabica) in the Southern Region of Ecuador*

María Álvarez-Lino<sup>1,\*</sup>, Vinicio Ruilova<sup>2</sup>, Rodrigo Abad-Guamán<sup>3</sup> y Mirian Capa-Morocho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Ecofisiología y Producción Agraria, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, maria.alvarez@unl.edu.ec

<sup>2</sup> Euroagro S.A, Loja, Ecuador, vruilova@hotmail.com

<sup>3</sup> Centro I+D+i de Nutrición Animal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, rodrigo.abad@unl.edu.ec

\* Autor para correspondencia: maria.alvarez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 30/03/2023    Fecha de aceptación del manuscrito: 06/09/2023    Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—La producción de café es de gran importancia económica a nivel mundial por su alta contribución a los agricultores. Sin embargo, su rendimiento aún es bajo debido a la falta de programas de fertilización adecuados a las diferentes etapas fenológicas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de nutrición en los parámetros productivos de dos variedades de café. Para tal efecto, se ejecutó un ensayo en las variedades Borboun Sidra y SL28 de 2,5 años de edad en etapa productiva en Malacatos, al sur del Ecuador. Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de nutrición: manejo del productor (testigo), manejo alternativo (fertilización inorgánica y aplicación de bioestimulantes de forma edáfica y foliar) y dos combinaciones entre estos (manejo del productor más manejo alternativo). La nutrición se aplicó cada 15, 30 y 90 días durante cinco meses después de la floración de acuerdo al tratamiento. Se evaluó la fenología, número de frutos por rama y planta, peso y tamaño del fruto, crecimiento del fruto, producción por planta y rendimiento del café en cereza. La estrategia de manejo alternativo 2 (fertilización edáfica a base de N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente y aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos) presentó un efecto positivo y significativo en el número, tamaño y peso de frutos. El rendimiento se incrementó en un 71 % en promedio en comparación con el testigo. Una adecuada estrategia de nutrición en la etapa productiva del café podría estimular los procesos fisiológicos, e incidir en los parámetros productivos y el rendimiento.

**Palabras clave**—Bioestimulantes, Fertilización, Micorrizas, Aminoácidos, Rendimiento.

**Abstract**—Coffee production is highly economically important worldwide due to its high contribution to farmers. However, its yield is still low due to the lack of adequate fertilization programs for the different phenological stages. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different nutrition strategies on the productive parameters of two coffee varieties. For this purpose, a trial was carried out on the Borboun Sidra and SL28 varieties of 2.5 years of age in the productive stage in Malacatos, southern Ecuador. A completely randomized design was established with four nutrition treatments: producer management (control), alternative management (inorganic fertilization and application of biostimulants in soil and foliar form) and two combinations of these (producer management plus alternative management). According to the treatment, nutrition was applied every 15, 30 and 90 days for five months after flowering. Phenology, number of fruits per branch and plant, fruit weight and size, fruit growth, production per plant and cherry yield were evaluated. Alternative management strategy 2 (edaphic fertilization based on N, P, K, Ca, S, mycorrhizae and humic acids applied monthly and foliar applications every 15 days of N, P, K, S, Zn, Fe and amino acids) had a positive and significant effect on the number, size and weight of fruits. Yield increased on average 71 % compared to the control. An adequate nutrition strategy in the coffee production stage could stimulate physiological processes and impact production parameters and yield.

**Keywords**—Biostimulants, Fertilization, Mycorrhizae, Amino acids, Yield.

## INTRODUCCIÓN

El café tiene una gran importancia económica a nivel mundial: sus semillas, tostadas, molidas y en infusión,

constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente (Deshpande *et al.*, 2019). En el Ecuador, se distribuye en todo el país, desde la Amazonía hasta la región andina y costera (Echeverría *et al.*, 2022), encontrándose en 23 de las

24 provincias del país (Sánchez *et al.*, 2018). Ecuador cuenta con 34931 ha cultivadas, de las cuales el 68% de esta área corresponde a la especie *Coffea arabica* y el 32% a *Coffea canephora* (SIPA, 2023).

En la región Sur, Loja es considerada como la principal zona cafetalera por la calidad del producto, el cual ha sido de los mejores puntuados en los últimos años en el torneo nacional Taza dorada (UTPL, 2022) y reconocido internacionalmente por presentar café de altura (Jiménez & Massa, 2016). En la provincia se destaca la producción de café debido a su ubicación geográfica y a las condiciones climáticas que posee, brindando las condiciones aptas para la producción de café. De acuerdo al INEC-ESPAC (2021), el rendimiento promedio de café a nivel nacional es de 0,17 t/ha y en la provincia de Loja el rendimiento es de 0,14 t/ha, los cuales son menores en comparación con los países productores vecinos como Perú, Colombia y Brasil, considerando que la planta de café arábica tiene un amplio rango de rendimiento de acuerdo a las zonas productivas donde se cultive y de la temporada (Echeverría *et al.*, 2022). A nivel local los bajos rendimientos se atribuyen a que provienen de huertos de pequeños productores que no han sido renovados durante décadas y en los cuales no existe innovación tecnológica (Chiriboga, 2019). También los factores climáticos juegan un rol importante en el rendimiento, especialmente la temperatura y la iluminación (Baliza *et al.*, 2012). La zona óptima para el cultivo del café arábica presenta una temperatura entre 19 y 21,5 °C, tolerando temperaturas de zonas tropicales y subtropicales, pero no de zonas templadas (González & Hernández, 2016); a menos de 19 °C, el café se desarrolla menos y tiene menor producción, mientras que por encima de los 21,5 °C, la vida productiva del café es más corta, y la cosecha más temprana y más concentrada (Torres, 2013).

Para expresar el potencial de un sistema de producción, se requiere de un programa de manejo de nutrición adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrimentos necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo, que además minimice el impacto ambiental (Naranjo, 2018). En los sistemas productivos de café en Ecuador, se manejan inapropiadamente los fertilizantes, lo que conlleva a una pérdida de nutrientes, y con ello, bajas producciones (Capa, 2015). Por ello, es importante estudiar las dosis, momentos adecuados para la fertilización y la forma más efectiva de aplicación tanto mineral como orgánica (Pérez *et al.*, 2021).

Actualmente, hay un interés creciente en el uso de bioestimulantes por su potencial de mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, regulando el crecimiento y desarrollo de las plantas, y además promueve la agricultura sostenible (Craigie, 2011). Ayudan a corregir la falta de nutrientes que a veces suelen presentar las plantas por una mala fertilización o por las características físicas y químicas del suelo (Quintero *et al.*, 2018). Entre algunos de los bioestimulantes que se utilizan se encuentran los aminoácidos, los cuales son importantes para la estimulación del crecimiento celular, ayudan a mantener un valor de pH favorable dentro de la célula vegetal y mitigan significativamente las lesiones causadas por el estrés abiótico (Boras *et al.*, 2011; Chen y Murata, 2011). Por su parte, las sustancias húmicas constituyen la fracción donde es retenido mayoritariamente el carbono de la materia orgánica del suelo e intervienen en múltiples propiedades

del sistema suelo-planta (Ramírez, 2017). En cuanto a las micorrizas, en el área de la agricultura sostenible son como mecanismo para mantener cultivos comerciales eficientes y sostenibles (Siddiqui *et al.*, 2008; Gianinazzi *et al.*, 2010; Ruíz *et al.*, 2011; Candido *et al.*, 2015; Colla *et al.*, 2015). Alves *et al.* (2012) señala que contribuyen con el aumento de productividad de los cultivos, la regeneración de comunidades vegetales degradadas y el mantenimiento del equilibrio del ecosistema. De igual manera, la aplicación de inoculantes micorrícicos (IM) como biofertilizantes en diferentes plantas, ha mostrado tener impacto sinérgico en la nutrición de la planta y ayuda en el desarrollo vegetativo y reproductivo (Candido *et al.*, 2013; Montes y Flores, 2019).

Dentro de este contexto, la presente investigación buscó evaluar el efecto de diferentes estrategias de nutrición con base en fertilización inorgánica y orgánica en la etapa reproductiva y en el rendimiento de dos variedades de café bajo las condiciones de la región sur del Ecuador, en busca de proporcionar alternativas de manejo que beneficien a los productores cafetaleros de la región y aumenten su productividad. Las estrategias de nutrición incluyeron fertilización edáfica a base de macronutrientes (N, P, K, Ca, S) y biofertilizantes, así como una fertilización foliar principalmente de Zn, Fe y aminoácidos con aplicaciones a mayor frecuencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Ubicación del área de estudio*

El estudio se desarrolló en la provincia de Loja, en la finca Santa Gertrudis, ubicada en el Barrio El Porvenir de la parroquia Malacatos, con clima templado húmedo, temperatura media de 20 °C y una precipitación media anual de 1000 mm (PDOT Loja, 2019). La latitud del área de estudio es de 5°49'51'' sur y la longitud de 80°47'16'' oeste, con una altitud de 1800 m s.n.m. (GAD Loja, 2020). El suelo del sitio experimental mostró una textura franca, con pH de 7 y 2,12% de materia orgánica.

### *Material vegetal*

Se evaluaron plantas de café de la variedad Borboun Sidra y SL28 de 2,5 años de edad, puesto que estas eran las plantas disponibles en la finca, sembradas a una densidad de 3333 plantas/ha (2 m entre planta 1,5 m entre surco).

Los individuos para la investigación se seleccionaron según su homogeneidad en altura, número de ramas principales, vigor y estado fenológico de acuerdo a la escala BBCH 70 (frutos visibles como pequeñas cerezas amarillentas) (Arcila *et al.*, 2001). La evaluación en campo se realizó durante 8 meses desde enero hasta agosto de 2021.

### *Diseño experimental y tratamientos*

Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2\*4, donde se evaluaron dos variedades de café y cuatro estrategias de nutrición, con 5 repeticiones, teniendo un total de 40 unidades experimentales, donde cada unidad experimental fue integrada por 3 plantas con características homogéneas para reducir el error experimental, dando un total de 120 plantas de café. Las estrategias de nutrición incluyen fertilización de macro y micronutrientes, aplicación de ami-

**Tabla 1:** Estrategias de nutrición aplicadas a dos variedades de café arábico (Borboun Sidra y SL28) en Malacatos, Loja.

Nutrientes	Tratamientos (Estrategia)				
	T1	T2	T3	T4	
Nutrientes aplicados de forma edáfica (kg/ha/aplicación)	N	7	103	103	7
	P	15	38	38	15
	K	20	50	50	20
	Fe	-	-	-	-
	Ca	-	25	25	-
	Zn	-	-	-	-
	Mg	36	-	-	36
	S	-	21	21	-
	Micorrizas	25	25	25	25
	Ácidos húmicos	25	25	25	25
	Nutrientes aplicados de forma foliar (g/ha/aplicación)	N	860	687	860
P		192	-	192	-
K		210	320	210	320
Fe		-	80	-	80
Ca		-	-	-	-
Zn		-	216	-	216
Mg		-	-	-	-
S		-	160	-	160
Aminoácidos		-	4650	-	4650
Frecuencia de aplicación (días): Edáfico/Foliar		90/90	30/15	30/90	90/15
Numero de aplicaciones: Edáfico/Foliar	3/3	5/10	5/2	2/10	

noácidos, micorrizas y ácidos húmicos (Tabla 1).

El tratamiento 1 corresponde al manejo tradicional que da el agricultor en la zona de estudio, el cual fue usado como testigo, incluye una fertilización inorgánica de N, P, K aplicados de forma edáfica y foliar cada 90 días. Además, el productor aplica micorrizas y ácidos húmicos en la misma frecuencia que la aplicación edáfica, cada 90 días. En total se realizaron dos aplicaciones durante el estudio (Tabla 1). Las fuentes utilizadas por el productor fueron: para micorrizas y ácidos húmicos Orgevit, para macro y microelementos, micropenic y Kfol.

El tratamiento 2 es la nutrición alternativa 1, que incluye una fertilización edáfica a base de N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente. Además, se realizaron aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos. Durante el estudio se realizaron 5 aplicaciones edáficas y 10 aplicaciones foliares en las dosis indicadas en la Tabla 1.

Los tratamientos 3 y 4 (T3 y T4) son combinaciones de los tratamientos 1 y 2. El 3 corresponde a la fertilización edáfica alternativa del tratamiento 2 y la fertilización foliar del testigo (T1), mientras que el tratamiento 4 incluye la fertilización edáfica del testigo (T1) y la fertilización foliar alternativa del tratamiento 2. Las fuentes utilizadas en la nutrición alternativa fueron: para micorrizas y ácidos húmicos Orgevit, como fuente de aminoácidos Diamin Bassic y Pluss, y para macro y microelementos Agacomplex, Terravit, Cropmax, Bioprotan Microfoliar, Bioprotan, Protan N9 y Microaga Z15.

### Manejo del ensayo

Se delimitó el ensayo según el diseño experimental establecido, señalando con etiquetas las plantas, ramas por planta, y frutos a evaluar. Previamente se realizó un análisis de suelo, en el cual no se observó deficiencia de N, P, ni micronutrientes (Tabla 2), pero sí de potasio, por lo que todas

**Tabla 2:** Parámetros químicos del suelo antes de la aplicación de las estrategias de nutrición, en una finca de café arábigo de Malacatos, provincia de Loja.

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Materia orgánica	%	2,12
pH		6,8
Nitrógeno total	%	0,26
Fósforo (P)	Ppm	12,04
Potasio (K)	meq/100 g	0,10
Calcio (Ca)	meq/100 g	7,44
Magnesio (Mg)	meq/100 g	2,51
Azufre (S)	Ppm	15,61
Zinc (Zn)	Ppm	14,17
Cobre (Cu)	Ppm	8,18
Hierro (Fe)	Ppm	53,94
Manganeso (Mn)	Ppm	47,46
Boro (B)	Ppm	1,31
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100 g	10,61
PSI	%	5,32
Ca/Mg		2,96
Mg/K		28,25
Ca/K		83,56

las estrategias de nutrición incluyeron aplicaciones de K de forma edáfica y foliar. Los suelos donde se encontraban las variedades de estudio presentaron pH neutros evitando con ello problemas de asimilación de nutrientes.

Se realizó el control de arvenses, plagas y enfermedades periódicamente según la incidencia en el cultivo. En ausencia de lluvia se aplicó riego por aspersión instalado en la finca. La cosecha se realizó tomando en cuenta el color del fruto cereza que corresponde a la escala BBCH 88 (Arcila et al., 2001).

### Variables analizadas

En cada unidad experimental se seleccionaron 12 ramas en total (4 ramas por planta), de las cuales se evaluó el número de frutos por rama y por planta al inicio del ensayo y al final, en el momento de la cosecha.

Para el crecimiento del fruto se registraron mensualmente el diámetro polar (DP) y el diámetro ecuatorial (DE) de 10 frutos de cada una de las ramas seleccionadas previamente al azar y plantas señaladas previamente por tratamiento, desde el inicio de la fructificación hasta el momento de la cosecha (madurez fisiológica) utilizando un pie de rey digital (mm).

El peso de la cereza de café (PCC) se determinó seleccionando 30 frutos maduros por unidad experimental (10 frutos/planta), se pesaron y se promediaron.

Para cuantificar la producción de café cereza por planta, se cosechó una rama al azar de las cuatro señaladas por planta y tratamiento; se pesó y este se multiplicó por el número total de ramas productivas. Finalmente, el rendimiento de café cereza (kg/ha) se estimó considerando la densidad de siembra (3 333 plantas/ha) y la producción por planta.

La fenología se evaluó en las cuatro ramas previamente seleccionadas, las cuales estaban iniciando la formación de frutos, siendo convenientes para identificar los estados de desarrollo del fruto de acuerdo a la escala BBCH para el cultivo de café de Arcila et al. (2001). También se calculó el tiempo

térmico (IT) de cada fase a partir de los grados días (GD) acumulados por el método directo sugerido por Arnold (1959), mediante la sumatoria de la diferencia de las temperaturas medias (Tm) y la temperatura base (Tb) para cada una de las etapas fenológicas siguiendo la siguiente fórmula:

$$IT = \sum_i^n (Tm - Tb) \quad (1)$$

La temperatura media diaria se registró con un data logger Elitech modelo RC-5 y se consideró como temperatura base del café 10 °C (Montoya y Jaramillo, 2016).

### Análisis estadístico

Los datos registrados fueron analizados en el programa estadístico *InfoStat* versión 2020, previamente sometidos a un análisis de supuestos (se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas con el test de Levene). Se realizó análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, donde los factores de variación fueron la variedad, la estrategia de nutrición y la interacción de estos dos factores. Las medias se compararon a través del test de Tukey con el 95% de confianza con la que se determinaron diferencias significativas entre cada tratamiento.

## RESULTADOS

### Número y peso de frutos

El número de frutos por rama y planta, así como el peso de los frutos, no presentaron diferencias significativas en la interacción del factor variedad y estrategia de nutrición. No obstante, sí se observa un efecto significativo de la estrategia de nutrición (Tabla 3). Se obtuvieron valores superiores en número de frutos por rama (NFR) y peso cereza de café (PCC) con la estrategia de nutrición 2 (EN\_2), aumentando aproximadamente en un 25,61% y 47,06% el NFR y PCC respectivamente en comparación con el testigo (EN\_1). Sin embargo, no existe un efecto significativo en el número de frutos por planta.

La variedad influye significativamente en las variables productivas del café (Tabla 3), destacándose la variedad Borboun Sidra en número frutos por planta (1111,7) y NFR (72,36), sin embargo presenta el PCC más bajo de 2,08 g, mientras que la variedad SL28 presenta menor cantidad de frutos pero de mayor peso (966,6 frutos/planta y cerezas de 2,25 g).

### Crecimiento del fruto

Al inicio del ensayo, los frutos seleccionados presentaron valores promedios de 5,22 mm de diámetro ecuatorial (DE) y 6,58 mm de diámetro polar (DP). Los frutos presentaron un crecimiento sigmoidal, visiblemente lento (30 días después de aplicadas las estrategias de nutrición), seguido de un rápido llenado de frutos hasta los 200 días (6 meses aproximadamente), para posteriormente pasar a la fase de maduración. En los primeros estadios de crecimiento de fruto no se observaron diferencias significativas (Fig. 1), sin embargo, en la cosecha se detectó un efecto de la interacción variedad y estrategia de nutrición. Tanto la variedad Borboun Sidra como SL28 presentaron altos valores de DE al final del ensayo,

**Tabla 3:** Número de frutos por rama (NFR), número de frutos por planta (NFP) y peso de cereza de café (PCC) en dos variedades de café bajo diferentes estrategias de nutrición (EN) en una finca de Malacatos, provincia de Loja.

Variedad	Estrategia de nutrición	NFR	NFP	PCC (g/cereza)
Borboun Sidra	EN_1 (T1)	68,15	1064,90	1,76
	EN_2 (T2)	78,43	1195,81	2,40
	EN_3 (T3)	71,80	1094,20	2,04
	EN_4 (T4)	71,05	1091,95	2,13
SL28	EN_1 (T1)	50,30	855,70	1,78
	EN_2 (T2)	70,35	1067,05	2,70
	EN_3 (T3)	57,75	967,50	2,21
	EN_4 (T4)	61,80	976,05	2,30
<b>Efecto principal</b>				
<b>Variedad</b>				
	Borboun Sidra	72,36 <sup>a</sup>	1111,7 <sup>a</sup>	2,08 <sup>b</sup>
	SL28	60,05 <sup>b</sup>	966,6 <sup>b</sup>	2,25 <sup>a</sup>
<b>Estrategia de Nutrición</b>				
	EN_1 (T1)	59,22 <sup>c</sup>	960,0	1,7 <sup>c</sup>
	EN_2 (T2)	74,39 <sup>a</sup>	1131,0	2,5 <sup>a</sup>
	EN_3 (T3)	64,78 <sup>b</sup>	1031,0	2,1 <sup>b</sup>
	EN_4 (T4)	66,44 <sup>b</sup>	1034,0	2,2 <sup>b</sup>
<b>EEM*</b>				
	Variedad	3,728	315,72	0,04
	EN	2,440	446,50	0,06
	Variedad*EN	3,455	63,14	0,08
<b>P-valor</b>				
	Variedad	<0,0001	0,0032	0,0105
	EN	0,0021	0,0950	<,0001
	Variedad*EN	0,4917	0,8738	0,5000

\*EEM: error estándar de la media de la interacción variedad/tratamiento. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas (p <0,05).

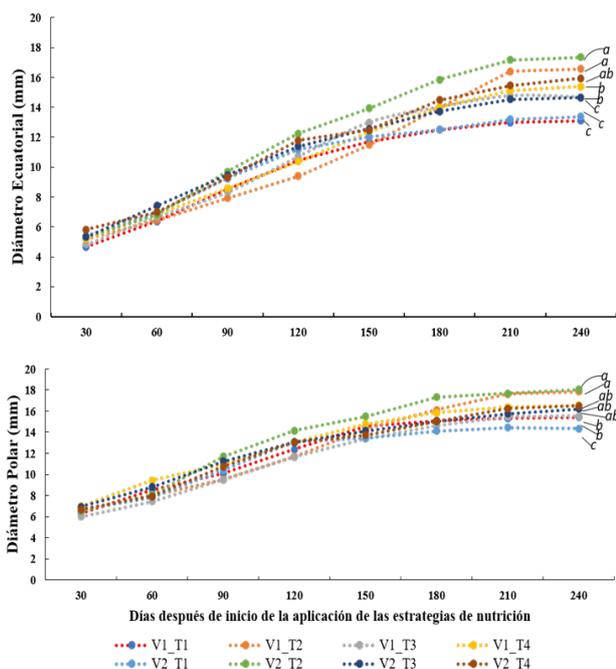
con 16,56 mm y 17,36 mm respectivamente bajo la estrategia de nutrición 2 (EN\_2). De igual manera, el DP presentó un incremento promedio del 28% en las dos variedades de café bajo la EN\_2 en relación al testigo (EN\_1) con valores finales de 17,83 mm en Borboun Sidra y 18,03 mm en SL28 (Figura 1).

### Producción y rendimiento

La producción por planta y el rendimiento no muestran diferencias significativas en la interacción variedad\*estrategia de nutrición (Tabla 4), pero el factor estrategia de nutrición tiene un efecto positivo en la producción y rendimiento de café. La estrategia de nutrición 2 incrementó significativamente la producción por planta en un 71% aproximadamente a diferencia de la estrategia testigo y en un 31,5 y 26,3% en comparación a las estrategias de nutrición 3 y 4 respectivamente. La máxima producción promedio de café cereza obtenida fue de 2,88 kg/planta, representando rendimientos promedios de 9610,45 kg/ha. De igual manera, las estrategias de nutrición 3 y 4 fueron significativamente diferentes de la estrategia testigo, pero no se detectaron diferencias significativas entre ambas (Tabla 4).

### Fenología del fruto

El desarrollo de los frutos se presentó de manera continua y similar en las dos variedades, la fenología del fruto se determinó a partir del estadio 70 (frutos visibles) de acuerdo a la escala BBCH. El fruto alcanzó su madurez fisiológica (estadio 77) a los 196 días después de la floración (DF), mientras



**Fig. 1:** Dinámica de crecimiento del fruto de café desde fructificación hasta el momento de la cosecha, en función de las distintas estrategias de nutrición: A) Diámetro ecuatorial y B) Diámetro polar. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 4:** Producción y rendimiento en café en dos variedades bajo diferentes estrategias de nutrición (EN) en la finca Santa Gertrudis de Malacatos, provincia de Loja.

Variedad	Estrategia de nutrición	Producción (kg/planta)	Rendimiento (kg/ha)
Borboun Sidra	EN_1 (T1)	1,84	6136,37
	EN_2 (T2)	2,88	9611,32
	EN_3 (T3)	2,25	7527,09
	EN_4 (T4)	2,32	7747,01
SL28	EN_1 (T1)	1,51	5064,05
	EN_2 (T2)	2,88	9609,57
	EN_3 (T3)	2,12	7089,34
	EN_4 (T4)	2,24	7492,81
<b>Efecto principal</b>			
Variedad			
	Borboun Sidra	2,32	7755,45
	SL28	2,19	7313,94
Estrategia de Nutrición (EN)			
	EN_1 (T1)	1,68c	5600,21c
	EN_2 (T2)	2,88a	9610,45a
	EN_3 (T3)	2,19b	7308,21b
	EN_4 (T4)	2,28b	7619,91b
EEM*			
	Variedad	0,08	255,10
	EN	0,11	360,77
	Variedad*EN	0,15	510,20
P-value			
	Variedad	0,2373	0,2373
	EN	<,0001	<,0001
	Variedad*EN	0,7632	0,7632

\*EEM: error estándar medio de la variedad, estrategia de nutrición (EN) e interacción variedad\*EN. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

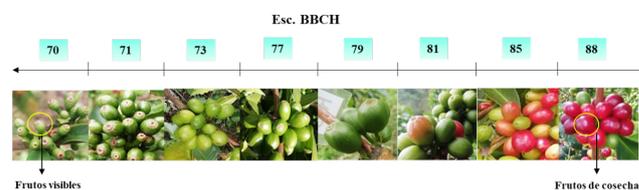
que su cosecha se realizó a los 240 DF aproximadamente bajo las condiciones edafoclimáticas de la región Sur del Ecuador, necesitando acumular en promedio 1171,1 °C día (Tabla 5).

La Figura 2 muestra los diferentes estadios del fruto de

**Tabla 5:** Tiempo cronológico promedio (días) e integral térmica (°C día) acumulada del cultivo de café en la etapa reproductiva en Malacatos, provincia de Loja.

Estadio	Escala BBCH	Tiempo cronológico (días)	IT acumulada (°C día)
Frutos visibles	70	14	123,9
Inicio de crecimiento	71	28	259,0
Frutos verde intenso	73	74	655,4
Frutos verde pálido	73	189	1699,7
Madurez fisiológica y cambio de color	77	196	1764,6
Frutos con tonalidades amarillentas	81	200	1801,8
Frutos con tonalidades rojas	85	210	1900,0
Frutos rojos	88	240	1171,1

café, según la escala BBCH en Malacatos, Loja.



**Fig. 2:** Fenología del fruto de café según la escala BBCH.

## DISCUSIÓN

Con la aplicación de la EN\_2 (fertilización edáfica a base N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente; y aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos), se encontraron efectos significativos en el número de frutos por rama y peso de cereza de café en las variedades Borboun Sidra y SL28.

El número de frutos es similar a los de Chacón *et al.* (2021), quienes registraron 75 frutos por rama en la variedad de café Sarchimor (T5296) de 2 años al realizar 3 aplicaciones de bioestimulantes a base de extracto de algas en etapa productiva, superando al testigo. Sadeghian (2008) reporta un menor NFR (53,83) en la variedad Caturra en producción de 8 años, con manejo de podas y fertilizaciones edáficas.

La nutrición en etapa productiva del café influye directamente en el tamaño, la cantidad y calidad de los granos cosechados (Rosas *et al.*, 2008). Barrantes *et al.* (2019) en evaluaciones de fertilizantes químicos y orgánicos en café, indicaron que la fertilización combinada con aplicaciones de 18-5-15-6-2 (N-P2O5-K2O-MgO-S) más lombricompost mostró efectos significativos superiores a los demás tratamientos, por la disponibilidad tanto del abono mineral como del orgánico. La ventaja del tratamiento de fertilización combinada (orgánica e inorgánica) es el resultado de la mayor disponibilidad de nutrientes en forma inmediata de las fertilizaciones minerales y la disponibilidad a largo plazo de la fertilización orgánica. Ramírez-Iglesias *et al.* (2021) señaló la importancia de la fertilización y bioestimulación en frutales para aumentar el peso de los frutos en el cultivo de tomate en Zamora Chinchipe-Ecuador. Por otra parte, Latacela *et al.* (2017) reportan que la aplicación de ácidos húmicos en aspersión foliar y edáfica mejora el crecimiento y calidad de

la fruta de durazno en Florida. Por lo tanto, se evidencia una fuerte relación entre la fertilización orgánica e inorgánica y calidad de los cultivos.

Las estrategias de nutrición mejoraron el crecimiento del fruto en relación al testigo. Medina *et al.* (2020) obtuvieron datos similares a los encontrados en esta investigación, reportando tamaños de 16 mm de DP en la localidad de Oxapampa en Perú en la variedad Borbon rojo con 25 años de edad. Además, menciona que las características físicas de tamaño en las variedades se ven afectadas por el factor altitud. Melo y Piñeros (2015) obtuvieron frutos con un tamaño de 18,06 mm de DP usando fertilizaciones a base de nitrógeno y frutos de 18,33 mm de DP con el uso de boro en la variedad Castilla con 3 años de edad. Por lo cual, la disponibilidad de nutrientes en el desarrollo del fruto juega un papel importante para alcanzar mayor tamaño en el grano de café.

En todas las estrategias de nutrición se incluyó el potasio (K), sin embargo, en la EN2 se consideró mayor dosis de K con una mayor frecuencia de aplicación, lo que pudo haber contribuido a mejorar los parámetros productivos obtenidos y la calidad de grano. El potasio juega un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que interviene en muchas funciones vitales de las plantas como la traslocación de fotosintatos y azúcares. Además, participa en la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, la tolerancia al estrés y el uso de la energía (Sharma & Singh, 2021). Sadeghian (2020) señaló que, además de la nutrición, la variedad, las condiciones de la región y la edad del cultivo también contribuyen a aumentar el número de frutos y peso de los granos de café. A pesar de ser un cultivo de café joven de 2,5 años de edad, el número de frutos por planta y el peso de la cereza fue alto, considerando que el café alcanza su máxima productividad entre los 6 a 8 años de edad (IICA, 2020). Además, se podría considerar que las variedades Borboun Sidra y SL28 estarían adaptadas a las condiciones ambientales de los Andes ecuatorianos.

En el presente estudio la producción promedio de café cereza pasó de 1,84 a 2,88 kg/planta (Borboun Sidra) y de 1,51 a 2,88 kg/planta (SL28), entre el testigo y el tratamiento EN\_2, representando rendimientos de 6136 a 9611 kg/ha y de 5064 a 9609 kg/ha respectivamente. Chacón (2021) en su ensayo en la variedad Sarchimor, de 2 años de edad, obtuvieron datos inferiores de rendimiento y de peso del grano de café cereza (PGCC), reportando 3793 kg/ha de café cereza y 1,87 g respectivamente con el uso de bioestimulantes a base del extracto de algas, con 2 aplicaciones en etapa productiva. López-García *et al.* (2016) en Veracruz, México con diferentes variedades de porte bajo durante 5 años consecutivos mostraron alta productividad por planta (3,6 a 4,9 kg/planta, café cereza) frente a variedades de porte alto (2,1 a 3,1 kg/planta, café cereza). Montes y Flórez (2019) evaluaron el efecto de fertilización con abono líquido orgánico fermentado aeróbicamente (ALOFA) e inoculantes micorrizicos foliares aplicados al suelo mensualmente desde floración hasta la cosecha, en la variedad de café Castillo, alcanzando una producción de 2,3 kg/planta y un rendimiento de 12 070 kg/ha de café cereza superando los resultados del presente estudio.

La fertilización inorgánica es un factor que está estrechamente relacionado con el rendimiento ya que suple los nutrientes necesarios para un buen desarrollo y productividad

de la planta. Sadeghian (2008) en plantaciones de café de 8 años de edad, variedad Caturra obtuvo valores mayores de rendimiento cuando aplicó fertilizaciones edáficas y manejo de podas (1,9 g de PGCC y una producción de 940 g/planta de café cereza) en comparación con el testigo (no fertilizado). Es importante establecer un plan nutricional con macro y micronutrientes adecuado, debido a que la deficiencia o exceso de estos afectan negativamente la producción y calidad del café. Así, el grano presenta menor densidad y calidad cuando se aplica el nitrógeno en exceso; por el contrario, la deficiencia de fósforo produce grano pequeño, la de hierro ocasiona granos ámbar pálido, café tostado suave y falta de acidez, la de boro produce vaneamiento de granos, los excesos de calcio y potasio producen bebida amarga y áspera, la deficiencia de zinc reduce el tamaño y densidad del grano, y la deficiencia de magnesio causa granos marrones y características irregulares en el proceso de tostado (Lara & Vaast, 2007; Pérez *et al.*, 2005; Puerta-Quintero, 2001; Rosas *et al.*, 2008). En este estudio, con las aplicaciones edáficas y foliares en mayor frecuencia se proporcionó a las plantas de café los nutrientes necesarios para el desarrollo del fruto.

Dentro de la estrategia de nutrición se consideró la aplicación simultánea de nutrición mineral y micorrizas. Algunos estudios muestran que uno de los principales beneficios de las micorrizas es la absorción de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Aguirre *et al.*, 2011; Guridi-Izquierdo *et al.*, 2017; Coello *et al.*, 2017; Rui *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). El hongo dentro de la raíz produce arbuscúlos en las células corticales, las cuales intercambian los nutrientes obtenidos en el suelo con azúcares para crecer y formar ácidos grasos de reserva con la planta (Luginbuehl & Oldroyd, 2017). Además, el hongo se desarrolla hacia el exterior de la raíz, lo que le permite explorar el suelo, absorber y transferir nutrientes y agua a la planta (Bücking *et al.*, 2012; Pagano, 2014). La fertilización inorgánica con macro y micronutrientes en diferentes dosis y aplicaciones más frecuentes podría favorecer la simbiosis con las micorrizas y mejorar la productividad de las dos variedades de café, a través de la mejora en la eficiencia del uso del N y P.

Se ha observado que la aplicación de nitratos mejora la colonización de micorrizas arbusculares en varios cultivos (Nanjareddy *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020), aumentando el porcentaje de colonización de la longitud de la raíz, reduciendo el tamaño arbuscular y mejorando el transporte de amoníaco y de fosfato. Javan Gholiloo *et al.* (2019) demostraron que la aplicación de biofertilizantes mejora la nutrición de P y N, en consecuencia, mejora el crecimiento de las plantas de palma datilera en condiciones de déficit. Nadeem *et al.* (2014) demostraron que la aplicación de micorrizas y bacterias puede regular la nutrición mineral al solubilizar nutrientes en el suelo y producir reguladores del crecimiento de las plantas (como hormonas). Además, Anli *et al.* (2021) señalan que la biofertilización a base de microorganismo da lugar a una mejora el aparato fotosintético, una mejor eficiencia de PSII, la acumulación de osmolitos, la producción de enzimas antioxidantes, una mayor estabilidad de la membrana y una menor peroxidación de lípidos, mejorando el crecimiento y la tolerancia al estrés por sequía en la palma datilera. El crecimiento y el desarrollo de los cafetales y, por ende, su producción y rentabilidad, dependen en gran medida de una adecuada nutrición orgánica e inorgánica, la cual se logra cuando

la planta dispone de cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes requeridos (Sadeghian, 2013).

En las estrategias nutricionales, además de la cantidad de nutrientes, también se consideró la frecuencia de aplicación. Benavides-Cardona et al. (2021) señalaron que la aplicación de mayores dosis de fertilizantes y fraccionada mejora el rendimiento y calidad de taza en café variedad Castillo en el departamento de Nariño-Colombia, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio al lograr mayores beneficios con aplicaciones a mayor frecuencia y con dosis fraccionadas.

La variedad es un factor importante que afecta a las variables productivas (Sadeghian, 2020). Sin embargo, en este estudio, aunque se destacó Borboun Sidra con un mayor número de frutos, no se evidenció un efecto de esta variedad en la producción y rendimiento del cultivo, dado que SL28 presentó mayor peso de frutos. Las condiciones ambientales y el manejo del cultivo (nutrición y fitosanitario) fueron los principales factores influyentes en el rendimiento del café, permitiendo a la planta expresar su máximo potencial productivo.

En la fenología del café Arcila et al. (2001), con la escala BBCH, indica que los estados principales del crecimiento del café son el 7 y el 8 (Desarrollo del fruto y Maduración del fruto y de la semilla). El desarrollo del fruto depende de la variedad y las condiciones climáticas que se den durante esta etapa, oscilando entre 7 a 8 meses para madurar. Sadeghian & Salamanca (2015) detectaron que la cosecha de los frutos fue a partir de los 240 y 260 DDF (Días después de floración) en la variedad Castillo ubicados en cuatro Estaciones Experimentales (EE) del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé en las diferentes estaciones, resultados similares a los del presente estudio, lo que indica que las diferencias entre localidades pueden atribuirse a múltiples factores, siendo quizá más determinantes los componentes climáticos de la zona. Marín et al. (2004) determinaron que el estado de maduración para la variedad Colombia es a los 217 días después de la floración en la Estación Central Naranjal en Chinchiná, Colombia, con condiciones climáticas similares a la del presente estudio (21,3° C temperatura media y altitud de 1400 m). Se consideraron para la recolección los frutos completamente maduros con coloración rojiza en el exocarpo y características de coloración para más del 50 % de las cerezas. Estos datos se asemejan a los encontrados en las variedades de este estudio, con lo que se podría establecer que, dependiendo de las condiciones climáticas, edad del cultivo, variedad u otros factores, se encuentran dentro del rango de días de maduración del fruto de acuerdo a la escala BBCH.

En la acumulación de calor en el cultivo, Jaramillo-Robledo & Guzmán-Martínez (1984) reportan que la variedad Caturra en Colombia requiere de 2500 °C día entre floración y desarrollo de fruto, considerando como temperatura base 10 °C. La integral térmica proporciona los requerimientos de calor asociados a las etapas fenológicas de los cultivos, lo que permite predecir cuándo ocurrirá una determinada etapa de la planta conociendo las temperaturas diarias (Parra-Coronado et al., 2015; León et al., 2019). Los resultados de esta investigación demuestran que las variedades Borboun Sidra y SL28 necesitan menos acumulación de calor (1171,1 °C día en promedio) para completar el desarrollo de los frutos, en comparación con otras variedades de café. Por

lo tanto, los resultados de este trabajo podrían ser útiles para generar un modelo de fructificación del café que se adapte a las condiciones del sur del Ecuador.

## CONCLUSIONES

La estrategia de nutrición con fertilización inorgánica y orgánica edáfica mensual y fertilización foliar quincenal presentó un efecto positivo y significativo en los parámetros productivos, incrementando en un 15 %, 36 % y 56,5 % (Borboun Sidra), y 39 %, 51 % y 90 % (SL28) el número de frutos por rama, peso del futo y producción por planta, respectivamente. En consecuencia, el rendimiento se incrementó en un 56,6 % y 89 % en comparación con el manejo del productor. Por lo tanto, la aplicación de una nutrición orgánica e inorgánica simultánea podría contribuir a mejorar la productividad de café en la región del Sur del Ecuador, y ser utilizada como una estrategia de manejo eficiente del cultivo.

La variedad Borboun Sidra se destacó por presentar mayor número de frutos por rama y planta, pero frutos de menor peso en comparación con la variedad de café SL 28, por lo que la producción por planta y el rendimiento no presentaron diferencias significativas entre las dos variedades.

Bajo las condiciones edafoclimáticas del sur del Ecuador, los frutos de café alcanzaron su madurez a los 240 días después de la floración, acumulando en promedio 1171,1 °C día.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la familia Eguiguren Pozo propietarios de la Finca Santa Gertrudis por permitirnos desarrollar el presente estudio en su propiedad.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: MCM y VR; metodología: MAL, MCM y VR; análisis formal: MAL, MCM y RAG.; investigación: MAL y MCM; recursos: VR; curación de datos: MAL y MCM; redacción - preparación del borrador original: MAL y MCM; redacción - revisión y edición: MCM y RAG; visualización: MAL, MCM y RAG; supervisión: MCM y VR; administración de proyecto: VR y MCM; adquisición de financiamiento para la investigación: VR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

María Alvarez-Lino: MAL. Mirian Capa-Morocho: MCM. Rodrigo Abad-Guamán: RAG. Vinicio Ruilova: VR.

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por EUROAGRO S.A.

## REFERENCIAS

- Aguirre, J., Moroyoqui, D., Mendoza, A., Cadena, J., Avenaño, C., & Aguirre-Cadena, J. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a Coffea arabica en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 71-80.
- Alves, D.K. Rabelo, c, M, Gomes, R. Alves, G. Fritz, O. & Cpsta, M. (2012). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restinga and dunes areas in Brazilian Northeast. *Biodiversity and Conservation*, 21(9), 2361-

- 2373.
- Anli M., Baslam M., Tahari A., Raklami A., Symanczik S., Boutasknit A., Ait-El-Mokhtar M., Ben-Laouane M., Toubali S., Ait Rahou Y., Ait Chitt M., Oufdou K., Mitsui t., Hafidi M., and Meddich A. (2020). Biofertilizers as Strategies to Improve Photosynthetic Apparatus, Growth, and Drought Stress Tolerance in the Date Palm. *Front. Plant Sci*, 11, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.516818>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea sp.* 32 p. (Boletín Técnico No. 23)
- Arnold, C. Y. (1959). *The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 74, 430-445.
- Baliza D., Cunha R., Guimaraes R., Barbosa J., Ávila F., & Passos A. (2012). *Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 1 (7), 37-43.
- Barrantes, E. S., Ballesteros, D. E., & Rosales, D. A. (2019). El efecto de la fertilización mineral, orgánica y mineral-orgánica sobre las características agroproductivas en plantas de café y de la calidad de taza. *Universidad en Diálogo: Revista de Extensión*, 9(2), 175-185.
- Benavides-Cardona, C. A., Criollo-Velázquez, C. P., Muñoz-Belalcazar, J. A., & Lagos-Burbano, T. C. (2021). Manejo agronómico sobre el rendimiento y la calidad de café (*Coffea arabica*) variedad Castillo en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 750-763.
- Boras, M., Zidan, R., & Halloum, W. (2011). Effect of amino acids on growth, production and quality of tomato in plastic greenhouse. *Biolog Sci Series*, 33(5), 229-238.
- Bücking, H., Liepold, E., & Ambilwade, P. (2012). The Role of the Mycorrhizal Symbiosis in Nutrient Uptake of Plants and the Regulatory Mechanisms Underlying These Transport Processes. InTech. doi: 10.5772/52570
- Candido, V., G. Campanelli, T.D. Addabbo, D. Castronuovo, M. Renco, and I. Camele. (2013). Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization combined with different fertiliser rates on field-grown tomato. *Ital. J. Agron.*, 8, 168-174
- Candido, V., G. Campanelli, T. D'Addabbo, D. Castronuovo, M. Perniola, and I. Camele. (2015). Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. *Sci. Hort.*, 187, 35-43
- Capa, E. (2015). *Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivos de café (Coffea arabica L.)*. Madrid. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Agrónomos (UPM) [antigua denominación]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.36539>
- Chacón, Y., Chacón, A., Vargas, M., Cerda, J., & Hernandez, P. (2021). Influencia de un nuevo bioestimulante sobre la floración y fructificación en café (*Coffea arabica L.*). *ESPAMCIENCIA*, 33-40.
- Chen, T.H. and N. Murata. (2011). Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and biotechnological applications. *Plant Cell Environ.*, 34, 1-20
- Chiriboga, M. J. (2019). *La producción de café en el Ecuador y su importancia en las exportaciones periodo 2014-2017*. Guayaquil
- Coello, W. L., Navarrete, E. C., Arteaga, C. C., Aragone, D. S., Paredes, J. L., Vásquez, G. G., Cabezas, M. G., & Suarez, M. V. (2017). Efectos De La Fertilización Nitrogenada Y Fosfatada Sobre Poblaciones De Micorrizas Asociadas Al Cultivo De Cacao. *European Scientific Journal*, ESJ, 13(6), 464. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p464>
- Colla, G., Y. Roupheal, E. Di Mattia, C. El-Nakhel, and M. Cardarelli. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *J. Sci. Food Agric.*, 95, 1706-1715
- Craigie, J.S. (2011). *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. J. Appl. Phycol.*, 23, 371-393.
- Deshpande, S., Singh, S., Panneerselvam, A., & Rajeswari, V. D. (2019). Nutrients in caffeinated beverages—An overview. *Caffeinated and Cocoa Based Beverages*, 367-389.
- Echeverría, M, C. Ortega, A, S. Obandon, O & Nuti, M. (2022). Scientific, Technical, and Social Challenges of Coffee Rural Production in Ecuador. In *Sustainable Agricultural Value Chain*.
- GAD Loja (2020). Malacatos. <https://www.loja.gob.ec/contenido/malacatos>
- Gianinazzi, S., A. Golotte, M.-N. Binet, D. van Tuinen, D. Redecker, and D. Wipf. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services *Mycorrhiza*, 20, 519-530.
- González González, H. A., & Hernández Santana, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (90), 105-118.
- Guridi-Izquierdo, F., Calderín-García, A., Louro-Berbara, R. L., Martínez-Balmori, D., & Rosquete-Bassó, M. (2017). Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa L.*) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 53-60.
- IICA (2020). Guía práctica de caficultura: Manejo agronómico del café. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 24. Disponible en: <https://iica.int/sites/default/files/2020-1/impresion%20GPCAFI%2010.2020.pdf>
- INEC-ESPAC (2021) Documento metodológico de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua Año 2020.
- Jaramillo-Robledo and Guzmán-Martínez. (1984) Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica L.*, variedad Caturra. *Cenicafe*, 35(3):57-65 Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/708/1/arc035%2803%2957-65.pdf>
- Javan Gholiloo, M., Yarnia, M., Ghorttpeh, A. H., Farahvash, F., and Daneshian, A. M. (2019). Evaluating effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis L.*). *J. Plant Nutr.* 42, 1417-1429. doi: 10.1080/01904167.2019.1628972

- Jiménez, Torres, A., & Massa-Sánchez, P. (2016). Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. *Economía*, 40(40), 117-137.
- Lara, L., & Vaast, P. (2007). Effects of altitude, shade, yield and fertilization on coffee quality (*Coffea arabica* L. var. Caturra) produced in agroforestry systems of the Northern Central Zones of Nicaragua [Conference presentation]. 2nd International Symposium on Multi-Strata Agroforestry Systems with Perennial Crop, Turrialba, Costa Rica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4689.1289>
- Latacela, W., Colina, E., Castro, C., Santana, D., Leon, J., Garcia, G., Goyes, M., & Vera, M. (2017). Efectos De La Fertilizacion Nitrogenada Y Fosfatada Sobre Poblaciones De Micorrizas Asociadas Al Cultivo De Cacao. *European Scientific Journal*, 13(6), 469-472.
- León, R., Correa, E., Romero, J., Arias, H., Gómez-Correa, J., Yacomelo M., and Pérez L. (2019). Accumulation of degree days and their effect on the potential yield of 15 eggplant (*Solanum melongena* L.) accessions in the Colombian Caribbean. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72 (3), <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.77112>
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 39(3), 297-304.
- Luginbuehl LH, Oldroyd GED. (2017) Understanding the Arbuscule at the Heart of Endomycorrhizal Symbioses in Plants. *Curr Biol*. 11;27(17): R952-R963. doi: 10.1016/j.cub.2017.06.042. PMID: 28898668.
- Marín, S. M., Arcila, J., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (2004). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3):208-225.
- Medina, I., Roldan, E., Quispe, E., Camacho, A., Marmolejo, D., & Marmolejo, K. (2020). Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L.) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades. *Agroindustrial Science*, 249-257.
- Melo, R., & Piñeros, R. (2015). Evaluación de la fertilización edáfica en café (*Coffea arabica* L.) mediante el análisis sensorial y características físicas bajo diferentes alturas en Fusagasuga-Cundinamarca.
- Montes, C., & Flórez, A. (2019). Efecto de la fertilización con abono orgánico (ALOFA) en plantas de café (*Coffea arabica*). *Scientia et Technica*, 340-348.
- Montoya, R., and Jaramillo R. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista Cenicafe*, 67(2), 58-65.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., and Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.* 32, 429-448. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2023.12.005
- Nanjareddy K, Blanco L, Arthikala MK, Affantrange XA, Sánchez F, Lara M. (2014). Nitrate regulates rhizobial and mycorrhizal symbiosis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Integr Plant Biol*. 2014 Mar;56(3):281-98. doi: 10.1111/jipb.12156. Epub 2014 Feb 25. PMID: 24387000.
- Naranjo, D. (2018). *Efectos De Los Elementos Menores Sobre La Productividad Del Café (Coffea arabica L.) En La Zona Cafetera Colombiana*. Colombia
- Pagano, M. C. (2014). "Drought stress and mycorrhizal plants," in *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stress*, ed. M. Miransai (New York, NY: Springer), 97–110.
- Parra-Coronado A, Fischer G and Chaves B. (2015). Thermal time for reproductive phenological stages of pineapple guava (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta Biológica Colombiana*, 20(1), 163-173. doi: 10.15446/abc.v20n1.43390
- PDOT Loja (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja 2015-2025.
- Pérez, E., Partida, J., & Martínez, D. (2005). Determinación de las subdenominaciones de origen del Café Veracruz (estudio preliminar). *Revista Geografía Agrícola*, 35, 35–56. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75703502.pdf>
- Perez, R., Adriana, Y., Sancho, A., Chinchilla, M., & Subirachs, J. M. (2021). Influencia de un nuevo bioestimulante sobre la floración y fructificación en café (*Coffea arabica* L.). *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 12(1), 33-40. [https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v12i1.226](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.226)
- Puerta-Quintero, G. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos (Avances técnicos 284). Centro Nacional de Investigaciones del Café. <https://www.researchgate.net/publication/324066212>
- Quintero, E., Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., & Enríquez Gómez, L. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3), 73-80.
- Ramírez, J. G. (2017). Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos tropicales*, 38(2), 53-61.
- Ramírez-Iglesias, E., Riofrío-Vega, R. M., Augusto, C., & Gonzáles-Quirola, P. G. O. S. (2021). Efecto de diferentes bioabonos en el crecimiento de plantas de tomate de riñón var. Alambra (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Tropical*, 71, e5091803.
- Rosas A, J., Escamilla P, E., & Ruiz R, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Rui, W.; Mao, Z.; Li, Z. (2022). The Roles of Phosphorus and Nitrogen Nutrient Transporters in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 11027. <https://doi.org/10.3390/ijms231911027>
- Ruiz, P. O., Rojas, K. C., & Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, (23), 47-63.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica; Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/587/1/032.pdf>
- Sadeghian, S. (2013). Nutrición de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia,

- Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 2, pp. 85–116). Cenicafe; 20, Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4336>
- Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 515, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0515>
- Sadeghian, S., & Salamanca, A. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/656>
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., & Jara, P. P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91.
- Sharma, S., & Singh, J. (2021). Split application of potassium improves yield and potassium uptake of rice under deficient soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 20(2), 213-220
- Siddiqui, Z.A., M.S. Akhtar, and K. Futai. (2008). *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*, Springer, Berlin-Heidelberg. 1-35
- SIPA. (2023). Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema de Información Pública Agropecuaria [Internet]. Disponible: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas> [Accedido: 11 de enero, 2023]
- Torres, C. (2013). Estudio de viabilidad de la finca El Roble como proyecto productivo cafetero (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT) (70)14
- UTPL. (2022). Perspectivas de investigación. La ciencia del café. N:67. [Internet]. Disponible: <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/?p=4780> [Accedido: 11 de enero, 2023]
- Wang, S.S.; Chen, A.Q.; Xie, K.; Yang, X.F.; Luo, Z.Z.; Chen, J.D.; Zeng, D.C.; Ren, Y.H.; Yang, C.F.; Wang, L.X.; et al. (2020). Functional analysis of the OsNPF4.5 nitrate transporter reveals a conserved mycorrhizal pathway of nitrogen in. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 117, 16649–16659.
- Zhang S, Nie Y, Fan X, Wei W, Chen H, Xie X, Tang M. (2023) A transcriptional activator from *Rhizophagus irregularis* regulates phosphate uptake and homeostasis in AM symbiosis during phosphorous starvation *Front Microbiol*, 13. doi: 10.3389/fmicb.2022.1114089. eCollection 2022.

# Diseño e implementación de un sistema de control automático para iluminación: Regulación de la iluminancia artificial en función de la iluminación natural

## *Design and implementation of an automatic control system for lighting: Regulation of artificial illuminance based on natural lighting*

Josmani Pacheco-Macas<sup>1</sup>, Raúl Chávez-Romero<sup>1,\*</sup>, Sara Chávez-Romero<sup>2</sup>, Juan Chuncho-Morocho<sup>1</sup>, Ivan Coronel-Villavicencio<sup>1</sup>, Julio Gomez-Peña<sup>1</sup>, Cristian Ortega-Reyes<sup>1</sup>, Edwin Paccha-Herrera<sup>1</sup>, Fernando Ramírez-Cabrera<sup>1</sup> y Carlos Samaniego-Ojeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

<sup>2</sup> Universidad Internacional de la Rioja, España

\* Autor para correspondencia: raul.a.chavez.romero@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 01/12/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 29/12/2023

Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—El presente trabajo propone un sistema de control analógico para controlar luminarias LED regulables en función de la señal proveniente de un sensor de iluminación, con el objetivo de utilizar solamente la energía necesaria para mantener un nivel de iluminación de 300 lx en el plano de trabajo de un aula universitaria de estudios de 27.54 m<sup>2</sup>. Es decir, la iluminación artificial se adapta al nivel de iluminación natural, lo que representa una reducción en el consumo eléctrico y a su vez un ahorro económico en el servicio de electricidad. Se utilizó medidores de consumo eléctrico inteligentes para recopilar datos del sistema antiguo con tecnología fluorescente que se utilizaba en el aula, para luego comparar con los datos de consumo del nuevo sistema de control automático para iluminación (SCAI), el cual regula la potencia eléctrica utilizada y a la vez el flujo luminoso de las lámparas LED, en función de la iluminación natural.

**Palabras clave**—Control Analógico, Iluminación, LED, Eficiencia energética.

**Abstract**—This work proposes an analog control system to control dimmable LED luminaires depending on the signal coming from a lighting sensor, with the aim of using only the energy necessary to maintain a lighting level of 300 lx in the work plane of a 27.54 m<sup>2</sup> university study classroom. That is, artificial lighting adapts to the level of natural lighting, which represents a reduction in electrical consumption and in turn economic savings in electricity service. Smart electricity consumption meters were used to collect data from the old system with fluorescent technology that was used in the classroom, to then compare with the consumption data of the new automatic lighting control system (ALCS), which regulates the electrical power used and at the same time the luminous flux of the LED lamps, depending on the natural lighting.

**Keywords**—Analog Control, Lighting, LED, Energy efficiency.

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de iluminación tiene como objetivo proyectar el flujo luminoso de las lámparas hacia un plano de trabajo y generar un nivel de iluminancia deseado (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2001), dependiendo de si es un espacio interior o exterior, según la norma vigente. De acuerdo a la Norma europea sobre la iluminación para interiores, UNE 12464.1 (2018), se plantea que la iluminación dentro de los establecimientos educativos es fundamental para el desarrollo de cada una de las actividades que se realicen en los mismos. Las condiciones de iluminación del aula afectan el rendimiento académico de los estudian-

tes debido a la influencia de la luz en el aprendizaje (Castilla *et al.*, 2023). Una deficiencia en el sistema de iluminación puede producir un aumento de la fatiga visual, reducción en el rendimiento del personal que labora en las instalaciones, incremento en los errores y en ocasiones incluso accidentes (INSHT y Alvarez Bayona, 2015). Los estándares indican la cantidad de luz que debe estar presente en los planos de trabajo (lumen/m<sup>2</sup>=lux), pero no todas las edificaciones cumplen con este requerimiento. Existen accionamientos para los circuitos de iluminación dentro del mercado, que son manuales y no contribuyen en términos de eficiencia energética debido a que no usan un control automático para la regulación de las luminarias, así se usa por lo general toda

la potencia instalada o se puede ajustar mediante reguladores de intensidad (dimmers), pero el accionamiento siempre depende del manejo del usuario. Por otro lado, existen sistemas automáticos que se autorregulan con señales de entrada, salida y un procesador central que analiza las condiciones de programación en cada momento. El uso de sensores que midan la iluminación presente en el ambiente es una tecnología relativamente nueva en nuestro medio, es por ello que unificar estas tecnologías para desarrollar un sistema automático debería ser fundamental en la construcción de nuevos espacios. Bustán-Gaona *et al.* (2023) analizaron la efectividad de la iluminación natural en los espacios interiores de la arquitectura vernácula. Fakhari *et al.* (2021) investigaron el rango de satisfacción para la iluminancia con respecto a la temperatura del aire interior en edificios de oficinas. Ahmed *et al.* (2023) estudiaron un método alternativo para la iluminación de estructuras subterráneas, que utiliza lentes para enfocar la luz solar en un punto y utiliza fibras ópticas para transmitirla en el lugar requerido y se dispersa como una bombilla normal sin ningún consumo de energía eléctrica. Sánchez (2022) evaluó la iluminación de las aulas del mismo bloque A3, a la que pertenece el aula objeto de estudio y proyecta que con la implementación de un sistema automatizado se lograría disminuir el consumo eléctrico en un 40%. Además, al momento de realizar el estudio de iluminación en las aulas, se pudo comprobar que no cumple con la Norma UNE 12464.1 (2018). Por estas razones, es altamente recomendado realizar un rediseño del sistema de iluminación e implementar tecnología LED. En este contexto, se han logrado avances significativos en el diseño de sistemas de iluminación LED, Chacón-Avilés *et al.*, centro sus esfuerzos en las características eléctricas y fotométricas de estos sistemas, su estudio resalta especialmente la implementación de iluminación LED alimentada por paneles fotovoltaicos. Estos avances marcan el punto de partida hacia soluciones sostenibles e innovadoras en el ámbito de la iluminación, este estudio pretende ir más allá, es decir, no solo busca emplear un sistema que cumpla los estándares de iluminación, sino también su eficiencia, aprovechando la iluminación natural lo que reduce la dependencia de la luz artificial. Este trabajo implementa un sistema de control analógico para mantener un nivel adecuado de iluminancia en función de la luz natural del aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables (FEIRNNR), de la Universidad Nacional de Loja (UNL), donde estudios previos arrojan que no se cumple con los niveles de iluminación media según la norma UNE 12464.1 (2018), que para aulas tiene un valor mínimo de 300 lx. Al implementar el sistema diseñado se podrá generar un ahorro energético y económico, a la vez que se fomentará el uso eficiente de la energía eléctrica. Este tipo de sistemas deberían ser un implemento básico en cualquier espacio a iluminar. En el ámbito educativo, una correcta iluminación permite que tanto estudiantes como profesores mejoren su desempeño, en lo que corresponde al consumo energético, se verá una disminución significativa debido a que se usa únicamente la energía necesaria para mantener el nivel adecuado de iluminación lo que por consiguiente representa una disminución de la demanda energética y beneficios para el medio ambiente por la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este trabajo presenta una propuesta para hacer un uso eficiente de la energía eléctrica destinada al sistema de iluminación

en aulas de estudios. De esta manera se obtendrá beneficios medioambientales, energéticos y económicos (Sikora *et al.*, 2023), ya que, al reducir el consumo eléctrico, a su vez esto representa una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una reducción en el consumo eléctrico lo que representa un descenso en los costos de este servicio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento que se ha seguido de manera general para cumplir con los objetivos de este trabajo es el que se muestra en la Figura 1.

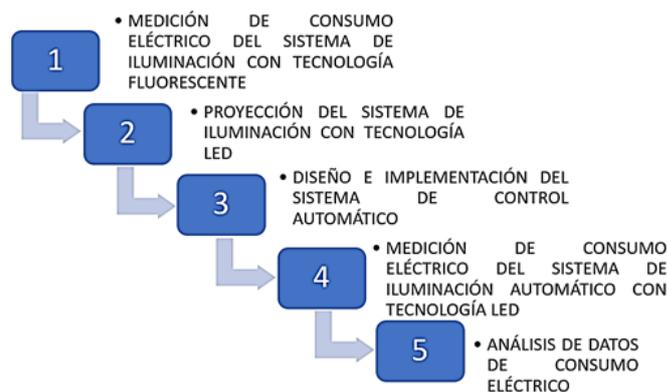


Fig. 1: Procedimiento general.

Los materiales necesarios para implementar el sistema de control de iluminación se detallan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1: Equipos y costos del sistema de control de iluminación.

Equipo	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Total (\$)
Transformador AC-AC 110-24 V	Ring doorbell X003 DSG15F	20	1	20
Convertidor AC-DC 110-12 V	Huawei	5	1	5
Regulador de voltaje	BossXL6009	3.50	2	7
Sensor de iluminación	Multisensor 0-10 V econtrols, MS. 602000-000	142	2	284
Controlador	Arduino Uno R3.	20	1	20
Panel LED dime-rizable 60×60	VLPND-45 W	43	3	130
Medidor inteligente	Emylo, EIA-90	41	1	41
Jumpers	-	0.10	20	2
Interruptores de dos posiciones	-	0.50	20	1
Cable 24 AWG	Jurui 24 AWG×2C	0.30	10	3
Borneras	-	0.50	2	1
Caja termoplástica 180×140×86 mm	Legrand	5	2	10
			Total	539

### 2.1. Medición del consumo eléctrico del sistema de iluminación con tecnología fluorescente

Para medir el consumo eléctrico del sistema de iluminación del aula objeto de estudio, se utilizó un medidor inteli-

gente Marca: Emylo Modelo: EAI-90 (Figura 2) que monitorea en tiempo real el consumo energético y la información puede ser revisada en la pantalla del medidor o a través de una aplicación para teléfono celular. El mismo se conectó en serie con la fase del interruptor de las luminarias del aula, para recopilar los datos de voltaje, intensidad eléctrica y potencia consumidos (Figura 3).



Fig. 2: Medidor inteligente Emylo instalado en el aula A312.

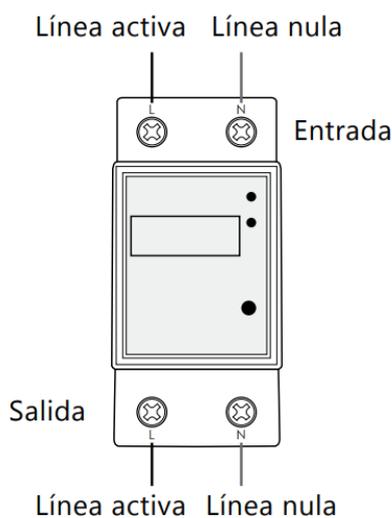


Fig. 3: Esquema de instalación del medidor inteligente Emylo.(Emylo, 2021)

El sistema de iluminación antiguo contaba con las características descritas en la Tabla 2.

Tabla 2: Características del sistema de iluminación fluorescente del aula 312.

Carácterística	Valor
Fluorescente	Marca: Advantage
Luminarias	2×2
Voltaje	120 V 50/60 Hz
Factor de potencia	≥ 0.9
Armónicos (THD)	<30 %
Amperaje	0.60
Protocolo de atenuacion	No
Potencia	40 W×4
Tiempo de uso diario promedio	7 h
Consumo mensual en kWh	27.56
Consumo mensual en \$	2.48

## 2.2. Proyección del sistema de iluminación con tecnología LED

### 2.2.1. Método de los lúmenes

El método de los lúmenes o también llamado sistema general, es un procedimiento que permite calcular la iluminación en luxes presente dentro de un área de trabajo, los valores obtenidos de este método poseen un error de  $\pm 5\%$  (Castilla-Cabanes *et al.*, 2011). Para emplear esta metodología se deben seguir los siguientes pasos:

#### a. Datos del área de trabajo del aula

El primer paso para proyectar el sistema de iluminación consiste en tomar las medidas del espacio a iluminar, es decir el plano de trabajo, como se puede apreciar en la Tabla 3 y Figura 4.

Tabla 3: Dimensión de aula A312.

Dimensiones correspondientes al aula A312			
Símbolo	Valor	Unidad	
a (ancho)	4.14	m	
l (largo)	6.58	m	
S (superficie)	27.24	m <sup>2</sup>	
h (altura del aula)	2.80	m	
$h_{pt}$ (altura del plano de trabajo)	0.85	m	

En la Figura 4 se muestran los valores de la Tabla 3 para el dimensionamiento en un plano 3D del aula A312.

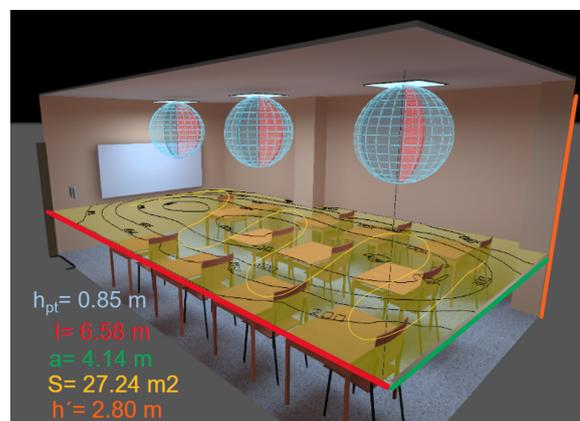


Fig. 4: Dimensiones del aula A312 en 3D, Dialux.

#### b. Altura de plano de trabajo

La altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo, generalmente establecida en 0.85 m, no solo tiene en cuenta la ergonomía y comodidad de los estudiantes, sino que también se relaciona directamente con la iluminación del aula.

#### c. Nivel de iluminación dentro del aula

Se estableció el nivel de iluminación de 300 lx el cual se especifica en la norma UNE 12464.1 (2018). Siguiendo este estándar, se puede asegurar que el ambiente de iluminación óptimo cumple con la normativa y brinda las condiciones

visuales necesarias para las tareas y actividades que se realizan en ese espacio.

**d. Coeficiente de utilización ( $C_u$ )**

El coeficiente de utilización es un valor adimensional que relaciona las dimensiones del área a iluminar en función del tipo de iluminación utilizada (directa, indirecta, difusa, etc.) y los coeficientes de reflexión de las superficies de techo, paredes y suelo.

En la ecuación (1), se calcula el valor de K para un tipo de iluminación directa, término que toma en cuenta las dimensiones de la zona a iluminar, y que servirá para encontrar el coeficiente de utilización.

$$K = \frac{(a + b)}{h \times (a + b)} \tag{1}$$

$$K = 1.54$$

Donde a y b son el ancho y largo de la zona a iluminar, respectivamente, h es la distancia comprendida entre el plano donde están instaladas las luminarias y el plano de trabajo que se desea iluminar. Una vez definido el índice K se realizó un análisis tanto visual como investigativo para poder asignar los coeficientes de reflexión correspondientes a techo, pared y suelo. Esto se analizó tomando en cuenta los colores de las superficies mencionadas, como se puede ver en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Valores para coeficiente de reflexión.

Coeficiente de reflexión	
Superficie	Valor de coeficiente
Techo (blanco)	0.70-0.85
Paredes (amarillo)	0.50-0.75
Suelo (crema)	0.40-0.50

Una vez establecidos los valores de K y de los coeficientes de reflexión, se procede a corregir y encontrar el valor del coeficiente de utilización, la tabla para la corrección suele estar dada por el fabricante, pero en caso de que no se cuente con esta información se podría utilizar tablas, como la Tabla 5 (Castilla-Cabanes *et al.*, 2011).

**Tabla 5:** Valores de coeficiente de utilización.

Tabla de corrección					
Techo	0.70	0.70	0.70	0.0	0.70
Pared	0.70	0.50	0.20	0.20	0.0
Suelo	0.50	0.20	0.20	0.10	0.0
K(0.6)	77	58	49	48	45
K(1.0)	100	77	69	67	63
K(1.5)	116	91	84	80	77
K(2.5)	129	100	95	90	86
K(3.0)	133	103	99	93	89

Para tener el valor que corresponde al coeficiente de utilización se debe sumar cada uno de los valores que se intersecan, al relacionar el valor de k con los coeficientes de reflexión de las superficies, para luego dividirlos para el número total de valores, es decir, se debe interpolar entre los valores seleccionados, y luego dividir por 100 ya que el valor del coeficiente de utilización está en forma de porcentaje, en este

caso, el valor que se obtuvo fue el calculado con la ecuación (2):

$$C_u = \frac{C_{u1} + C_{u2} + C_{u3} + C_{u4}}{4 \times 100} \tag{2}$$

$$C_u = \frac{116 + 91 + 129 + 100}{4 \times 100} \tag{3}$$

$$C_u = 1.09$$

**e. Coeficiente de mantenimiento ( $C_m$ )**

El coeficiente de mantenimiento se asocia al nivel de limpieza del ambiente, ya que influye en la limpieza de la luminaria y por consiguiente en su mantenimiento. Un ambiente ideal estaría representado por un valor de 1 y un ambiente con demasiado polvo y suciedad con 0.01. Se utilizó un coeficiente de mantenimiento de 0.8 debido a que corresponde a un establecimiento que permanece limpio y ordenado.

$$C_m = 0.8$$

**f. Flujo luminoso ( $\Phi_{total}$ )**

Con todos los datos calculados anteriormente, se podrá calcular con la ecuación (4), la cantidad de lúmenes total (sumatoria del flujo luminoso de cada lámpara) que se necesitan para mantener un nivel de iluminación previsto de 300 lx dado por la norma UNE 12464.1 (2018).

$$\Phi_{total} = \frac{E_m \times S}{C_u \times C_m} \tag{4}$$

$$\Phi_{total} = 9371.55 \text{ lm}$$

Donde  $\Phi_{total}$  es el flujo luminoso total.

**g. Luminaria y lámpara**

Para obtener la iluminación artificial se seleccionó paneles LED dimerizables de 45 W con una eficiencia luminosa de 100 lm/W.

**h. Cálculo de número de luminarias**

Aquí se planteó la ecuación (5), teniendo en cuenta los valores de flujo luminoso mínimo total, que resultó del cálculo de nivel de iluminación, para poder calcular el número de luminarias.

$$N_{luminarias} = \frac{\Phi_{total}}{N_{lámparas/luminaria} \times \Phi_{lámpara}} \tag{5}$$

$$N_{luminarias} = \frac{9371.55 \text{ lm}}{1 \times 4500 \text{ lm}} \tag{6}$$

$$N_{luminarias} = 2.08 \text{ luminarias}$$

$$N_{luminarias} = 3 \text{ luminarias}$$

Donde  $\Phi_{total}$  es el flujo luminoso total,  $\Phi_{lámpara}$  es el flujo luminoso de cada lámpara,  $N_{luminarias}$  es el número de luminarias (la luminaria es el conjunto de base, pantalla y accesorios que sirven de soporte a las lámparas; las lámparas son los elementos que generan el flujo luminoso) y  $N_{lámparas/luminaria}$  es el número de lámparas por cada luminaria.

### i. Emplazamiento de luminarias

Teniendo el número de luminarias necesarias para cumplir con la normativa se procedió a ubicarlas de manera que la iluminación llegue a cada espacio de la superficie, para ello se empleó las ecuaciones (7) y (8), cabe destacar que esto es un modelo para la disposición, pero el diseñador podría proponer muchas otras combinaciones. La disposición utilizada para las lámparas se la puede observar en la Figura 6.

- Luminarias por ancho del aula (columnas).

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{luminarias}}}{l}} \times a \quad (7)$$

$$N_{\text{ancho}} = 1.33 = 2 \text{ columnas}$$

- Luminarias por largo del aula (filas).

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \frac{1}{a} \quad (8)$$

$$N_{\text{largo}} = 2.11 = 2 \text{ filas}$$

### j. Configuración final

Se analizaron algunas posibles configuraciones para instalar el sistema de iluminación, pero solo se muestra la disposición final en la Figura 6. Para comprobar que con la disposición de las luminarias y con el flujo luminoso de las lámparas se mantiene el nivel de iluminación requerido de 300 lx, se simuló el diseño utilizando el software Dialux, como se puede apreciar en la Figura 5.



Fig. 5: Configuración de luminarias en el software Dialux.

### k. Comprobación del cálculo de luminarias

Luego de realizar el emplazamiento, se procedió a comprobar que las luminarias seleccionadas cumplen con el mínimo requerido para iluminar el área de trabajo. Se debe comparar que el valor calculado sea mayor o igual que 300 lx, como se puede verificar en el resultado de la ecuación (10).

$$E_m = \frac{N_{\text{luminarias}} \times N_{\text{lámparas/luminaria}} \times \Phi_{\text{lámpara}} \times C_u \times C_m}{S} \quad (9)$$

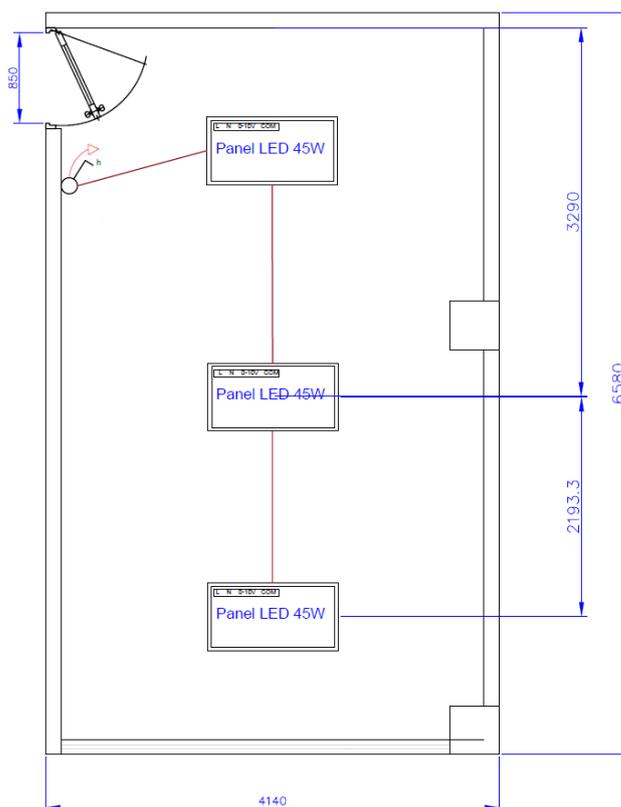


Fig. 6: Plano de posición de luminarias para el aula 312.

$$E_m = \frac{3 \times 1 \times 4500 \text{ lm} \times 1.09 \times 0.8}{27.24 \text{ m}^2} \quad (10)$$

$$E_m = 432.15 \text{ lx} \geq 300 \text{ lx}$$

### 2.3. Diseño e implementación del sistema de control automático de iluminación

Para el diseño del Sistema de Control Automático de Iluminación que en adelante se denominará SCAI, se utilizaron los materiales que se describen en la Tabla 6 y Tabla 7:

Tabla 6: Lista de materiales.

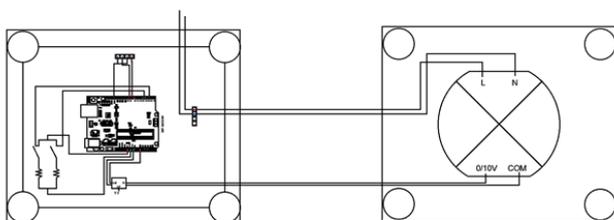
Equipo	Modelo
Transformador 110/24 V	AC/AC Ring doorbell X003DSG15F
Convertidor 110/12 V	AC/DC Huawei
Regulador de voltaje	LM2596
Sensor de iluminación	Multisensor 0-10 V Econtrols, MS.602000-000
Controlador	Arduino Uno R3
Panel LED dimerizable	VELPND 45 W 60×60
Medidor inteligente	Emylo/EAI-90
Jumpers	-
Interruptores	-
Cable 24 AWG	Jurui 24 AWG×2C
Borneras	-
Caja termoplástica	Legrand 180×140×86 mm

**Tabla 7:** Características del panel LED dimerizable.

Característica	Valor
LED SMD	Modelo: Honglitrionic 2835
Número de luminarias	3x1
Voltaje	100-277 V AC 50/60 Hz
Factor de potencia	$\geq 0,9$
Armónicos (THD)	$<20\%$
Protocolo de atenuación	0-10 V
Potencia	$3 \times 45\text{ W}$
Eficacia	100 lm/W

**Diagrama de instalación.**

Se analizó cada una de las entradas y salidas necesarias para trabajar con los equipos, en cuanto a su tensión en DC y compatibilidad entre dispositivos de entrada, salida y la unidad de control. Los sensores de iluminación presentan una señal analógica de tensión DC en función de la iluminación medida, que varía entre 0 y 10 V. El driver que regula las lámparas LED necesita una señal analógica de 0 a 10 V DC. El controlador Arduino Uno, se alimenta con 12 V DC, y trabaja con señales analógicas y digitales en un rango de 0 a 5 V DC, por lo que para trabajar con el sensor se utilizó un convertidor DC-DC de voltaje LM2596, para reducir la tensión eléctrica de la señal del sensor de iluminación de 0-10 V a 0-5 V (Figura 18). La imagen de la Figura 7 se la puede ver con más claridad en la Figura 18 de los anexos.

**Fig. 7:** Diagrama eléctrico simplificado del SCAI.

El diagrama de alimentación y fuerza se lo puede observar más detalladamente en el anexo 2.

**Algoritmo para control de iluminación.**

Se analizó la placa de programación seleccionada para realizar el control y se elaboró el código que permitió cumplir con las condiciones deseadas como se puede ver en el anexo 1. A continuación en la Tabla 8 se puede observar las entradas y salidas del controlador, y su función en el sistema. En la Figura 8 se puede observar la vista esquemática del panel de control del SCAI.

El interruptor 1 activa el modo automático y el interruptor 2 el modo proyección.

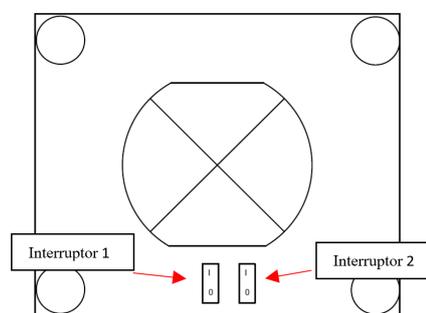
**Modos de funcionamiento:** Dependiendo de la combinación de los estados de los interruptores 1 y 2 se pueden establecer 4 modos de funcionamiento:

- Modo 1

Cuando el interruptor 1 está en posición ON y el interruptor 2 este en posición ON entonces la salida de voltaje será igual a 5 V, lo que significa que se utilizará la potencia necesaria

**Tabla 8:** Tabla de entradas/salidas del controlador.

Variable	Función
salidaPWM/ salidaPWM2	Variables donde se almacenan la cantidad de voltaje de salida que tendrá el pin físico de la salida
botonPin/ botónPin2	Variables donde se establecen el pin del Arduino donde se conectará los interruptores de función y se estableció como variable de entrada. Se establecieron como variables de entrada y tienen un valor inicial de 0, indica que inicialmente los interruptores estarán apagados o en posición 0.
estadoBoton/ estadoBoton2	Son variables de entrada para almacenar los datos recopilados por el sensor.

**Fig. 8:** Panel de control del SCAI.

para mantener los 300 lx en el plano de trabajo, de manera continua, es decir no se adapta a la iluminación natural.

- Modo 2

Cuando el interruptor 1 está en posición OFF y el interruptor 2 este en posición OFF entonces la salida de voltaje será igual a 0 V, es decir el sistema de iluminación esta apagado.

- Modo 3 (Modo Automático)

Cuando el interruptor 1 está en posición ON y el interruptor 2 este en posición OFF, la salida de voltaje que controla al driver de la luminaria, se ajustará en función del voltaje proveniente del sensor de iluminación el cual envía esta señal al controlador. Así entre menor sea el voltaje de entrada medido por el sensor de iluminación (menor iluminación natural) mayor será el voltaje de salida que va hacia el driver (mayor iluminación artificial) y viceversa, de esta manera se autorregula la iluminación artificial en función de la iluminación natural para mantener la consigna de 300 lx en el plano de trabajo.

- Modo 4 (Modo proyección)

Cuando el interruptor 1 está en posición OFF y el interruptor 2 este en posición ON entonces la salida de voltaje será de 1 voltio en los paneles posteriores del aula y de 0 V en el panel delantero (cerca a la pizarra), es decir cerca del proyector la lámpara se apaga y las luminarias que iluminan los pupitres se autorregulan a 100 lx aproximadamente para permitir el uso de proyector de diapositivas.

■ Activación con movimiento

Todo el sistema se activa con un sensor de movimiento incorporado en el sensor de iluminación, por lo que el sistema no necesita ser activado o desactivado manualmente.

En la Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se muestran respectivamente:

- El valor de iluminación artificial que se tiene en función del valor de tensión en las salidas analógicas.
- Los valores de tensión en las entradas analógicas en función de la iluminación medida en los sensores.
- La relación inversa que existe entre la tensión en las salidas para generar la iluminación artificial, y la tensión en función de la iluminación medida en el sensor.

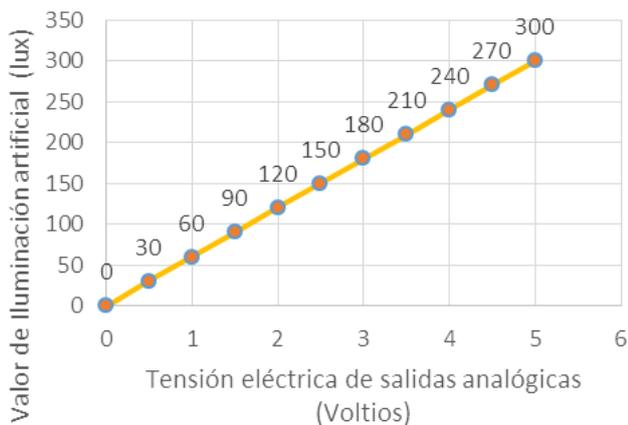


Fig. 9: Iluminación artificial en función del voltaje aplicado.

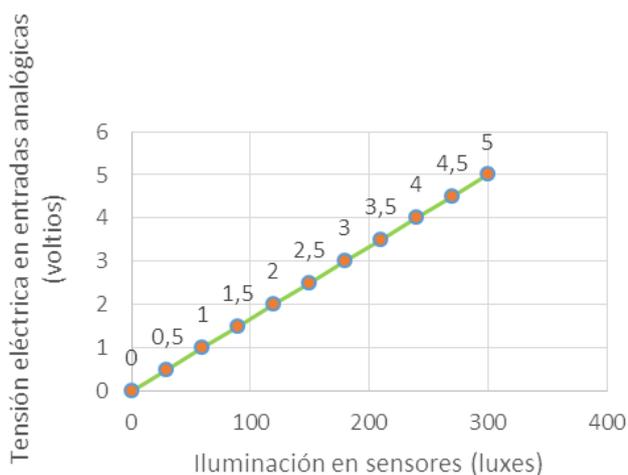


Fig. 10: Tensión eléctrica en función de la iluminación medida.

El algoritmo con las condiciones y modos de funcionamiento del SCAI se pueden entender de mejor manera analizando la Figura 12.

**Construcción de SCAI.**

Una vez que se realizaron algunas pruebas de funcionamiento del sistema, y mediciones con un luxómetro para verificar que se obtengan los valores de iluminación deseados, se colocó el procesador, regulador y convertidores de tensión en el interior de un tablero termoplástico con protección IP40, luego se insertaron en la cubierta el sensor de iluminación, interruptores, y demás elementos del sistema de control. A

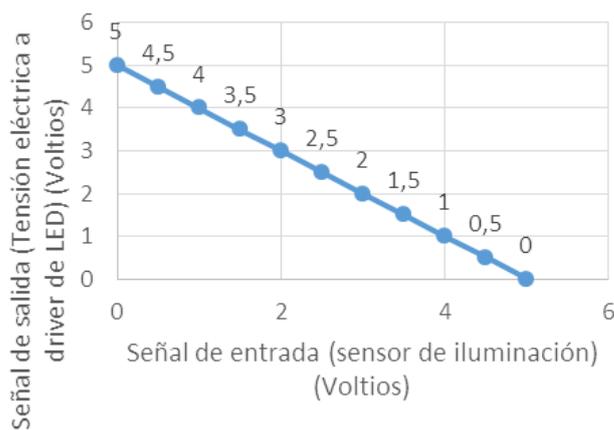


Fig. 11: Señal de salida en función de la señal de entrada.

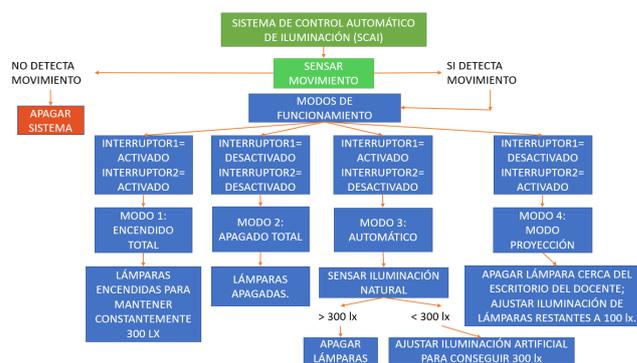


Fig. 12: Diagrama de flujo del algoritmo utilizado.

continuación, se procedió a cargar el programa final en la placa de programación y colocar el cableado de fuerza y control tomando en cuenta el diagrama de instalación. Por último, se realizó el mismo procedimiento para alojar el segundo sensor. La ubicación de los elementos en los tableros se puede observar en la Figura 13 y Figura 14. En las figuras, Figura 15 y Figura 16 se pueden observar la disposición final del sistema.

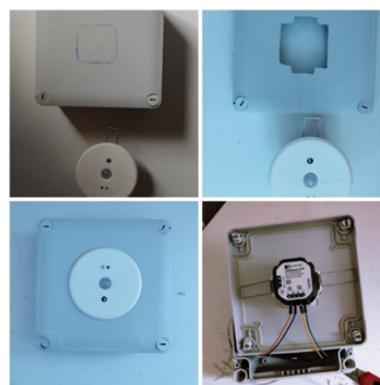


Fig. 13: Ubicación del sensor de iluminación.

**2.4. Medición del consumo eléctrico del sistema de iluminación automático con tecnología LED**

Para el monitoreo del consumo eléctrico del SCAI, Se usaron dos tipos de medidores, el dispositivo básico Emylo y los sistemas de monitoreo inteligente Emporia (Figura 17), instalados en función del Proyecto 19-DI-FEIRNNR-2023 del



**Fig. 14:** Conexiones eléctricas del sistema de control.

Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas (CITE) de la Universidad Nacional de Loja. La interfaz de los medidores Emporia permite revisar datos de consumo eléctrico cada hora, día, mes y año, como se puede apreciar en la Figura 18.



**Fig. 17:** Monitor inteligente Emporia.



**Fig. 15:** Disposición de las luminarias LED dimerizables.



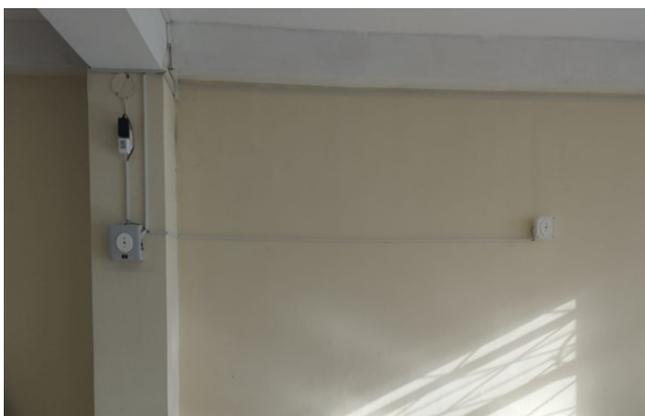
**Fig. 18:** Interfaz del monitor Emporia.

dividió el consumo eléctrico del sistema con lámparas fluorescentes para la potencia instalada de las mismas, es decir se calculó el tiempo de uso. El tiempo de uso multiplicado por la potencia de los paneles LED da como resultado el consumo aproximado que se tendría bajo las mismas condiciones con lámparas LED, como se puede apreciar en la ecuación (11):

$$Consumo_{LED} = \frac{Consumo_{Aula_{Fluorescente}} \times Potencia_{LED}}{Potencia_{Fluorescente}} \quad (11)$$

### 2.6. Análisis de datos de consumo eléctrico

Con los datos recopilados mediante los medidores inteligentes instalados en cada una de las aulas del bloque A3 se decidió realizar una proyección de consumo energético de un sistema de iluminación convencional con tecnología LED y el SCAI, esto con la finalidad de conocer el nivel de ahorro energético que se lograría al implementar estos sistemas. Se clasificó los datos en tablas, para luego representar en un gráfico de barras y exponer el consumo de estos tres sistemas. Como se aprecia en la Tabla 11 y la Figura 18.



**Fig. 16:** Ubicación de los elementos del SCAI en el aula.

### 2.5. Proyección del consumo con iluminación convencional con tecnología LED

Para proyectar el consumo de un sistema de iluminación convencional, es decir sin control, con tecnología LED, se

## 2.7. Análisis de radiación y luz solar en la ciudad de Loja

Con los datos recopilados mediante los medidores inteligentes instalados en cada una de las aulas del bloque A3 se realizó una proyección de consumo energético de un sistema de iluminación convencional con tecnología LED y el SCAI, esto con la finalidad de conocer el nivel de ahorro energético que se lograría al implementar estos sistemas. Se clasificó los datos en tablas, para luego representar en un gráfico de barras y exponer el consumo de estos tres sistemas. Como se aprecia en la Tabla 12 y la Figura 19.

## RESULTADOS

### Análisis comparativo de sistemas

Se analizaron las diferencias clave entre el sistema antiguo de iluminación con tecnología fluorescente, el sistema proyectado convencional con tecnología LED y el sistema de control automático de iluminación con tecnología LED dimerizable. Se consideraron aspectos cruciales como eficiencia energética, durabilidad, calidad de luz, vida útil y costos operativos. Con ello, se pretende demostrar las ventajas significativas que ofrecen los sistemas LED, consolidándose como una opción valiosa y sostenible en el campo de la iluminación moderna.

En la Tabla 9 se muestra una comparación entre el sistema antiguo y el SCAI, donde resaltan las ventajas de éste último sobre los sistemas de iluminación tradicionales en varios aspectos. Su eficiencia energética, larga vida útil y mejor calidad de luz es una opción más atractiva y sostenible para iluminar diversos entornos.

**Tabla 9:** Análisis comparativo entre sistema antiguo de iluminación y sistema de iluminación LED Dimerizable en el aula objeto de estudio.

	Sistema anti-guo	Sistema de control automático de iluminación(SCAI)
Luminarias	2×2	3×1
Tipo de luminaria	Fluorescente	LED
Potencia por luminaria	40 W ×2	45 W ×1
Selección de escenas	No	Si(Modo automático- Modo proyección)
Vida útil	5000 h	50000 h
Panel difusor de luminosidad	No	Si
Impacto ambiental	Mayor huella de carbono	Menor huella de carbono
Consumo mensual	27.56 kWh	10.55 kWh
Costo mensual del servicio	2.48 USD	0.95 USD
Porcentaje de ahorro		61.7%
Consumo energético por área	1.0008 kWh/m <sup>2</sup>	0.3834 kWh/m <sup>2</sup>

La Tabla 10 indica los valores de las áreas de las aulas del Bloque 3, que se utilizaron para calcular el consumo eléctrico por unidad de área.

**Tabla 10:** Áreas de cada una de las aulas del bloque 3 de la FEIRNNR.

Aula	Área(m <sup>2</sup> )
A333	44.92
A332	44.92
A334	67.63
A322	44.92
A323	44.92
A324	67.36
A312	27.54
A313	45.61
A314	32.41
A315	27.53

En la Tabla 11, se presentan los consumos promedio actuales del sistema de iluminación del Bloque A3 de la FEIRNNR, junto con los consumos proyectados de un sistema convencional LED y un SCAI para cada aula. Esta comparativa se llevó a cabo con el objetivo de analizar de manera más efectiva los beneficios potenciales de la implementación de esta tecnología en las aulas.

Los valores fueron tomados de los medidores inteligentes instalados en el Bloque A3, donde se realizó un cálculo promedio de los consumos que se obtendrían al implementar un cambio de luminarias por una tecnología LED, de igual manera se encuentran las proyecciones del sistema SCAI. Además, es posible observar el consumo mensual por unidad de área de cada una de las aulas del Bloque A3, esto ofrece una visión del beneficio de instalar un SCAI o reemplazar el sistema de luminarias por paneles LED.

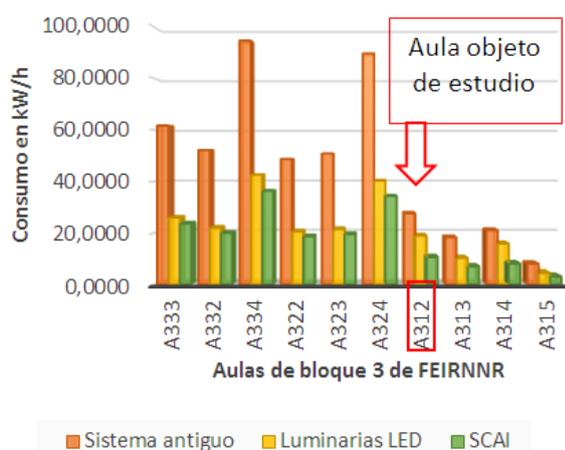
## DISCUSIÓN

Para contrastar los resultados sobre los niveles de iluminación necesarios en aulas de estudio, se determinó que el aula A312 requiere un flujo luminoso mínimo de 9371.55 lm para alcanzar 300 lx en el plano de trabajo, cumpliendo con las normas UNE 12464.1 (2018) y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) en su capítulo NEC-HS-EE: Eficiencia Energética (“NEC: Norma Ecuatoriana de la construcción. Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales”, 2018). Se logró cumplir con el nivel mínimo de iluminación utilizando 3 paneles LED dimerizables de 45 W y se corroboró los cálculos mediante la simulación en el software Dialux. Otros estudios, como el de Sanchez-Cueva (2022) estableció en el plano de trabajo, 736 lx con 6 luminarias de 30 W para la misma aula, aunque esto aumenta el consumo de energía. Se señala que la disponibilidad limitada de paneles dimerizables en el mercado nacional dificultó la adquisición, lo que resultó en la importación de equipos desde España y Colombia, causando retrasos en la implementación del sistema.

**Resumen de consumos del sistema antiguo, proyección con LED convencional y SCAI.****Tabla 11:** Resumen de valores de consumo eléctrico mensual de sistemas proyectados en el bloque A3 de la FEIRNNR de la UNL.

Aula	Consumo mensual			Consumo mensual por unidad de área			Costo mensual			Ahorro mensual	
	Sistema Anti-guo (kWh)	Sistema LED (kWh)	SCAI (kWh)	Sistema Anti-guo (kWh /m <sup>2</sup> )	Sistema LED (kWh /m <sup>2</sup> )	SCAI (kWh /m <sup>2</sup> )	Sistema Anti-guo USD	Sistema LED USD	SCAI USD	Sistema LED USD	SCAI USD
A333	61.66	26.01	23.62	1.37	0.57	0.52	5.54	2.34	2.12	3.20	3.42
A332	52.17	22.01	19.98	1.16	0.49	0.44	4.69	1.98	1.79	2.71	2.89
A334	94.73	42.62	36.29	1.40	0.63	0.53	8.52	3.83	3.26	4.68	5.25
A322	48.65	20.52	18.63	1.08	0.45	0.41	4.37	1.84	1.67	2.53	2.70
A323	50.82	21.44	19.47	1.13	0.47	0.43	4.57	1.92	1.75	2.64	2.82
A324	89.69	40.36	34.36	1.33	0.59	0.51	8.07	3.63	3.09	4.43	4.97
A312	27.56	18.90	10.55	1.00	0.68	0.38	2.48	1.70	0.95	0.77	1.53
A313	18.23	10.25	06.98	0.39	0.22	0.15	1.64	0.92	0.62	0.71	1.01
A314	21.13	15.85	08.09	0.65	0.48	0.24	1.90	1.42	0.72	0.47	1.17
A315	07.99	04.49	03.06	0.29	0.16	0.11	0.71	0.40	0.27	0.31	0.44
Total	472.67	222.49	181.08	9.82	4.79	3.76	42.54	20.02	16.29	22.51	26.24
Promedio	47.26	22.24	18.10	0.98	0.47	0.37	4.25	2.00	1.62	2.25	2.62

Para tener una mejor visualización de los consumos energéticos, se realizó el diagrama de barras que se muestra en la Figura 19.

**Fig. 19:** Consumo mensual de los diferentes sistemas de iluminación.

Además, es importante destacar que el color de las paredes presente en el aula de clases es amarillo, con un índice de reflexión de 0.5 a 0.7, lo que influye en la reflexión del flujo luminoso dentro del aula, debido a que los colores de tonos claros y neutros, reflejan mejor la luz natural y artificial, como, por ejemplo, el blanco con índice de reflexión de 0.75-0.85. Es decir con un color completamente claro o tono pastel, se podría mejorar el índice de reflexión, lo que reduciría en cierta medida el consumo eléctrico. Se construyó un sistema utilizando un sensor de iluminación y un controlador Arduino para procesar la información y controlar la atenuación del panel LED, manteniendo una iluminación de 300 lx en el plano de trabajo conforme a las normas mencionadas. Sanchez-Cueva (2022) presentó un sistema de control basado en horarios, activando las luminarias con sensores de mo-

vimiento y luminosidad, también utilizando un controlador Arduino. Por otro lado, para otro sistema de iluminación en otro contexto, Ruales Gavilanes (2020) propuso un sistema de escenas automático que ajusta la iluminación según la hora del día, aunque no controla la atenuación basada en la luz natural, cuenta con un sistema de escenas manuales para ahorrar energía. En el análisis comparativo de funcionamiento, se obtuvieron resultados que demostraron un ahorro notable con el sistema automático de iluminación en comparación con el sistema antiguo que utilizaba lámparas fluorescentes. Durante un mes con labores académicas normales en el aula objeto de estudio, el consumo energético del sistema antiguo fue de 27.56 kWh, mientras que el sistema de control automático solo consumió 10.55 kWh, lo que representa un ahorro del 61.7%. Investigaciones anteriores en otros contextos respaldan que se puede generar un porcentaje de ahorro, instalando sistemas de control de iluminación. Ruales Gavilanes (2020) implementó un sistema de control automático de iluminación, obteniendo un ahorro del 55.06% en comparación con el sistema de iluminación convencional. Además, Portocarrero Chauca (2017) aplicó el protocolo DALI para controlar las luminarias, logrando un ahorro del 41.78%. A pesar de que los resultados pueden variar según el área de iluminación, ventanales en los espacios, colores de superficies, etc., en general, se observarán ahorros significativos. Cabe destacar que el sistema centralizado del protocolo mencionado (DALI) permite controlar las luminarias desde una computadora central, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa. Sin embargo, es importante mencionar que, actualmente sería difícil la implementación en Ecuador debido a que en el mercado nacional no existe oferta de estos equipos. Además, el ahorro energético por el cambio de luminarias fluorescentes a LED en el aula de estudio fue estimado en 31.4%. El estudio desarrollado por Pompei *et al.* (2022), demostró que dicho ahorro puede oscilar entre el 70% al 40% en edificaciones. En general, las condiciones de iluminación deben ser adecuadas no solo para las personas, sino que también se

pueden estudiar métricas para que el entorno también favorezca el crecimiento de plantas (Madias *et al.*, 2023) y, además, se puede buscar una integración con el internet de las cosas (Chiradeja y Yoomak, 2023).

## CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación indican que se necesitan 3 paneles LED dimerizables de 45 W para alcanzar 300 lx de iluminación en el aula A312, respaldando este cálculo mediante la simulación en el software Dialux. Sin embargo, se encontró que Sanchez-Cueva (2022) alcanzó niveles más altos (736 lx) con una configuración diferente. Aunque ambas opciones cumplen con los requisitos de iluminación, es crucial considerar el impacto energético relacionado con el aumento de potencia en las luminarias. Los resultados respaldan la eficacia de usar un controlador y sensores de luminosidad como sistema de control para mantener una iluminación constante de 300 lx, cumpliendo con las normas. Aunque esta opción es viable, se podrían aplicar otras opciones como el módulo atenuador PowPak, que también ofrece control dimerizable pero podría ser más difícil de obtener en el mercado nacional. Además, se destaca la versatilidad de otras soluciones de control, como la de Sanchez-Cueva (2022) basada en sensores de movimiento y luminosidad, y el sistema de escenas presentado por Ruales Gavilanes (2020). Cada enfoque tiene ventajas distintas y su elección dependerá de la disponibilidad de tecnología y los objetivos de eficiencia energética y funcionalidad en situaciones específicas. El análisis comparativo demuestra que la implementación del sistema automático de iluminación genera un importante ahorro del 61.7% (1.53 USD mensuales) en el consumo mensual en función de las jornadas académicas normales, en comparación con el sistema antiguo con tecnología fluorescente. Las investigaciones previas, de Sánchez Cueva, Ruales Gavilanes y Portocarrero Chauca, analizadas en la discusión, respaldan estas conclusiones al mostrar que otros sistemas automáticos han logrado ahorros sustanciales en energía. El proyecto enfatiza la necesidad de invertir más en investigación y desarrollo de tecnologías de control de iluminación eficientes y asegurar su disponibilidad en el mercado local, con el objetivo de maximizar los ahorros energéticos y contribuir a la sostenibilidad en cuanto a sistemas de iluminación.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Loja, la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, a la carrera de Ingeniería Electromecánica, al Proyecto 19-DI-FEIRNNR-2023 y al Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas (CITE) que, de una u otra forma, contribuyeron en la realización de este trabajo. Gracias por su tiempo, su colaboración, y sus valiosos aportes.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: RCR y JPM; metodología: RCR y JPM; análisis formal: RCR y JPM; investigación: JPM y CSO; recursos: JPM; curación de datos: JPM, COR e ICV; redacción — preparación del borrador original: JPM, SCR y RCR; redacción — revisión y edición: JPM, SCR, RCR, EPH y JCM; visualización: EPH, JGP y FRC; supervisión: RCR;

administración de proyecto: JPM y RCR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Josmani Pacheco-Macas: JPM. Raúl Chávez-Romero: RCR. Sara Chávez-Romero: SCR. Carlos Samaniego-Ojeda: CSO. Juan Chunchu-Morocho: JCM. Cristian Ortega-Reyes: COR. Edwin Paccha-Herrera: EPH. Ivan Coronel-Villavicencio: ICV. Julio Gomez-Peña: JGP. Fernando Ramírez Cabrera: FRC.

## FINANCIAMIENTO

El presente trabajo no contó con ninguna fuente de financiamiento formal

## REFERENCIAS

- Ahmed, S. A., Sarath Kumar, R. S., Gunadeep, M., Praveen Kumar, K., Jayanth, S. S., y Chaitanya, C. S. (2023). Design and analysis of a natural lighting system for underground structures. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.369>
- Bustán-Gaona, D., Ayala-Chauvin, M., Buele, J., Jara-Garzón, P., y Riba-Sanmartí, G. (2023). Natural lighting performance of vernacular architecture, case study oldtown pasa, ecuador. *Energy Conversion and Management: X*, 20, 100494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100494>
- Castilla, N., Higuera-Trujillo, J. L., y Llinares, C. (2023). The effects of illumination on students memory. a neuroarchitecture study. *Building and Environment*, 228, 109833. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109833>
- Castilla-Cabanes, N., Blanca, V., Antón, A., y Pastor, R. (2011, 01). Cálculo iluminación según el método de los lúmenes. <http://hdl.handle.net/10251/12833>.
- Chacón-Avilés, R., Meza-Benavides, C., C.-Braga, H. A., S.-Almeida, P., y G.-Casagrande, C. (2017). Proceso de diseño de sistemas de iluminación led energéticamente autónomos. *Tecnología en Marcha*, 30, 100. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3411>
- Chiradeja, P., y Yoomak, S. (2023). Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (iot) technologies for smart city. *Energy Reports*, 10, 3355-3372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.027>
- Emylo. (2021). *Manual de Usuario de medidor de consumo eléctrico Emylo*. Descargado de <https://www.faboro.de/wp-content/uploads/2021/02/WiFi-Meter-User-Manual.pdf>
- Fakhari, M., Fayaz, R., y Asadi, S. (2021). Lighting preferences in office spaces concerning the indoor thermal environment. *Frontiers of Architectural Research*, 10(3), 639-651. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.03.003>
- INSHT, I., y Alvarez Bayona, T. (2015). Iluminación en el puesto de trabajo. *Madrid: NIPO*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación - centros docentes*. Editorial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Madias, E.-N. D., Christodoulou, K., Androvitsaneas, V. P., Skalkou, A., Sotiropoulou, S., Zervas, E., y Doulos, L. T. (2023). The effect of artificial lighting on both biophilic and human-centric design. *Journal of Building Engineering*, 76, 107292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107292>

- NEC: Norma Ecuatoriana de la construcción. Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales. (2018).
- Pompei, L., Blaso, L., Fumagalli, S., y Bisegna, F. (2022). The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in italian buildings based on standard en 15193-1:2017. *Energy and Buildings*, 263, 112025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112025>
- Portocarrero Chauca, C. A. (2017). Propuesta de implementación del sistema “led” con control dali de iluminación para reducir costos en la planta de operaciones de jnr logística e ingeniería sac.
- Ruales Gavilanes, B. J. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de control de iluminación para el salón 216b del edificio de aulas y relación con el medio externo (earme) de la epn* (B.S. thesis). Quito, 2020.
- Sanchez-Cueva, L. H. (2022). Sistema de iluminación led automatizado para el edificio 3 de la facultad de energía, las industrias y los recursos naturales no renovables de la universidad nacional de Loja e implementación de prototipo. *Dspace UNL*.
- Sikora, R., Markiewicz, P., y Korzeniewska, E. (2023). Using identification method to modelling short term luminous flux depreciation of led luminaire to reducing electricity consumption [Article]. *Scientific Reports*, 13(1). (Cited by: 0; All Open Access, Gold Open Access, Green Open Access) doi: 10.1038/s41598-023-27925-5

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Código de programación

```
const int botonPin = 2; // Pin del interruptor 1
const int botonPin2 = 4; // Pin del interruptor 2
int estadoBoton = 0; // Variable para almacenar el estado del interruptor 1
int estadoBoton2 = 0; // Variable para almacenar el estado del interruptor 2
const int salidaPWM = 9; // Pin de voltaje de salida
const int salidaPWM2 = 10; // Pin de voltaje de salida
// Función para escalar un valor de entrada desde un rango inicial a un rango deseado
float scaleValue(float inputValue, float inputMin, float inputMax, float outputMin, float outputMax)
{return map(inputValue, inputMin, inputMax, outputMin, outputMax);}
void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(botonPin, INPUT); // Configura el pin del interruptor 1 como entrada
pinMode(botonPin2, INPUT); // Configura el pin del interruptor 2 como entrada
```

```
pinMode(salidaPWM, OUTPUT); // Configura la variable como salida
pinMode(salidaPWM2, OUTPUT); // Configura la variable como salida
pinMode(9, OUTPUT); // Configurar el pin 9 como salida analógica
pinMode(10, OUTPUT); // Configurar el pin 10 como salida analógica }
void loop() { // Leer el valor analógico desde el pin A0 estadoBoton = digitalRead(botonPin);
estadoBoton2 = digitalRead(botonPin2);
int sensorValue = analogRead(A0);
int sensorValue2 = analogRead(A3);
if (estadoBoton == 1 and estadoBoton2==0) { // Escalar el valor leído del rango de 0-1023 a un rango de 0-255 (valores analógicos para el MODO AUTOMÁTICO)
int scaledValue = scaleValue(sensorValue, 0, 850, 255, 0);
int scaledValue2 = scaleValue(sensorValue2, 0, 880, 255, 0);
// Escribir el valor escalado en el pin 9 (salida analógica) analogWrite(9, scaledValue);
analogWrite(10, scaledValue2); }
if (estadoBoton2 == 0
if (estadoBoton == 0) { })
// Condición para cuando los interruptores 1 y 2 estén en posición OFF el voltaje de salida se ajuste a 0V
Serial.print("voltaje mínimo"); analogWrite(salidaPWM, 0)
;
analogWrite(salidaPWM2, 0) ;}
if (estadoBoton2 == 1
if (estadoBoton == 1) { }) // Condición para cuando los interruptores 1 y 2 estén en posición ON el voltaje de salida se ajusta a 5V
Serial.print("Voltaje máximo");
analogWrite(salidaPWM, 255);
analogWrite(salidaPWM2, 255);}
if (estadoBoton2 == 1 and estadoBoton==0) // Condición para cuando el interruptor 2 esta en posición ON y el interruptor 1 esta en posición OFF, el voltaje de salida se ajusta en 1V (MODO PROYECCIÓN)
analogWrite(salidaPWM2 , 51) ;
// Imprime los valores en el puerto serial

Serial.print("Valor original: ");
Serial.print(sensorValue);
Serial.print("Valor original: ");
Serial.print(sensorValue2);
delay(100); // Pequeña pausa para evitar lecturas y escrituras muy rápidas
```

Anexo 2

Diagrama multifilar de sistema de control de iluminación automático.

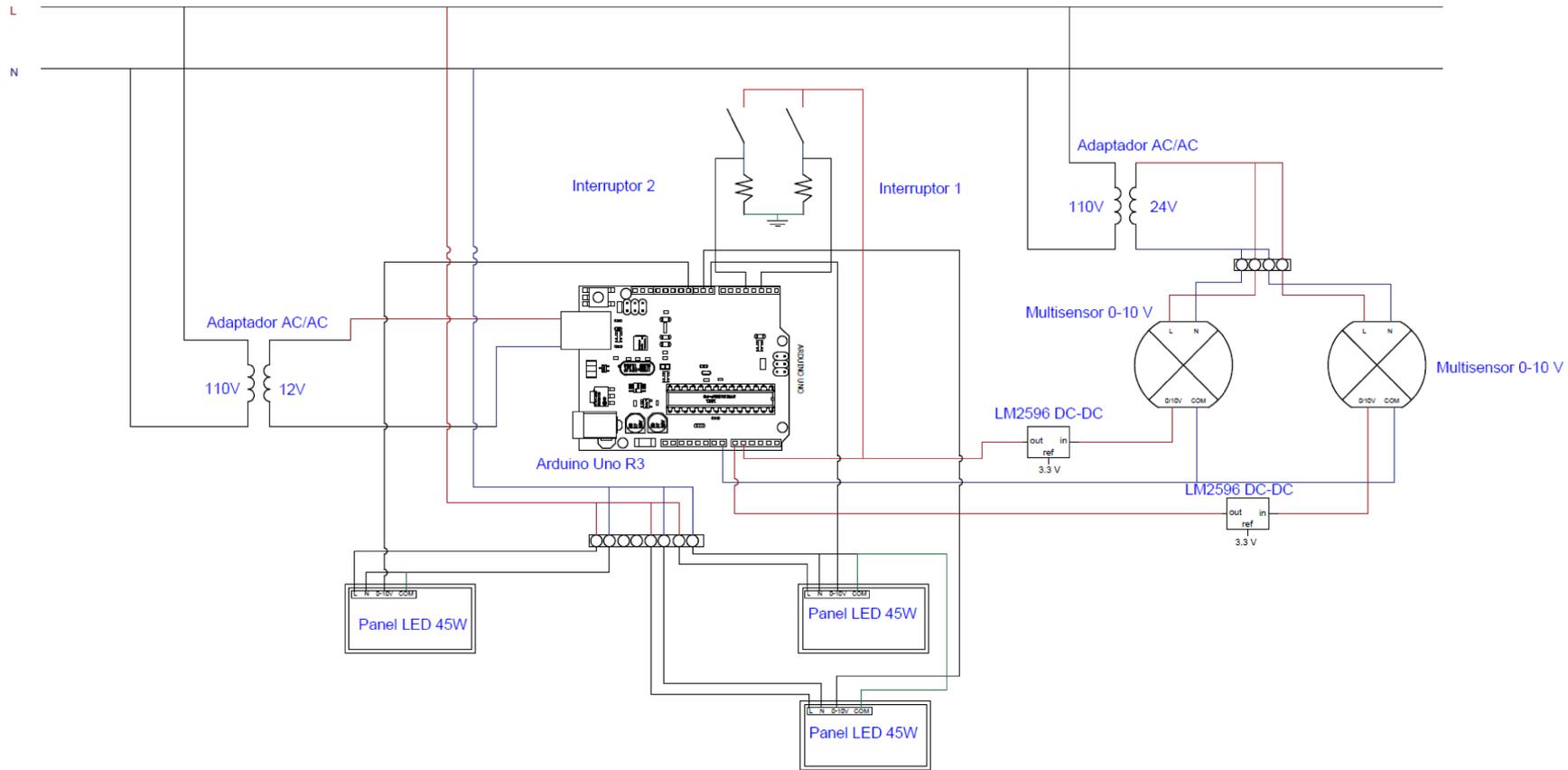


Fig. 20: Diagrama eléctrico multifilar del sistema de iluminación