



CEDAMAZ

Julio - Diciembre 2022

Volumen 12

Número 2

Páginas 85 - 209

e-ISSN: 1390-5902



UNL

Universidad
Nacional
de Loja



Julio - Diciembre 2022

Volumen 12

Número 2

Páginas 85 - 209

e-ISSN: 1390-5902



unl

Universidad
Nacional
de Loja



AUTORIDADES

Nikolay Aguirre, Ph.D.
Rector

Mónica Pozo, Ph. D.
Vicerrectora

COMITÉ EDITORIAL

Paúl Eguiguren, M.Sc.
Director General
paul.eguiguren@unl.edu.ec

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

Tatiana Ojeda Luna, M.Sc.
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 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

Universidad 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


M.Sc. 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

- Valoración de bienes y servicios ambientales del Bosque Protector Cerro Golondrinas en Carchi – Ecuador** 85
Karol Dennise Arellano Pérez e Iván Fernando Palacios Orejuela
- Flora vascular del matorral seco del Sur del Ecuador** 94
Omar Cabrera-Cisneros, Fani Tinitana, Nixon Cumbicus y Anibal Prina
- Variación de diatomeas (Bacillariophyta) en un gradiente del estado de conservación de ribera del río Malacatos, Loja- Ecuador** 111
Robert Iván Yaguana y Victor Alonso Cartuche
- Diversidad anatómica de la madera de tres especies del género *Ilex* en la región sur de Ecuador** 118
Jennifer Rodriguez, Yessica Rey, Fanny Aguinaca, Héctor Zhiñin y Darwin Pucha-Cofrep

CIENCIAS AGROPECUARIAS

- Determinación de la curva de crecimiento en la cabra “Chusca Lojana” del bosque seco del Sur del Ecuador** 125
Lenin Aguirre, Oscar Albito, Rodrigo Abad-Guamán y Teddy Maza
- Determinación de los factores óptimos de desinfección utilizando Bioperacén maracuyá, limón y aguacate en el cantón Catamayo.** 130
Jenyffer Alexandra Correa-Campoverde y Wilson Rolando Chalco-Sandoval
- Influencia de podas y nutrición nitrogenada en el desarrollo vegetativo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi)** 138
Karen Macas y Fernando Granja
- Nemátodos asociados a malezas en San Lorenzo, Paraguay** 145
Jazmín Yerutí Mongelós-Franco, Nabila Nahir Duarte-Ovejero, Pedro Aníbal Vera-Ojeda, Laura Concepción Soilán-Duarte, Gabriela Giuliana Caballero-Mairesse y Guillermo Andrés Enciso-Maldonado

CIENCIAS DE LA SALUD Y BIOTECNOLOGÍA

- Vivencias de enfermeros ante la muerte de pacientes Covid19 en la Unidad de Cuidados Intensivos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador** 151
Katherine González y Evelyn Buenaño
- Administración de ácido fólico en mujeres gestantes y factores sociodemográficos asociados** 157
José Eduardo González Estrella, Denny Caridad Ayora Apolo y Maura Guzmán Cruz
- Meta-análisis: Eficacia y seguridad de apixabán frente a warfarina en pacientes con fibrilación auricular para profilaxis de eventos cardiovasculares adversos.** 162
Mariela Idrovo-Vallejo y Paula Blandin-Lituma
- Epiploitis aguda supurativa, tratamiento quirúrgico: reporte de un caso** 170
Wilmer Oscar Sarango Peláez, José Manuel Cumbicos Ortega, Danny Marcelo Vargas Ulloa, Mayra Alejandra Romero Feijoó, Nancy Carolina Muñoz Cabrera y Ezequiel Francisco Jiménez Jiménez

ÍNDICE

ARTÍCULOS

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

Chatbot basado en una versión ligera del modelo BERT para resolver inquietudes relacionadas con matrículas y homologaciones en la Universidad Nacional de Loja Leonardo Paredes-Rivas y Roberth Figueroa-Díaz	174
Modelo de programación lineal de operación y multiárea de un sistema eléctrico de potencia Juan Chunchu-Morocho, Raúl Chávez-Romero y Fernando Ramírez-Cabrera	183
Optimización de sistemas fotovoltaicos para la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano Iván Coronel, Julio Gómez y Cristian Ortega	190
Evaluación de la correlación entre la RCS e Is50 en base a dimensiones de probetas Ernesto Patricio Feijoo-Calle, Bernardo Andrés Feijoo-Guevara y Emily Geovana Vásquez-Guerrero	197
<i>ARTÍCULO DE REVISIÓN</i>	
El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular María José Valarezo-Ulloa y Lazaro Ruiz-Virgen	203

INDEX

ARTICLES

FOREST, BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

- Valuation of environmental goods and services of the Cerro Golondrinas Protected Forest in Carchi – Ecuador** 85
Karol Dennise Arellano Pérez and Iván Fernando Palacios Orejuela
- Vascular flora of dry scrub in Southern Ecuador** 94
Omar Cabrera-Cisneros, Fani Tinitana, Nixon Cumbicus and Anibal Prina
- Variation of diatoms (Bacillariophyta) in a gradient of the riverbank conservation status of the Malacatos river, Loja- Ecuador** 111
Roberth Iván Yaguana and Victor Alonso Cartuche
- Anatomical diversity of the wood of three species of the genus *Ilex* in the southern region of Ecuador** 118
Jennifer Rodriguez, Yessica Rey, Fanny Aguinsaca, Héctor Zhiñin and Darwin Pucha-Cofrep

AGRICULTURAL SCIENCES

- Determination of the growth curve in the Creole goat “Chusca Lojana” from the dry forest of the southern region of Ecuador** 125
Lenin Aguirre, Oscar Albito, Rodrigo Abad-Guamán and Teddy Maza
- Determination of the optimal disinfection factors using Bioperac in passion fruit, lemon and avocado from the Catamayo canton.** 130
Jenyffer Alexandra Correa-Campoverde and Wilson Rolando Chalco-Sandoval
- Influence of pruning and nitrogen nutrition on the vegetative development of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi)** 138
Karen Macas and Fernando Granja
- Nematodes associated with weeds in San Lorenzo, Paraguay** 145
Jazmín Yerutí Mongelós-Franco, Nabila Nahir Duarte-Ovejero, Pedro Aníbal Vera-Ojeda, Laura Concepción Soilán-Duarte, Gabriela Giuliana Caballero-Mairesse and Guillermo Andrés Enciso-Maldonado

HEALTH SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

- Nurses experiences facing the death of Covid19 patients in the Intensive Care Unit of Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador** 151
Katherine González and Evelyn Buenaño
- Folic acid administration in pregnant women and associated sociodemographic factors** 157
José Eduardo González Estrella, Denny Caridad Ayora Apolo and Maura Guzmán Cruz
- Meta-analysis: Efficacy and safety of apixaban versus warfarin in patients with atrial fibrillation for prophylaxis of adverse cardiovascular events.** 162
Mariela Idrovo-Vallejo and Paula Blandin-Lituma
- Acute suppurative Epiplaitis, surgical treatment: case report** 170
Wilmer Oscar Sarango Peláez, José Manuel Cumbicos Ortega, Danny Marcelo Vargas Ulloa, Mayra Alejandra Romero Feijoó, Nancy Carolina Muñoz Cabrera and Ezequiel Francisco Jiménez Jiménez

INDEX

ARTICLES

EXACT SCIENCES AND ENGINEERING

Chatbot based on a light version of the BERT model to resolve concerns related to enrollment and approvals at the National University of Loja Leonardo Paredes-Rivas and Roberth Figueroa-Diaz	174
Linear Programming model of operation and Multi-Area of an electrical power system Juan Chuncho-Morocho, Raúl Chávez-Romero and Fernando Ramírez-Cabrera	183
Optimization of photovoltaic systems for the Yuwints community in eastern Ecuador Iván Coronel, Julio Gómez and Cristian Ortega	190
Correlation evaluation between UCS and Is50 based on specimen dimensions Ernesto Patricio Feijoo-Calle, Bernardo Andrés Feijoo-Guevara and Emily Geovana Vásquez-Guerrero	197
<i>REVIEW ARTICLE</i>	
Plastic recycling, a challenge to achieve a circular economy María José Valarezo-Ulloa and Lazaro Ruiz-Virgen	203

Valoración de bienes y servicios ambientales del Bosque Protector Cerro Golondrinas en Carchi - Ecuador

Valuation of environmental goods and services of the Cerro Golondrinas Protected Forest in Carchi - Ecuador

Karol Dennise Arellano Pérez^{1,*} y Iván Fernando Palacios Orejuela^{1,2}

¹ Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". Sangolquí, Ecuador, ifpalacios@espe.edu.ec

² Dirección de Planificación, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Morona. Macas, Ecuador.

* Autor para correspondencia: ifpalacios@espe.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 27/05/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 08/09/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—La importancia de un bosque protector radica en los múltiples bienes y servicios ambientales que brinda tanto al ser humano como al sistema ecológico en general. Sin embargo, estas áreas naturales se ven afectadas por presiones antrópicas que amenazan su conservación en el tiempo. El Bosque Protector Cerro Golondrinas es una de las pocas reservas naturales ubicada dentro de la región biogeográfica del Chocó ecuatoriano. El objetivo del estudio fue valorar económicamente los bienes y servicios ambientales, mediante la aplicación de los métodos precios de mercado y costo de oportunidad, para evidenciar el potencial cultural, natural, escénico, científico y social de este bosque. Se definieron siete servicios ambientales en función de sus aspectos ambientales y socioeconómicos: captura y almacenamiento de carbono, extracción de madera, provisión de agua de riego, provisión de agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche, preservación de la biodiversidad y turismo. La extracción de madera obtuvo el mayor valor con 12.496.011,81 USD, seguido de la captura y almacenamiento de carbono (11.198.586,26 USD), uso de suelo para producción de leche (2.096.884,85 USD), biodiversidad (251.472,04 USD), belleza escénica (3.173,1 USD), agua para riego (919,34 USD) y agua para consumo humano (44,03 USD), con un valor total de 26.047.091,43 USD, una cifra considerable que resalta la importancia de su conservación y protección.

Palabras clave—Chocó ecuatoriano, Precios de mercado, Costo de oportunidad, Presiones antrópicas.

Abstract—The importance of a protective forest lies in the multiple environmental goods and services it provides both to humans and to the ecological system in general. However, these natural areas are affected by anthropic pressures that threaten their conservation over time. The Cerro Golondrinas Protected Forest is one of the few natural reserves located within the biogeographic region of the Ecuadorian Chocó. The objective of the study was to economically value environmental goods and services by applying market price and opportunity cost methods to demonstrate the cultural, natural, scenic, scientific and social potential of this forest. Seven environmental services were defined according to their environmental and socioeconomic aspects: carbon storage, timber extraction, irrigation water supply, water supply for human consumption, land use for dairy cattle, biodiversity preservation and tourism. Timber extraction obtained the highest value with 12.496.011,81 USD, followed by carbon storage (11.198.586,26 USD), land use for dairy cattle (2.096.884,85 USD), biodiversity (251.472,04 USD), scenic beauty (3.173,1 USD), water for irrigation (919,34 USD) and water for human consumption (44,03 USD), with a total value of 26.047.091,43 USD, a considerable amount that highlights the importance of its conservation and protection.

Keywords—Ecuadorian Chocó, Market prices, Opportunity cost, Anthropic pressures.

INTRODUCCIÓN

Una problemática a la que se enfrenta el mundo en la actualidad es el manejo de los ecosistemas naturales de una forma sostenible, y al mismo tiempo asegurar las necesidades económicas de las poblaciones que manejan estos recursos (Orellana & Lalvay, 2018). Durante muchos años, las metas de la conservación y del crecimiento económico parecían difíciles de compatibilizar, debido a que la planifi-

cación de la conservación enfatizaba poco la importancia del desarrollo económico, al mismo tiempo que la planificación económica ignoraba al aspecto ambiental, y que irónicamente, ambos sectores comparten con frecuencia metas similares (Izco & Burneo, 2003).

Se han dado grandes pasos para alcanzar una mejor comprensión del valor económico total de los bosques sudamericanos. Estudios de diversos países del mundo, incluido América del Sur, han mostrado cómo ciertos bosques manejados

sosteniblemente producen altos valores económicos (Riviera et al., 2013; Vázquez, 2019), debido a que sus productos ingresan en el comercio internacional, obtienen regalías gubernamentales, generan ingresos para el sector, apoyan las estrategias de supervivencia de las comunidades, y proveen servicios y bienes básicos que posibilitan la supervivencia humana.

En Ecuador, el 33,26% del territorio nacional abarca el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), las cuales se encuentran distribuidas en todo el territorio continental e insular, albergando una importante riqueza biológica y servicios ecosistémicos de los que se benefician tanto poblaciones urbanas como rurales a través del turismo y la recreación (MAE, 2018). El Código Orgánico del Ambiente (COA) que deroga a la anterior Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, determina diferentes tipos de áreas para conservación, protección y producción, que están a cargo del Ministerio del Ambiente (actualmente denominado Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE), cada una con un tratamiento distinto, acorde a sus características ecológicas y la categoría de manejo que se le asigne. Dentro de esta ley, se incluye como un área significativa el Patrimonio Forestal del Estado, que determina áreas para protección como es el caso de los Bosques Protectores (Asamblea Nacional, 2017). Los bosques protectores por su naturaleza y funciones constituyen áreas de conservación y manejo sustentable; sin embargo, no se encuentran necesariamente en manos del Estado y su declaratoria está supeditada a la voluntad de sus propietarios en caso de ubicarse en zonas de dominio privado (Puente, 2008).

Según la información que maneja el ministerio del ramo, existen actualmente 168 zonas declaradas como bosques y vegetación protectores, de los cuales el 55,35%, el 20,84% y el 23,81% se encuentran en las regiones Sierra, Costa y Amazonía respectivamente. Una de estas áreas es el Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG), el cual forma parte de la Región Biogeográfica del Chocó, considerada como una de las 25 regiones más ricas en biodiversidad de la Tierra (Botsch et al., 2017; Pérez et al., 2019). El Cerro Golondrinas constituye un hábitat importante de flora y fauna, con características singulares de riqueza, variedad y endemismo (Fundación ALTROPICO, 2015), razón por la que resalta la importancia de valorar sus servicios ecosistémicos para aproximar y cuantificar el potencial de dicha área protegida. Estudios realizados en el país que han valorado áreas protegidas, proponen este tipo de análisis como una herramienta fundamental para la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Palacios & Rodríguez, 2021), como insumo dentro de los instrumentos de planificación del territorio (Palacios, 2020), e instrumento para la lucha y gestión de la mitigación del cambio climático (Palacios & Arellano, 2021).

El objetivo de la presente investigación fue valorar económicamente bienes y servicios ambientales del Bosque Protector Cerro Golondrinas, tales como: captura y almacenamiento de carbono, extracción de madera, provisión de agua de riego, provisión de agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche, preservación de la biodiversidad, y turismo, mediante la aplicación de los métodos precios de mercado y costo de oportunidad, para evidenciar el potencial cultural, natural, escénico, científico y social de es-

ta área natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Bosque Protector Cerro Golondrinas está ubicado al Norte de la región septentrional del Ecuador, específicamente al noroccidente de la provincia del Carchi. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 0°51'54,82" de Latitud Norte y 78° 9'38,05" de Longitud Oeste, cuya superficie se emplaza entre los cantones Tulcán, Espejo y Mira, e involucra a las parroquias Maldonado, El Chical, Jacinto Jijón y Caamaño, y El Goaltal (Figura 1). Desde el punto de vista hidrológico, abarca el área de drenaje de varios ríos relevantes como el Mira y San Juan (Fundación ALTROPICO, 2015).

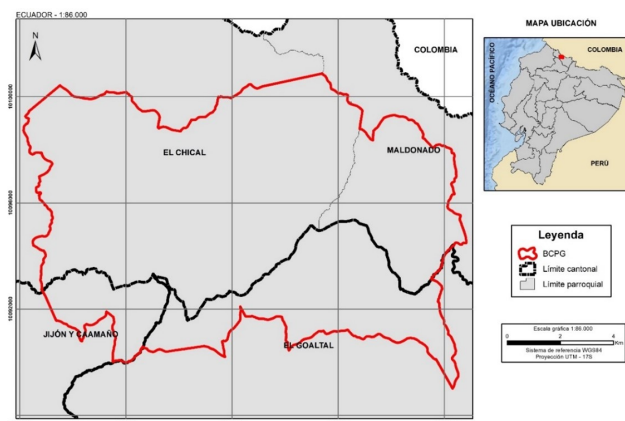


Fig. 1: Mapa de ubicación del Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG).

Fuente: elaboración propia

El Cerro Golondrinas fue declarado en el año 1995 como bosque protector por el INEFAN, actualmente Ministerio del Ambiente, mediante el Acuerdo 005 del 31 de enero. Alcanza una superficie de 14062 hectáreas aproximadamente, aunque el trabajo realizado por el Centro de Información Ambiental (CIAM - MAE) y el grupo de apoyo institucional en 2005 determinaron in situ que tiene una superficie de 13.509 hectáreas (área usada para fines de este estudio), es decir 553 hectáreas menos de lo que consta en la declaratoria inicial, cuyos límites se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Límites del Bosque Protector Cerro Golondrinas.

Punto	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0°54' 52"	78°07' 46"
2	0°48' 25"	78°05' 08"
3	0°51' 26"	78°04' 52"
4	0°51' 38"	78°14' 01"

Fuente: (Fundación ALTROPICO, 2015)

El Bosque Protector Cerro Golondrinas se encuentra dentro de la Región Biogeográfica del Chocó; constituye un espacio clave en el Corredor Biológico Multi-altitudinal Chiles – Mataje, que comienza en la Reserva Ecológica el Ángel a 4.000 m.s.n.m., e incluye la Comuna Indígena La Esperanza y el Territorio Indígena Awá, terminando en el cantón San Lorenzo de la Provincia de Esmeraldas, a 80 m.s.n.m. con

una temperatura promedio anual de 22,9 °C. Entre los aspectos biológicos se destacan la flora, fauna y ecosistemas propios del área, que permiten el desarrollo de muchas especies endémicas. Gran parte de esta área protegida corresponde a Bosque Siempreverde Montano Bajo (1.300-1.800 msnm) y en menor porcentaje a una transición entre Bosque Siempreverde Montano Bajo (1.800-3.000 m.s.n.m.) y Bosque de Neblina Montano (3.000-3.400 msnm) (Fundación ALTROPICO, 2015).

Socialmente, las poblaciones de las parroquias Chical, Maldonado, Jijón y Caamaño y El Goaltal comparten necesidades de desarrollo similares en la zona de intervención. Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura y ganadería. El 15 % de la población que trabaja tiene actividades agrícolas y ganaderas, el 67 % de la población son jornaleros de las diferentes actividades agrícolas, el 6 % son empleados formales asalariados y el resto pertenecen a otras actividades productivas entre las que están la explotación maderera y el comercio. La presión ejercida por colonos sobre el área, la deforestación y la ampliación de fronteras agropecuarias, constituyen los más apremiantes problemas que afectan actualmente al bosque protegido (Fundación ALTROPICO, 2015).

Métodos de valoración de la economía ambiental

En función de los aspectos ambientales y socioeconómicos característicos del BPCG, se definieron las metodologías a utilizar, así como los bienes y servicios a ser valorados. En este caso, se utilizaron métodos basados en valores de mercado y precios de mercado (α) para la captura y almacenamiento de carbono (CAC), y la extracción de madera (EM), mientras que costo de oportunidad (β) fue usado para la provisión de agua de riego (PAR), la provisión de agua para consumo humano (PACH), y el uso de suelo para producción de leche (USPL). Finalmente, la transferencia de beneficios (δ) se consideró para la preservación de la biodiversidad (PB) y la belleza escénica (BE). Matemáticamente, la valoración de los servicios ambientales (VSA) del BPCG se puede expresar de la siguiente forma (Palacios & Rodríguez, 2021):

$$VSA = \sum \alpha + \beta + \delta \quad (1)$$

$$\alpha = CAC + EM \quad (2)$$

$$\beta = PAR + PACH + USG \quad (3)$$

$$\delta = PB + BE \quad (4)$$

Además, para la cuantificación de los bienes y servicios mencionados fue necesario obtener información secundaria de diversas fuentes, en su mayoría entidades públicas del Ecuador y otras de organismos internacionales. En cuanto a la captura y almacenamiento de carbono y la extracción de madera se usaron datos oficiales del MAATE, el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) (MAE, 2010; MAE & FAO, 2014) y la Corporación de Manejo Forestal Sustentable (COMAFORS) (COMAFORS, 2010); por su parte, para la provisión de agua de riego, agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche y el turismo, se consideraron datos del Gobierno Autónomo Descentralizado del Carchi (GAD Carchi) (GAD Carchi, 2019), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (MAGAP, 2011,

2013, 2014), de la anterior Secretaría del Agua (SENAGUA) (Secretaría del Agua, 2017), el Sistema Nacional de Información (SNI) y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (INEC, 2012, 2016). Por último, para la preservación de la biodiversidad se utilizó información de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Izco & Burneo, 2003).

Precios de Mercado

El método se basa tanto en los precios de mercado como en la cantidad/calidad de información relacionada para derivar valores totales. Muchos de los bienes y servicios de los bosques se negocian en mercados organizados en ámbitos locales e internacionales, en los que se incluyen productos maderables (madera y leña para combustible) y no-maderables (alimentos, medicinas, artesanías, etc.), que son relacionados con cultivos, ganadería, cacería, pesca y recreación (Izco & Burneo, 2003).

a) Captura y Almacenamiento de carbono (CACI)

Este servicio se deriva del importante rol que cumplen los bosques en el ciclo natural del carbono a nivel mundial, ya que capturan el CO_2 de la atmósfera y liberan O_2 mediante la fotosíntesis, almacenando componentes de carbono en su estructura vegetal (Percy et al., 2003). Los bosques, al igual que el suelo y los océanos, son considerados sumideros de carbono naturales que permiten mantener en equilibrio la composición química de la atmósfera, sin embargo, debido a la intensificación de ciertas actividades antrópicas (cambio de cobertura y uso de suelo, quema de combustibles fósiles, etc.), su capacidad de intercambio de carbono con la atmósfera se ha visto alterada, lo cual contribuye a agravar el problema del cambio climático (IPCC, 2000).

Para la obtención de la cobertura del suelo, se trabajó con imágenes Sentinel 2A de noviembre de 2020 (fecha más reciente de escena libre de nubes en el área de estudio), a la cual se aplicaron correcciones radiométricas y atmosféricas previo a realizar la clasificación supervisada para evitar errores en la identificación de coberturas (Arellano et al., 2020; Cepeda et al., 2018; Palacios et al., 2021). El tratamiento de la imagen satelital y la clasificación fueron realizadas en el software QGIS con el plugin Clasificación Semi-automática (SCP, del inglés Semi-Automatic Classification Plugin), en el que se usó el método de Máxima Verosimilitud para la determinación de las diversas coberturas existentes, debido a su buen desempeño en zonas heterogéneas (Arellano et al., 2019). En la Tabla 2 se muestra la superficie calculada de cada cobertura del suelo en el bosque protector.

Tabla 2: Coberturas del suelo dentro del Bosque Protector Cerro Golondrinas, Carchi, Ecuador.

Cobertura del suelo	Superficie	
	Hectáreas	Porcentaje (%)
Bosque	12.243,04	90,63
Cultivo	103,75	0,77
Pastizal	1.158,01	8,57
Vegetación arbustiva	0,24	0,00
Otros	3,96	0,03
Total	13.509,0	100

Para estimar la captura anual de CO_2 es necesario conocer el valor total y promedio de carbono almacenado por estrato de bosque en el Ecuador continental. La relativa homogeneidad vegetal del estrato, su cobertura, su estado de conservación y principalmente la densidad de árboles explican el valor de carbono por hectárea (Brown, 2002). Una vez identificado el tipo de estrato al que pertenece el bosque a analizar y su área, es necesario investigar el estado del mercado de carbono, el cual asigna un precio por tonelada almacenada, que permitiría estimar un valor total a las reducciones de carbono generadas por el bosque (MAE & FAO, 2014). El valor de carbono capturado y almacenado, según la metodología planteada por Domínguez (2016), viene dado por la siguiente ecuación:

$$CO_{2capturado} = CC * CV \quad (5)$$

Donde CC: Promedio de almacenamiento de CO_2 por ha (t/ha); CV: Área del bosque (ha). En función del resultado obtenido en la ecuación (5), y del precio de mercado de carbono, se procede a calcular el valor de este servicio mediante la expresión:

$$Valor_{CAG} = CO_{2capturado} * PCO_2 \quad (6)$$

Donde P CO_2 : Precio por tonelada almacenada de carbono (\$/t).

b) Extracción de madera (EM)

La utilización de la madera es clave para el desarrollo de la sociedad ecuatoriana. El debilitamiento del sector representa un peligro de desestabilización en la economía, debido a las interrelaciones productivas existentes y a la generación de empleo directo e indirecto de muchos finqueros, comunidades indígenas, asociaciones de propietarios pequeños y empresas que dependen del bosque para su sustento económico (COMAFORS, 2010). En Ecuador, la mayor parte de la madera que se consume proviene de plantaciones forestales, seguida de aquella madera proveniente de formaciones pioneras, sistemas agroforestales y bosques naturales (MAE, 2010).

Para determinar el precio de la extracción de madera, se debe conocer el aprovechamiento forestal autorizado promedio en una superficie de bosque nativo (el cual está en función del tipo de ecosistema existente), que varía de acuerdo a la provincia a la que pertenece, posteriormente se determina el área del bosque apta para esta actividad de extracción de madera, y finalmente se indaga el precio de mercado que se le asigna al volumen de madera extraído de un bosque nativo (MAE, 2010). A partir de esos datos, se determina la fórmula para determinar el valor de aprovechamiento forestal (7) y valorar la extracción de madera (8).

$$Ap_{Forestal} = \frac{V_{aprobado}}{S_{autorizado}} \quad (7)$$

Donde $Ap_{Forestal}$: Volumen madera aprobada para aprovechamiento forestal por hectárea (m^3/ha); $V_{aprobado}$: Volumen de madera aprobado; $S_{autorizado}$: Superficie autorizada.

$$Valor_{EM} = Ap_{Forestal} * A * P_{madera} \quad (8)$$

Donde A: Área del bosque (ha) y P_{madera} : Precio de mercado de la madera (\$/ m^3).

Costo de Oportunidad

Este método se basa en la idea de que los costos de utilizar un recurso para ciertas actividades que no son comercializados o no tienen precios establecidos en un mercado, pueden ser estimados usando como aproximación la variable ingreso perdido (o no recibido) por dejar de utilizar el recurso frente a otros usos alternativos que sí tienen precios de mercado (Izco & Burneo, 2003).

c) Provisión de agua de riego (PAR)

El agua de riego es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. Las características geosociales, hidrológicas, agroproductivas y culturales del país presentan perspectivas muy importantes para el desarrollo de la agricultura, donde el desarrollo integral del riego constituye uno de los medios fundamentales para lograrlo; no obstante, se requiere de un aprovechamiento óptimo, considerando su escasez en algunas zonas del país (MAGAP, 2011). El BPCG dentro de su extensión, es el hogar de cinco microcuencas cuyas zonas de recarga hídrica se encuentran circunscritas en la parte alta de esta área protegida, lo cual realza la importancia de proteger y cuantificar el servicio ambiental que existe. Las microcuencas de los ríos Pablo, Cumbe, Plata, Río Blanco y Gualpi son las que se emplazan en el bosque protector, como se observa en la Figura 2.

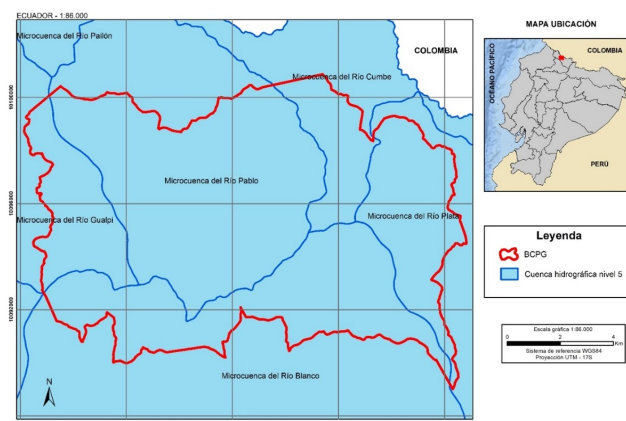


Fig. 2: Mapa de microcuencas intersecantes con el Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG).

Fuente: elaboración propia.

En la valoración económica del servicio de provisión de agua de riego, fue necesario conocer el caudal promedio de riego y las hectáreas que fueron regadas, con la finalidad de obtener un caudal de riego promedio por hectárea anualmente, además de conocer el área que se vería beneficiada de este servicio, y una tarifa que determine un precio para cierto volumen de agua de acuerdo con el uso y aprovechamiento de riego. Mediante estas variables, se determina la siguiente relación:

$$Q_{riego} = \frac{Q_{prom}}{A_{regada}} \quad (9)$$

Donde Q_{prom} : Caudal promedio de riego (L/s) y A_{regada} : Área regada anualmente (ha). Una vez obtenido el caudal de riego promedio anual, se procede a calcular el valor total, mediante la ecuación:

$$V_{PAR} = Q_{riego} * A * T \quad (10)$$

Donde Q_{riego} : Caudal promedio de riego anual por hectárea ($m^3/año/ha$); A: Superficie beneficiada por el riego (ha) y T: Precio a pagar por el consumo de un volumen de agua ($\$/m^3$).

d) Provisión de agua para consumo humano (PACH)

El agua es un elemento importante para la vida, pero lamentablemente no siempre se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano; por ello, una educación ambiental e información sobre los peligros del consumo de agua contaminada es vital para proteger la salud de la población (Carrera, et al., 2021).

En cuanto al PACH, fue necesario conocer variables como el consumo mensual promedio de agua potable por familia en la respectiva provincia, el número de personas por familia y obtener el consumo promedio de agua potable por persona al año, el total de habitantes que se verían beneficiados por ese bien, y la tarifa que determine un precio para cierto volumen de agua de acuerdo con el uso y aprovechamiento de consumo humano. Finalmente, la expresión matemática para determinar su valor se resume en la ecuación (11):

$$V_{PACH} = P_{persona} * P * T \quad (11)$$

Donde $P_{persona}$: Consumo de agua anual promedio de una persona ($m^3/hab/año$); P: Habitantes beneficiados del servicio (hab) y T: Precio a pagar por el consumo de un volumen de agua ($\$/m^3$).

e) Uso de suelo para producción de leche (USPL)

En el contexto del presente estudio, el uso del suelo se refiere a la categoría de utilización de las tierras en el sector rural del país, generalmente relacionado con actividades como la ganadería y agricultura por la aptitud agrícola del suelo (Palacios et al., 2018, 2020). La ganadería es una actividad económica muy importante a nivel del país, principalmente centrada en el ganado vacuno (MAGAP, 2014).

Valorar el uso de suelo mediante la actividad ganadera, y en específico en la producción de leche de ganado vacuno, es un procedimiento ampliamente usado, ya que permite relacionarlo directamente con el ingreso económico potencial de cierto territorio (Palacios & Rodríguez, 2021). Para ello es necesario conocer variables como el promedio de litros de leche que una vaca produce en el día, el número de cabezas de ganado vacuno o carga animal por hectárea, el área destinada a ese tipo de actividad y finalmente un precio definido por litro de leche. De acuerdo a estos datos, se puede determinar la siguiente expresión:

$$V_{USG} = C_{animal} * A * P_{leche} * R_{leche} \quad (12)$$

Donde C_{animal} : Carga animal (vaca/ha); A: Superficie destinada a esa actividad (ha); P_{leche} : Precio del litro de leche ($\$/L$) y R_{leche} : Rendimiento de una vaca en litros de leche (L/vaca/día).

Transferencia de Beneficios

Este es un método relativamente sencillo y es aplicable para aquellos recursos forestales que no tienen mercado o que son utilizados directamente. El valor puede ser calculado

a partir del precio de mercado de bienes similares o el valor de la mejor alternativa o bien sustituto (King et al., 2016). El alcance para el cual el valor del bien de mercado alternativo refleja el valor del bien ambiental en cuestión depende del grado de similitud o sustitución entre ellos (Izco & Burneo, 2003).

f) Preservación de biodiversidad (PB)

La biodiversidad cumple una gran variedad de funciones en el ecosistema y puede, a la vez, producir innumerables beneficios por su riqueza como fuente de materia prima e ingredientes para la producción química, industrial y de medicamentos. Asignar un precio para la preservación de la biodiversidad es muy complicado; sin embargo, estudios diversos a través de la relación con medidas de biodiversidad permiten obtener un valor promedio de lo que las personas estarían dispuestas a pagar por la preservación de una hectárea del bosque (González, 2015). Esto se puede traducir matemáticamente mediante la ecuación:

$$V_{PB} = P_{bio} * A \quad (13)$$

Donde: P_{bio} : Precio estimado a pagar por la preservación de una hectárea del bosque ($\$/ha$) y A: Superficie del bosque (ha).

g) Belleza escénica (BE)

Este servicio hace alusión a las cualidades estéticas y la variedad casi ilimitada de paisajes, cuyo entorno natural permiten realizar diversas actividades recreativas (senderismo, pesca, investigación de la naturaleza, etc.) (de Groot et al., 2002). En tal sentido, los diversos ecosistemas individuales y su conjunto constituyen un atractivo con gran potencial futuro para el ecoturismo debido al aumento en la demanda de actividades recreativas en zonas naturales (Izco & Burneo, 2003).

Una de las metodologías más utilizadas para determinar el valor de este servicio es el Modelo de Costo de Viaje; sin embargo, para ello es necesario contar con información acerca de los visitantes, sus ingresos, la disponibilidad a pagar y los lugares de donde visitan, cuyos datos son levantados mediante encuestas o entrevistas, de tal manera que se genere información confiable (Játiva, 2019).

RESULTADOS

a) Captura y Almacenamiento de carbono (CAC)

El 66,45 % del Bosque Protector Cerro Golondrinas corresponde a un ecosistema Bosque siempreverde montano de la Cordillera Occidental de los Andes (el resto de superficie corresponde a zonas intervenidas y sin información), cuyas características ingresan dentro de la categoría de un estrato Siempreverde Andino Montano que presenta un almacenamiento promedio de carbono de 125,3 t/ha (MAE & FAO, 2014). Según la superficie calculada de las coberturas del suelo existentes en el BPCG (Tabla 2), el bosque natural abarca 12.243,04 ha aproximadamente. Acorde con información oficial del MAE y FAO (2014), para el año 2013 se reportó que la tonelada de reducciones de CO_2 transada para proyectos de manejo forestal sostenible tuvo una media de

7,3 \$/t. Al reemplazar estos valores en las ecuaciones (5) y (6), se obtiene un valor económico de 11.198.586,26 dólares americanos.

b) Extracción de madera (EM)

La forma de explotación forestal en el BPCG y zonas aledañas se realiza en la mayoría de los casos de una manera ilegal y en baja escala, sin respetar las normas y disposiciones referentes a la tala y comercialización de la madera (Fundación ALTROPICO, 2015). La provincia de Carchi es donde se encuentran ubicada esta área protegida, y que según con el MAE (2010), anualmente posee un volumen aprobado de madera de 148,46 m³ y una superficie autorizada de 8 ha; además, en función de la cobertura del suelo descrita en la Tabla 2, se tiene un área total de 12.243,04 ha. Estudios realizados por COMAFORS (2010), en términos de economía ecuatoriana, consideran un precio promedio de 55 \$/m³. En función de estos datos se procede a aplicar las ecuaciones (7) y (8) respectivamente, para obtener un valor final de 12.496.011,81 dólares americanos.

c) Provisión de agua de riego (PAR)

En la provincia de Carchi, en su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019 – 2023, se señala un total de 156 sistemas de riego en su territorio, en los que se han concesionado 12.452,92 L/s para regar una superficie aproximada de 38.211 ha (GAD Carchi, 2019). Con estos datos, se resuelve la ecuación (9) para obtener un caudal promedio de 0,33 L/s/ha, que expresado en otras unidades equivale a 10.406,88 m³/año/ha. El área que necesitaría del servicio PAR se calculó en función de las coberturas del suelo de cultivos, pastizales y vegetación arbustiva, que resultan una sumatoria de 1.262 ha de superficie (acorde a la Tabla 2). Finalmente, de acuerdo con las tarifas por los usos y aprovechamientos de agua definidos por un estudio realizado en 2017 por la anterior SENAGUA, se calcula que para riego es suficiente un caudal inferior a 0,5 L/s, con una tarifa de 0,00007 \$/m³ (Secretaría del Agua, 2017). A partir de esos datos, se determina el valor total de este servicio al sustituir los valores en la ecuación (10), resultando en 919,34 dólares americanos.

d) Provisión de agua para consumo humano (PACH)

El BPCG constituye la fuente de agua dulce más importante para las 4 parroquias que lo rodean (Maldonado, El Chical, Jacinto Jijón y Caamaño, El Goaltal). En Carchi, de acuerdo con estadísticas del INEC, se determina que el consumo mensual promedio de agua por familia es de 26,38 m³/familia, además se verifica que el número de personas promedio en una familia para las cuatro parroquias es de 4 personas; por lo tanto, se obtiene un consumo mensual de 6,6 m³/hab y anual de 79,14 m³/hab. Además, el número de habitantes en las cuatro parroquias es de 7.948 (INEC, 2012). Finalmente, según las tarifas por los usos y aprovechamientos de agua definidos por la anterior SENAGUA, para consumo humano se cobra una tarifa de 0,00007 \$/m³ (Secretaría del Agua, 2017). Con esta información se procede a aplicar la ecuación (11) de forma directa, para obtener un total de 44,03 dólares americanos.

e) Uso de suelo para producción de leche (USPL)

Para la provincia de Carchi, acorde a las estadísticas del PDOT 2019 – 2023, se establece una producción diaria de leche de 379.916 litros, con un rendimiento diario de 11 L/vaca, con una carga animal promedio de 1,1 vaca/ha. Además, acorde a la realidad actual de la provincia, se define un precio mínimo de sustentación de litro de leche pagado al productor de finca o acopio en 0,41 \$/L (GAD Carchi, 2019). Al reemplazar estas cifras en la ecuación (12), y conforme la superficie de pastizales implantados (1.158,01 ha) dentro del bosque protector, los cuales son muestra de la presión antrópica en el área natural, resulta un valor de 5.744,89 \$/día, lo cual, si es proyectado al año, se transforma en un valor final de 2.096.884,85 dólares americanos.

f) Preservación de biodiversidad (PB)

Según un estudio realizado por Simpson, Sedjo y Reid (1996), donde se evalúa la biodiversidad por uso en investigación farmacéutica en 18 sitios biodiversos (hotspots), mediante el uso de un modelo combinado con una medida de la diversidad en especies, y variables como el número y porcentaje de especies endémicas, se determina el valor de la máxima disponibilidad a pagar para preservar una hectárea de tierra de estos sitios biodiversos, donde el mayor precio se lo asigna al bosque occidental del Ecuador con un valor de 20,54 \$/ha. En base a este estudio y al considerar como referencia el total de superficie del bosque natural en el BPCG (12.243,04 ha), se sustituyen los valores en la ecuación (13) para cuantificar la preservación de la biodiversidad en 251.472,04 dólares americanos.

g) Belleza escénica (BE)

En el caso del BPCG, no se encontró información específica acerca de un estudio que valore como tal la belleza escénica (turismo) del lugar; sin embargo, dentro del Plan de Manejo Ambiental del bosque protector, existe una sección donde se observa un registro de bancos comunitarios con número de participantes desagregado por género, donde se especifican los capitales de dinero que son invertidos por ciertas comunidades. En este caso, para la comunidad Tufiño se realizan créditos de 3.173,1 dólares americanos destinados al turismo comunitario (Fundación ALTROPICO, 2015), cuyo valor puede ser considerado para transferir los beneficios de este servicio a valores monetarios de esta área natural.

En la Tabla 3 se resumen los valores económicos calculados de los servicios ecosistémicos del BPCG, donde se puede observar que la explotación de madera es la que más aporta en valor monetario a la cuantificación de los servicios presentes en el bosque protector objeto de estudio, seguido de la captura y almacenamiento de carbono, que en conjunto representan el 90,94 % del valor total estimado.

DISCUSIÓN

Los servicios ecosistémicos analizados en la presente investigación se podrían asumir como los más representativos de cuantificar en el contexto nacional, según estudios desarrollados por Vallejo & Rodríguez (2015) y Astudillo & Rodríguez (2020). Estos servicios además de demostrar

Tabla 3: Valor económico de los servicios económicos del Bosque Protector Cerro Golondrinas, Carchi, Ecuador.

Servicio ecosistémico	Valor económico	Porcentaje (%)
Captura y Almacenamiento de carbono	11.198.586,26	42,994
Extracción de madera	12.496.011,81	47,975
Provisión de agua de riego	919,34	0,004
Provisión de agua para consumo humano	44,03	0,000
Uso de suelo para producción de leche	2.096.884,85	8,050
Preservación de biodiversidad	251.472,04	0,965
Belleza escénica	3.173,1	0,012
Total	26.047.091,43	100

el potencial ambiental – científico – turístico, contribuyen al desarrollo económico sostenible de las comunidades circundantes al bosque protector, lo cual se ve reflejado en la valoración económica de sus bienes y servicios ambientales con un monto de 26.047.091,43 dólares americanos, un valor muy significativo para una extensión relativamente pequeña del bosque protector, comparado con otras áreas naturales.

La explotación de madera, la captura y almacenamiento de carbono y el uso del suelo para ganadería fueron los servicios ambientales con mayor valor económico del BPCG; estas cifras a su vez reflejan que el valor monetario se concentra en los servicios provenientes del bosque (CA y EM) y suelo (USG), al contrario de lo que sucede con las cantidades obtenidas para el PAR y PACH, siendo este último el servicio que menor valor económico reveló (44,03 dólares). Esto puede deberse a que en Ecuador, el valor por consumo de agua está en función al caudal de consumo, y al estar por debajo del umbral de consumo (<0,5 L/s para el riego productivo), su valor monetario resultante es ínfimo; sin embargo, esto no significa que dichos servicios sean menos importantes. Autores como Postel y Thompson (2005), mencionan que el servicio de almacenamiento o purificación de agua está entre los más significativos que un área natural brinda; por tanto, los valores monetarios obtenidos tanto del PAR y PACH, al estar condicionados a tablas de consumo establecidas por la entidad nacional que consideran al consumo del agua para un uso y aprovechamiento de riego como un producto prácticamente gratis, distorsionan el verdadero potencial del servicio (Palacios & Rodríguez, 2021). Desde el punto de vista social, el servicio de almacenamiento o purificación de agua está entre los más importante que ofrece un área protegida (Piaggio & Siikamäki, 2021).

La captura y almacenamiento del carbono es uno de los servicios más estudiados y actualmente muy cotizados, debido a los mercados de carbono impulsados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, conformando así un mecanismo para la mitigación del cambio climático (Palacios et al., 2019). Ecuador ha empezado en años recientes con iniciativas como REDD+ a través de programas como PROAmazonía, que buscan incursionar en este tipo de mercados internacionales, colocando al país como un posible beneficiario de estos “bonos verdes” que son buscados por los países desarrollados; sin embargo, los parámetros requeridos para acceder a estas iniciativas son muy exigentes. Mercados como el CER (Certified Emission Reductions) y EUA (European Union Allowances) figuran entre los más destacados, donde se establece un valor de \$ 16,96 y \$ 0,26 por tonelada de CO_2 emitido, para EUA y CER respectivamente; además, según el “Estado y tendencias de la fijación de precios del carbono 2021” del Banco Mundial, los precios del carbono

están en un rango entre menos de 1 y 119 \$/t CO_2 , donde la mitad de las emisiones son cubiertas a un precio inferior a 10 \$/t CO_2 (World Bank, 2021), cubriendo el rango de los principales mercados de carbono antes mencionados. Ecuador no cumple los requisitos para el mercado de la EUA pero sí del CER, por ello en este estudio se consideró el valor del contexto nacional, concordando con el rango señalado por los precios internacionales del Banco Mundial.

A pesar de contar con instrumentos de gestión y planificación, como el plan de manejo ambiental y los planes de ordenación del territorio respectivamente, todavía persiste a nivel nacional la falta de articulación entre estos insumos, ya que muchas de las veces no son consideradas las zonificaciones ni usos dentro de estas áreas naturales en los PDOT, debido a su naturaleza no vinculante (Palacios & Carpio, 2021). Es por ello que este tipo de estudios técnico – científicos son de gran importancia para evidenciar la riqueza natural que guardan las áreas naturales del Ecuador, y tomar las medidas del caso, como políticas públicas u ordenanzas que permitan implementar mecanismos de protección y desarrollo sostenible (ejemplo: tasas verdes, impuesto por mantenimiento de microcuencas, u otros pagos por servicios ecosistémicos), que coadyuven a reducir el impacto antrópico sobre estas.

CONCLUSIONES

La valoración de los servicios ecosistémicos del BPCG se estimó en aproximadamente 26.047.091,43 dólares americanos, lo cual representa un valor considerable que resalta la importancia de su conservación y protección.

Mediante la aplicación de distintas metodologías como precios de mercado, costo de oportunidad y transferencia de beneficios fue posible valorar económicamente los servicios ambientales, siendo particularmente útil la transferencia de beneficios para solventar la escasez de información en áreas naturales del Ecuador, cuya investigación necesita profundizar aún más para llegar a un desarrollo sostenible.

Los servicios ambientales con mayores cifras monetarias determinadas para el BPCG provienen directa o indirectamente del bosque (captura y almacenamiento de carbono, y explotación de madera), lo cual coincide con la tendencia mundial de los mercados de carbono, por lo que con este tipo de investigación se demuestra el gran potencial de las reservas naturales del país orientadas a esas iniciativas internacionales.

Para valorar económicamente el medioambiente es necesario contar con un indicador que represente su importancia en el bienestar de la sociedad. En la actualidad, el indicador común que permite estimar el valor real de servicios ecosistémicos y llamar la atención de los tomadores de decisión es el dinero, un idioma bien entendido y que con políticas públicas claras puede ser un mecanismo viable para la protección de las áreas protegidas del país.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: KDPA y IFPO; metodología: KDPA y IFPO; análisis formal: KDPA y IFPO; investigación: KDPA y IFPO; curación de datos: KDPA y IFPO; redacción - preparación del borrador original: KDPA y IFPO; redacción - revisión y edición: KDPA y IFPO; visualización: KDPA y

IFPO; supervisión: KDPA y IFPO; administración de proyecto: KDPA y IFPO. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Karol Dennise Arellano-Pérez: KDAP; Iván Fernando Palacios-Orejuela: IFPO

FINANCIAMIENTO

El financiamiento fue de procedencia propia.

REFERENCIAS

- Arellano, K., Padilla, P., & Molina, I. (2019). Determinación de zonas propensas al virus de la Mancha Blanca en piscinas camaroneras de la Isla Puná mediante el cálculo de temperatura superficial con algoritmo Split-Window. *Revista Geoespacial*, 16(1), 33-42. doi:10.24133/geoespacial.v16i1.1277
- Arellano, K., Padilla, P., Molina, I., Padilla, O., & Toulkeridis, T. (2020). Evaluation of the Surface Temperature Applied in Aquaculture Based on Satellite Images in Coastal Ecuador. *Information and Communication Technologies. TICEC 2020*. 1307, págs. 572-586. Quito: Springer, Cham.
- Asamblea Nacional. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Quito: Ley 0, Registro Oficial Suplemento 983.
- Astudillo, K., & Rodríguez, F. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Parque Ecológico Recreacional La Perla. *Revista Geoespacial*, 17(1), 39-58.
- Botsch, J., Walter, S., Karubian, J., González, N., Dobbs, E., & Brosi, B. (2017). Impacts of forest fragmentation on orchid bee (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) communities in the Chocó biodiversity hotspot of northwest Ecuador. *Journal of Insect Conservation*, 21, 633-643.
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116(3), 363-372.
- Carrera, D., Palacios, I., Albán, T., Barahona, J., Calderón, D., Casteo, A., & Vega, M. (2021). Variation in drinking water consumption due to the health emergency of SARS-CoV-2 through dynamic modeling in Macas City, Amazon from Ecuador. In: Salgado Guerrero, J.P., Chicaiza Espinosa, J., Cerrada Lozada, M., Berrezueta-Guzman, S. (eds). *Conference On Information and Communication Technologies. TICEC 2021*. 1456. Springer, Cham.
- Cepeda, M., Palacios, I., Tierra, A., & Kirby, E. (2018). Multiresolution analysis in the visible spectrum of Landsat-TM images through Wavelet Transform. *Geographia Technica*, 13(1), 20-29.
- COMAFORS. (2010). El Bosque en el Ecuador: Una visión transformada para el desarrollo y la comunicación. Corporación de Manejo Forestal Sustentable, Quito.
- de Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- Domínguez, A. (2016). Estimaciones de la Captura de Carbono de los Parques en Tijuana. Colegio de la Frontera Norte, Tijuana.
- Fundación ALTROPICO. (2015). Bosque Protector Cerro Golondrinas 2015 - 2020. Tulcán: GAD Provincial Carchi - Fundación ALTROPICO.
- GAD Carchi. (2019). Plan de Desarrollo y ordenamiento Territorial de la Provincia del Carchi 2019-2023. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Carchi, Tulcán.
- González, L. (2015). Diagnóstico para la valoración de biodiversidad y servicios ecosistémicos del Humedal El Burro. Bogotá: Tesis de grado: Universidad Militar Nueva Granada.
- INEC. (2012). Información Ambiental de Hogares. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito.
- INEC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ecuador.
- IPCC. (2000). Informe especial del IPCC: Uso de la Tierra, cambio de uso de la Tierra y Silvicultura. Resumen para responsables de políticas. Montreal: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Izco, J., & Burneo, D. (2003). Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), Oficina Regional para América del Sur. Quito: Programa de Conservación de Bosques UICN-Sur.
- Játiva, M. (2019). Utilización del método costo de viaje para la valoración económica de los usos recreativos del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras. Quito: Tesis de grado: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- King, S., Fraser, I., & O'Hanley, J. (2016). Benefits transfer and the aquatic environment: An investigation into the context of fish passage improvement. *Journal of Environmental Management*, 183, 1079-1087.
- MAE & FAO. (2014). Evaluación Nacional Forestal Resultados. Ministerio del Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Quito.
- MAE. (2010). Ministerio del Ambiente del Ecuador: Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador y Procesos de Infracciones y Decomisos. Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- MAE. (2018). Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.
- MAGAP. (2011). Plan Nacional de Riego y Drenaje. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Latacunga.
- MAGAP. (2013). Acuerdo número 394. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Quito.
- MAGAP. (2014). Plan Estratégico. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Quito.
- Orellana, J., & Lalvay, T. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 14(1), 65-79.
- Palacios, I. (2020). Generación de un modelo de crecimiento tendencial urbano de la ciudad de Macas (Ecuador) al año 2030, mediante técnicas de modelación espacial multivariable. Barcelona: Tesis de maestría: Universitat de Barcelona.
- Palacios, I., & Arellano, K. (2021). Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el Área de Conser-

- vacación Municipal Quilamo – Cantón Morona. *Revista Geoespacial*, 18(1), 1-13.
- Palacios, I., & Carpio, D. (2021). Sistema de Información Local, una herramienta para la planificación territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, 18(2), 1-17.
- Palacios, I., & Rodríguez, F. (2021). Economic valuation of environmental goods and services of the Protector Forest Kutukú – Shaimi, SE Ecuador. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*, 27(2), 117-132.
- Palacios, I., Castro, S., & Rodríguez, F. (2019). Almacenamiento de carbono como servicio ambiental en tres reservas naturales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, 16(1), 1-14.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2018). Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13 (1), págs. 9-12. Sangolquí.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2020). Técnicas SIG para recuperación de suelos cangahuosos, con fines de agricultura comunitaria en el Ilaló. *Ciencia del Suelo*, 38(2), 295-309.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2021). Pixel Purity Index Applied to the Mapping of Degraded Soils by the Presence of Cangahuas in the Ilaló Volcano, Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(5), 2121-2127.
- Percy, K., Jandl, R., Hall, J., & Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Vienna: Agencia Federal y Centro de Investigación Forestal.
- Pérez, O., Lucas, E., Jaramillo, C., Monro, A., Morris, S., Bogarín, D., Antonelli, A. (2019). The Origin and Diversification of the Hyperdiverse Flora in the Chocó Biogeographic Region. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1328.
- Piaggio, M., & Siikamäki, J. (2021). The value of forest water purification ecosystem services in Costa Rica. *Science of The Total Environment*, 789, 147952.
- Postel, S., & Thompson, B. (2005). Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, 29(2), 98-108.
- Puente, C. (2008). La legislación de los bosques y vegetación protectores privados en el Ecuador, su relación con las normas vinculadas a la función social de la propiedad. FLACSO. Quito: Abya-Yala.
- Rivera, E., Dávalos, R., & Lascrain, M. (2013). A holistic vision on sustainable forest management for the 21st century. En A. Yáñez, R. Dávalos, J. Day, & E. Reyes, *Ecological Dimensions for Sustainable Socio Economic Development* (págs. 537-556). Southampton: WIT Press.
- Secretaría del Agua. (2017). Acuerdo Ministerial No. 2017-0010 que reforma el Acuerdo Ministerial No. 2017-1522 de 23 de mayo de 2017. Quito: Suplemento - Registro Oficial Año I - N° 69
- Simpson, R., Sedjo, R., & Reid, J. (1996). Valuing Biodiversity for Use in Pharmaceutical Research. *The Journal of Political Economy*, Vol 104(No 1), pp. 163-185.
- Vallejo, J., & Rodríguez, F. (2015). Valoración de los beneficios que genera el Parque Metropolitano de Quito. *Revista Geoespacial*(12), 1-14.
- Vázquez, M. (2019). El desarrollo sostenible a través de empresas sociales en comunidades indígenas de América Latina. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53), 2-22.
- World Bank. (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. Washington DC: 2021 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

Vascular Flora of Dry Scrub in Southern Ecuador

Flora Vasculare del Matorral seco del sur del Ecuador

Omar Cabrera-Cisneros^{1,*}, Fani Tinitana¹, Nixon Cumbicus¹ y Anibal Prina²

¹ *Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto, Calle París s/n, Casilla postal 11 01 608, Loja, Ecuador.*

² *Cátedra de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa 6300. Casilla Postal 300, La Pampa, Argentina, Programa Prometeo, SENESCYT, Ecuador.*

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

Fecha de recepción del manuscrito: 06/04/2022

Fecha de aceptación del manuscrito: 15/08/2022

Fecha de publicación: 29/12/2022

Abstract—This study lists dry scrub species that grow in western lowlands and interandean valleys in south Ecuador. Using material from field trips spanning over two years, we were able to identify 314 species belonging to 71 families and 221 genera. The most diverse families are Asteraceae (33 spp.), Fabaceae s.l. (27 spp.) and Poaceae (19 spp.). The most diverse genera are *Croton* (8 spp.), *Euphorbia* (6 spp.), *Oxalis* (5 spp.) and *Senna* (5 spp.). 7.01 % of the flora (22 spp.) is endemic to the study area, and 6.4 % (20 spp.) is adventive. The dominant life form is hemycryptophyte with 85 species (27.1 %). Epiphytes, with 6 species, are the life form with fewer species (1.9 %). The work contributes to the knowledge about plant diversity that is highly noticeable in southern Ecuador.

Keywords—Live forms, Loja, Andean valleys, Dry vegetation.

Resumen—Este estudio enumera las especies que conforman el matorral seco en las tierras bajas occidentales y los valles interandinos en el sur de Ecuador. En un lapso de más de dos años, identificamos 314 especies pertenecientes a 71 familias y 221 géneros. Las familias más diversas son Asteraceae (33 spp.), Fabaceae s.l. (27 spp.) y Poaceae (19 spp.). Los géneros más diversos son *Croton* (8 spp.), *Euphorbia* (6 spp.), *Oxalis* (5 spp.) y *Senna* (5 spp.). El 7,01 % de la flora (22 spp.) es endémica del área de estudio y el 6,4 % (20 spp.) es adventicia. La forma de vida dominante es la hemycryptophyte con 85 especies (27,1 %). Las epífitas, con 6 especies, son la forma de vida con menos especies (1,9 %). El trabajo aporta al conocimiento sobre la diversidad vegetal que es altamente notoria al sur del Ecuador.

Palabras clave—Formas vivas, Loja, Valles andinos, Vegetación seca.

INTRODUCTION

In continental America, there are different dry or seasonally dry plant formations that grow sporadically all over the region. According to Lopez et al. (2006), these formations contain high biological diversity, not only in species richness but also in endemism and life forms. Arid and semi-arid areas currently occupy almost two-fifths of the total global land surface area, and form the living space of more than one billion people (Reynolds, 2001). The arid and semi-arid ecosystems of the world are an ideal place to study ecological adaptations such as intrinsic characteristics: desertification, biodiversity loss, and climate change. These are all phenomena that affect particularly these ecosystems (Reynolds and Stafford Smith, 2002). Seasonally dry plant formations of the Equatorial Pacific region are located in the dry inter-valleys of northern Peru, Bolivia and Ecuador (Espinosa et al., 2012; Pennington et al., 2000). These valleys represent slightly less than 8 % of continental Ecuador, and occur mainly in its southern land, where the terrain is moun-

tainous. The vegetation is usually sparse, isolated, xerophytic, and spiny. It also presents columnar cacti as *Armatoce-reus cartwrightianus* (Britton & Rose) Backeb. ex A.W. Hill and plants with latex as *Croton wagneri* Müll. Arg., *Euphorbia laurifolia* Juss. ex Lam., *Jatropha nudicaulis* Benth., and *Ipomoea carnea* Jacq.

Few taxonomic studies have been conducted in areas within Ecuadorian arid and semi-arid ecosystems, where such vegetation develops. In the last five years, isolated efforts have been made to document the floristic diversity in the dry scrub of Loja and Azuay (the southern provinces), but there are additional studies on the phenology and the distribution of many key species, the breeding methods, and the current conservation status of species (Werner, 2009; Albuja, 2011). This lack of knowledge is accentuated by the conservation status of such areas. For example, dry high areas in the inter-Andean corridor, in general, have been subject to human impact since the pre-hispanic era and are mostly affected by human activities (Aguirre et al., 2006). The few remnants of natural vegetation have received little attention

from botanists and ecologists, thus making it difficult to assess their ecological importance. In addition, this vegetation has traditionally been considered to contain few species with low biodiversity and few plant life forms (La Torre-Cuadros & Linares Palomino, 2008).

Moreover, there is a lack of research on the floristic aspects of the dry scrubland of southern Ecuador. Although there are surveys of vegetation cover (Aguirre *et al.*, 2006; Lozano, 2002), there is a lack of data on the floristic and taxonomic groups that reflect the total species diversity of this ecosystem. On the other hand, shrub vegetation contributes to reducing erosion, which is highlighted in these environments (Gutierrez & Squeo, 2004). For example, the presence of species of dry scrub correlate the conservation status and diversity of the ecosystem with its functionality. Nevertheless, a global study of arid lands around the world has shown that species richness is the most important factor for ecosystems facing global climate change (Maestre *et al.*, 2012). To improve our understanding of plant diversity in southern Ecuador, our goal is to catalog all the existing species in the study areas of dry land scrub, using literature records and extensive field trips.

MATERIALS AND METHODS

Our list includes Pteridophytes, Gymnosperms, and Angiosperms. The collected field data set were: habitats; biotopes; vegetative and reproductive characters; flowers and fruit samples. The collection of all flowering and fruiting species was carried out in different seasons (dry season since May-September and rainy season since October- March) and allowed us to observe the evolution of annual species. Photographs were also taken of botanical specimens. The geographical coordinates of the collection points were recorded. All specimens were deposited in the UTPL Herbarium (HUTPL) and a complete set of the collections will be deposited in the LOJA Herbarium. In addition, the samples were numbered under the serial number of the collection (O. Cabrera, A. Prina *et al.*, 2012). We collected at least two samples of each species. For species with wide distribution, fertile samples were collected from various locations. Botanical specimens were collected through simple collections. The collection sites are shown in Fig.1, some photographs of the collection environment in the provinces of Azuay and Loja are shown in figures 2 – 3.

The identification of the collected samples was carried out at the LOJA Herbarium and the HUTPL Herbarium. This consisted of analyses of general floras, descriptions, monographs and data from online databases (Tropicos 2013; IPNI 2004 and Darwinion 2013) which provided information about synonyms and distribution. The Fabaceae s.l. includes the three subfamilies (Mimosoidea, Caesalpinoidea and Papilionoidea). Scientific names and authors were based on Brummitt and Powell (1992). Status of taxa was based on Jorgensen *et al.*, (1999). When a species was determined and was not cited for Ecuador according to Ulloa - Ulloa & Neill (2005) and Neill & Ulloa - Ulloa (2011), it was considered as a new taxonomic record. The taxa classification was carried out based on Cronquist (1968) and the updating names was carried out in the TROPICOS database, which is based on the APG IV system (APG 2016).

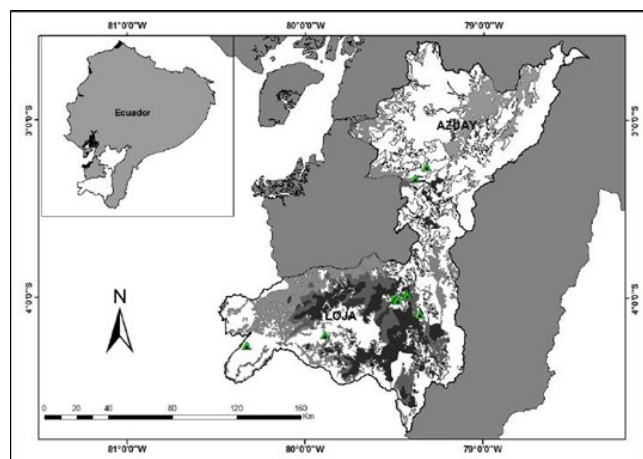


Fig. 1: Location of collection sites.



Fig. 2: León river sector, provincial border between Azuay and Loja.



Fig. 3: Plain dominated by *Croton* ssp. in the "Alamala" sector in the Catamayo canton of Loja province.

Additional life history consisted of the following parameters: A) Origin of the species: we considered three categories: native (Nat), introduced (Intr.) and endemic (End.). B) Taxonomic and nomenclatural remarks. For all species we did not use "synonyms", except in exceptional cases where there was some controversy and unresolved questions in the literature C) Life Forms according to Raunkiaer (1934), C1)

therophytes, C2) geophytes, C3) hemicryptophytes, C4) chamaephytes, C5) phanerophytes, C6) nanophanerophytes, C7) vines, C8) epiphytes.

RESULTS

We identified a total of 314 species belonging to 71 families and 221 genera. The most diverse botanical families are: Asteraceae (33 species), Fabaceae s.l. (26 species), Poaceae (19 species), Euphorbiaceae (18 species), Malvaceae (15 species), Convolvulaceae (13 species), Boraginaceae and Cactaceae (12 species), Verbenaceae (11 species), Amaranthaceae (8 species), Acanthaceae and Pteridaceae (7 species), Polygalaceae and Rubiaceae (6 species), Bignoniaceae, Lamiaceae, Nyctaginaceae, Oxalidaceae, Solanaceae and Sterculiaceae (5 species), Asclepiadaceae, Urticaceae and Orchidaceae (4 species), Bromeliaceae, Cappara-ceae, Caryophyllaceae, Iridaceae, Lythraceae, Onagraceae, Passifloraceae, Polygonaceae, Portulacaceae and Sapinda-ceae (3 species), Aizoaceae, Apiaceae, Apocynaceae, Carica-ceae, Commelinaceae, Cyperaceae, Piperaceae, Plantagina-ceae, Scrophulariaceae and Zygophyllaceae (2 species). The remaining families (28) each have a single species.

The most diverse genera is *Croton* (8 species); other diverse genera are: *Euphorbia* (6 species), *Oxalis* and *Senna* with 5 species, *Alternanthera*, *Ayenia*, *Heliotropium*, *Jacquemontia*, *Opuntia* and *Tournefortia* with 4 species. *Abutilon*, *Armatochloa*, *Convolvulus*, *Cordia*, *Evolvulus*, *Ipomoea*, *Lantana*, *Onoseris*, *Passiflora*, *Polygala*, *Salvia* and *Sida* with 3 species. *Aeschynomene*, *Aloysia*, *Amaranthus*, *Baccharis*, *Barnadesia*, *Boerhavia*, *Bothriochloa*, *Caesalpinia*, *Commelina*, *Cuphea*, *Eragrostis*, *Galium*, *Gaya*, *Malvastrum*, *Mirabilis*, *Monnina*, *Nicotiana*, *Oenothera*, *Paronychia*, *Pellaea*, *Peperomia*, *Phylla*, *Pilea*, *Plantago*, *Rhynchosia*, *Sisyrinchium*, *Stachystarpheta*, *Talinum*, *Tecoma*, *Tillandsia*, *Vasconcellea*, with 2 species. The remaining 168 genera have only one species each (Table 1.)

Tabla 1: Species list from dry scrub of southern Ecuador.

FAMILY/SPECIES	LIFE-FORM	EXAMINED MATERIAL	Origen
LYCOPODIACEAE			
<i>Lycopodium thyoides</i> Humb. & Bonpl. ex. Willd.	Hemycryptophyte	O. Cabrera 1540 HUTPL	Native
PTERIDACEAE			
<i>Cheilanthes bonariensis</i> (Willd.) Proctor	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 538 HUTPL	Native
<i>Notholaena sulphurea</i> (Cav.) J. Sm.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 45, 483, 722 HUTPL	Native
<i>Pellaea sagittata</i> (Cav.) Link	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 980 HUTPL	Native
<i>Pellaea ternifolia</i> (Cav.) Link.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 211, 223 HUTPL	Native
<i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Link	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 458 HUTPL	Native
<i>Pteris coriacea</i> Desv.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 572 HUTPL	Native
<i>Trachypteris inducta</i> (Maxon) R.M. Tryon & A.F. Tryon	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 265, 755 HUTPL	Native
SCHIZAEACEAE			
<i>Anemia ferruginea</i> Kunth	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 213 HUTPL	Native
EPHEDRACEAE			
<i>Ephedra americana</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 229 HUTPL	Native
ACANTHACEAE			
<i>Blechum pyramidatum</i> (Lam.) Urb.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 780 HUTPL	Native
<i>Dicliptera pilosa</i> Kunth.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 220, 314 HUTPL	Endemic
<i>Dyschoriste quitensis</i> (Kunth) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 10, 585, 673 HUTPL	Native
<i>Justicia carthaginensis</i> Jacq.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 663, 669 HUTPL	Native
<i>Ruellia geminiflora</i> Kunth	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 639, 649, 733 HUTPL	Native
<i>Stenandrium dulce</i> (Cav.) Ness	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 1002 HUTPL	Native
<i>Tetramerium nervosum</i> Ness	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 360, 713 HUTPL	Native
AIZOACEAE			
<i>Aptenia cordifolia</i> (L. f.) Schwantes	Pterophyte	O. Cabrera y A. Prina 1051 HUTPL	Introduced
<i>Trianthema portulacastrum</i> L.	Pterophyte	O. Cabrera y A. Prina 574, 694 HUTPL	Native
AMARANTHACEAE			
<i>Achyranthes aspera</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 178 HUTPL	Native
<i>Alternanthera brasiliiana</i> (L.) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 604 HUTPL	Native
<i>Alternanthera porrigens</i> (Jacq.) Kuntze var. <i>porrigens</i> (Jacq.) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 22, 71, 681 HUTPL	Native
<i>Alternanthera pubiflora</i> (Benth.) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 344 HUTPL	Native
<i>Alternanthera pungens</i> Kunth	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 439 HUTPL	Native
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 170 HUTPL	Native
<i>Amaranthus viridis</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 170 HUTPL	Native
<i>Iresine diffusa</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 375 HUTPL	Native
AMARYLLIDACEAE			
<i>Phaedranassa cinerea</i> Ravenna	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 366 HUTPL	Endemic
ANACARDIACEAE			
<i>Loxopterygium huasango</i> Spruce ex Engl.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 49 HUTPL	Native

APIACEAE			
<i>Arracacia equatorialis</i> Constance	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 157 HUTPL	Native
<i>Niphogeton ternata</i> (Willd. ex Schltr.) Matias & Constance	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 100 HUTPL	Native
APOCYNACEAE			
<i>Prestonia mollis</i> Kunth	Vine	O. Cabrera y A. Prina 61, 317, 716 HUTPL	Native
<i>Rauwolfia tetraphylla</i> L.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 609 HUTPL	Native
ASCLEPIADACEAE			
<i>Ditassa endolueca</i> Schltr.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 442, 446, 495, 500 HUTPL	Native
<i>Macroscelis hirsuta</i> (Vahl) Schltr.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 382, HUTPL	Native
<i>Marsdenia cundurango</i> Rchb. f.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 319, 358 HUTPL	Native
<i>Sarcostemma solanoides</i> (Kunth) Decne.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 21, 36, 88, 411, 680 HUTPL	Native
ASTERACEAE			
<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chamaephyte	O. Cabrera 1506 HUTPL	Native
<i>Baccharis sternbergiana</i> Steud.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 517 HUTPL	Native
<i>Barnadesia aculeata</i> (Benth.) I Chung	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 944 HUTPL	Endemic
<i>Barnadesia arborea</i> Kunth	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 662 HUTPL	Native
<i>Bidens pilosa</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 152 HUTPL	Native
<i>Cacosmia rugosa</i> Kunth	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 110 HUTPL	Native
<i>Centratherum punctatum</i> Cass.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 14 HUTPL	Native
<i>Chromolaena roseorum</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 57 HUTPL	Native
<i>Cotula coronopifolia</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 591 HUTPL	Introduced
<i>Delilia biflora</i> (L.) Kuntze	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 193 HUTPL	Native
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 428 HUTPL	Introduced
<i>Flaveria bidentis</i> (L.) Kuntze	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 963 HUTPL	Native
<i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir. ex Less.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 185 HUTPL	Endemic
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 128 HUTPL	Native
<i>Gamochoa americana</i> (Mill.) Wedd.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 536 HUTPL	Native
<i>Heterosperma diversifolium</i> Kunth	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 29, 202 HUTPL	Native
<i>Lagascea mollis</i> Cav.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 208, 712 HUTPL	Native
<i>Onoseris albicans</i> (D. Don) Ferreyra	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 224 HUTPL	Native
<i>Onoseris salicifolia</i> Kunth	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 253, 579 HUTPL	Endemic
<i>Onoseris speciosa</i> Kunth	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 1007 HUTPL	Native
<i>Ophryosporus peruvianus</i> (J.G. Gmel.) R.M. King & H. Rob.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 777 HUTPL	Native
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 77 HUTPL	Native
<i>Perymenium jelskii</i> (Hieron.) S. F. Blake	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 93 HUTPL	Native
<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 54, 697 HUTPL	Native
<i>Schkuhria pinnata</i> (Lam.) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 18, 172 HUTPL	Native
<i>Stevia bertholdii</i> B. L. Rob.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 260 HUTPL	Native
<i>Tessaria integrifolia</i> Ruiz & Pav.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 440 HUTPL	Native
<i>Trichocline peruviana</i> Hieron.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 212 HUTPL	Native

<i>Verbesina lloensis</i> Hieron.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 2, 121, 643 HUTPL	Native
<i>Viguiera incana</i> (Pers.) S. F. Blake	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 6 HUTPL	Endemic
<i>Wedelia helianthoides</i> Kunth	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 217 HUTPL	Native
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 368 HUTPL	Native
BASELLACEAE			
<i>Anredera baselloides</i> (Kunth) Baill.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 393 HUTPL	Native
BERBERIDACEAE			
<i>Berberis engleriana</i> C. K. Schneid.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 540 HUTPL	Native
BIGNONIACEAE			
<i>Amphilophium paniculatum</i> (L.) Kunth	Vine	O. Cabrera y A. Prina 611 HUTPL	Native
<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 946 HUTPL	Native
<i>Mansoa hymenaea</i> (DC.) A. H. Gentry	Vine	O. Cabrera y A. Prina 361 HUTPL	Native
<i>Tecoma castaneifolia</i> (D. Don) Melch.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 306 HUTPL	Native
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 367 HUTPL	Native
BORAGINACEAE			
<i>Cordia cylindrostachya</i> (Ruiz & Pav.) Roem & Schult.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 899 HUTPL	Native
<i>Cordia lutea</i> Lam.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 415 HUTPL	Native
<i>Cordia scaberrima</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 569 HUTPL	Native
<i>Heliotropium angiospermum</i> Murray	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 566 HUTPL	Native
<i>Heliotropium argenteum</i> Lehm.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 24, 696 HUTPL	Endemic
<i>Heliotropium indicum</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 65 HUTPL	Introduced
<i>Heliotropium rufipilum</i> (Benth.) I.M. Johnst.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 97 HUTPL	Native
<i>Tournefortia chinchensis</i> Killip	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 368, 456 HUTPL	Native
<i>Tournefortia hirsutissima</i> L.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 438 HUTPL	Native
<i>Tournefortia microcalyx</i> (Ruiz & Pav.) I.M. Johnst.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 600 HUTPL	Native
<i>Tournefortia polystachia</i> Ruiz & Pav.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 665 HUTPL	Native
<i>Varronia globosa</i> Jacq.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 860 HUTPL	Native
BRASSICACEAE			
<i>Lepidium bipinnatifidum</i> Desv.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 865 HUTPL	Native
BROMELIACEAE			
<i>Puya lanata</i> (Kunth) Schult. f.	Epiphyte	O. Cabrera y A. Prina 214 HUTPL	Native
<i>Tillandsia spiralipetala</i> Gouda	Epiphyte	O. Cabrera y A. Prina 59, 82 HUTPL	Native
<i>Tillandsia straminea</i> Kunth	Epiphyte	O. Cabrera y A. Prina 337 HUTPL	Native
BURSERACEAE			
<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana y Planch.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 630 HUTPL	Native
CACTACEAE			
<i>Armatocereus brevispinus</i> Madsen	Nanophanerophyte	J.E. Madsen 75217, AAU, LOJA	Endemic
<i>Armatocereus cartwrightianus</i> (Britton & Rose) Backeb. ex A.W. Hill	Nanophanerophyte	J.E. Madsen 7343 AAU, LOJA	Native
<i>Armatocereus matucanensis</i> Backeb. ex. A.W. Hill	Nanophanerophyte	J.E. Madsen 86074 AAU, LOJA	Native
<i>Cleistocactus icosagonus</i> (Kunth) F.A.C. Weber	Chamaephyte	J.E. Madsen 50225 AAU, LOJA	Native

<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth	Nanophanerophyte	C.R. Loayza 99 HUTPL	Native
<i>Espostoa lanata</i> (Kunth) Britton & Rose	Nanophanerophyte	J. E. Madsen 36825 AAU, LOJA	Native
<i>Hylocereus polyrhizus</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose	Epiphyte	J. E. Madsen 61161 AAU; LOJA	Native
<i>Melocactus bellavistensis</i> Rauh & Backeb.	Chamaephyte	O. Cabrera 1549 HUTPL	Native
<i>Opuntia cylindrica</i> (Lam.) DC.	Chamaephyte	J.E. Madsen 36791, AAU, LOJA	Native
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Nanophanerophyte	J. E. Madsen 36819 AAU, LOJA	Introduced
<i>Opuntia pubescens</i> J. C. Wendl. ex Pfeiff.	Chamaephyte	J. E. Madsen 36821, AAU, LOJA	Native
<i>Opuntia quitensis</i> F.A.C. Weber	Nanophanerophyte	J.E. Madsen 36820, AAU, LOJA	Native
CAPPARACEAE			
<i>Beautempsia avicennifolia</i> (Kunth) Gaudich	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 414 HUTPL	Native
<i>Colicodendron scabridum</i> (Kunt) Seem.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 648 b HUTPL	Native
<i>Cynophalla mollis</i> (Kunth) J. Presl.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 648 HUTPL	Native
CARICACEAE			
<i>Vasconcellea candicans</i> A. Gray	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 397 HUTPL	Native
<i>Vasconcellea parviflora</i> (A. DC.) Solms	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 53, 083, 106 HUTPL	Native
CARYOPHYLLACEAE			
<i>Paronychia communis</i> Cambess.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 231B, 445, 529, 541 HUTPL	Native
<i>Paronychia communis</i> Cambess. var. subglabra Chodat et Hassl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 117 HUTPL	Native
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 190 HUTPL	Native
CLUSIACEAE			
<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 608 HUTPL	Native
COMMELINACEAE			
<i>Commelina difusa</i> Burm. f.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 52, 112, 158, 381, 707 HUTPL	Native
<i>Commelina erecta</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera, A. Prina 513 HUTPL	Native
CONVOLVULACEAE			
<i>Convolvulus hermanniae</i> L'Herit	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 67 HUTPL	Native
<i>Convolvulus nodiflorus</i> Desr.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 519 HUTPL	Native
<i>Convolvulus siculus</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 171 HUTPL	Introduced
<i>Evolvulus argyreus</i> Choisy	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 486, 515 HUTPL	Native
<i>Evolvulus convolvuloides</i> (Willd. ex Schult.) Stearn	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 432 HUTPL	Native
<i>Evolvulus sericeus</i> Sw.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 3, 30, 31, 44, 410 670 HUTPL	Native
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	Nanophanerophyte	B. Mac Bryde 317 MO, LOJA	Native
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	Vine	O. Cabrera y A. Prina 894 HUTPL	Native
<i>Ipomoea turbinata</i> Lag.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 990 HUTPL	Native
<i>Jacquemontia elegans</i> Helwig	Vine	O. Cabrera y A. Prina 51, 72, 422, 718, 734 HUTPL	Native
<i>Jacquemontia floribunda</i> (Kunth) Hallier f.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 878 HUTPL	Native
<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 91 HUTPL	Native
<i>Jacquemontia weberbaueri</i> Helwing	Vine	O. Cabrera y A. Prina 578 HUTPL	Native
CUCURBITACEAE			
<i>Cucumis dipsaceus</i> Ehrenb. ex Spach	Vine	O. Cabrera 1509 HUTPL	Introduced

CYPERACEAE			
<i>Cyperus aggregatus</i> (Willd.) Endl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 124, 453 HUTPL	Native
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 530 HUTPL	Native
EUPHORBIACEAE			
<i>Cnidosculus urens</i> (L.) Arthur	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 74, 315 HUTPL	Native
<i>Croton alnifolius</i> Lam.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 646 HUTPL	Native
<i>Croton eggersii</i> Pax	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 615 HUTPL	Native
<i>Croton elegans</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 576 HUTPL	Endemic
<i>Croton pycnanthus</i> Benth.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 546 HUTPL	Endemic
<i>Croton rivinifolius</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 321 HUTPL	Endemic
<i>Croton ruizianus</i> Müll. Arg.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 218 HUTPL	Native
<i>Croton ruizianus</i> var. <i>podadenius</i> Müll. Arg.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 847 HUTPL	Native
<i>Croton wagneri</i> Müll. Arg.	Nanophanerophyte	O. Cabrera 1527. O. Cabrera y A. Prina 75 HUTPL	Endemic
<i>Dalechampia scandens</i> L.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 47, 109, 359 HUTPL	Native
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 206, 231, 377, 433 HUTPL	Native
<i>Euphorbia hypericifolia</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 17 HUTPL	Native
<i>Euphorbia lasiocarpa</i> (Klotzsch) Arthur	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 671 HUTPL	Native
<i>Euphorbia thymifolia</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 43 HUTPL	Native
<i>Euphorbia weberbauerii</i> Mansf.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 60, 81, 87, 496, 705 HUTPL	Native
<i>Jatropha nudicaulis</i> Benth.	Nanophanerophyte	O. Cabrera 1516. O. Cabrera y A. Prina 365 HUTPL	Endemic
<i>Tragia volubilis</i> L.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 781 HUTPL	Native
FABACEAE s.l.			
<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex. Willd.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 27 HUTPL	Native
<i>Aeschynomene scoparia</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 62, 772 HUTPL	Native
<i>Aeschynomene villosa</i> Poir.	Nanophanerophyte	W. Lewis 2197, LOJA, MO	Native
<i>Bauhinia augusti</i> Harms	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 316 HUTPL	Native
<i>Caesalpinia glabrata</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 631 HUTPL	Native
<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 303 HUTPL	Native
<i>Calliandra taxifolia</i> (Kunth) Benth.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 108 HUTPL	Native
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 785 HUTPL	Native
<i>Chamaechrista glandulosa</i> (L.) Greene	Nanophanerophyte	J. E. Madsen 7889 LOJA	Native
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav.) Harms	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 130 HUTPL	Native
<i>Clitoria ternatea</i> L.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 708 HUTPL	Introduced
<i>Cyathostegia mathewsii</i> (Benth.) Schery	Nanophanerophyte	O. Cabrera 1514. O. Cabrera y A. Prina 339 HUTPL	Native
<i>Desmodium vargasianum</i> B.G. Schub.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 941 HUTPL	Native
<i>Lupinus pubescens</i> Benth.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 846 HUTPL	Native
<i>Macroptilium atropurpureum</i> DC. Urb.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 915 HUTPL	Native
<i>Mimosa loxensis</i> Barneby	Nanophanerophyte	O. Cabrera 1503 HUTPL	Endemic
<i>Piptadenia flava</i> (Spreng. ex DC.) Benth.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 779 HUTPL	Native
<i>Rhynchosia reticulata</i> (Sw.) DC.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 537 HUTPL	Native

<i>Rhynchosia senna</i> Gillies ex Hook. & Arn.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 284 HUTPL	Native
<i>Senna bicapsularis</i> (L.) Roxb.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 704 HUTPL	Native
<i>Senna huancabambae</i> (Harms) H. S. Irwin & Barneby	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 553 HUTPL	Native
<i>Senna incarnata</i> (Pav. ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Nanophanerophyte	O. Cabrera 1523 HUTPL	Native
<i>Senna mollissima</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) H. S. Irwin & Barneby	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 706 HUTPL	Native
<i>Senna pistaciifolia</i> (Kunth) H.S. Irwin & Barneby	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 521, 747 HUTPL	Native
<i>Stylosanthes scabra</i> Voguel	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 7, 34, 448, 506 HUTPL	Native
<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 205 HUTPL	Native
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 1046 HUTPL	Native
GENTIANACEAE			
<i>Cicendia quadrangularis</i> (Lam.) Griseb.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 246 HUTPL	Native
GERANIACEAE			
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Her. ex Aiton	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 235 HUTPL	Introduced
GESNERIACEAE			
<i>Heppiella ulmifolia</i> (Kunth) Hanst.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 162 HUTPL	Native
IRIDACEAE			
<i>Ennealophus foliosus</i> (Kunth) Ravenna	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 928 HUTPL	Native
<i>Sisyrinchium caespitificum</i> Kraenzl.	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 544 HUTPL	Native
<i>Sisyrinchium iridifolium</i> Kunth	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 539 HUTPL	Native
KRAMERIACEAE			
<i>Krameria lappacea</i> (Dombey) Burdet & B. B. Simpson	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 270, 490, 514 HUTPL	Native
LAMIACEAE			
<i>Hyptis eriocephala</i> Benth.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 165, 690 HUTPL	Native
<i>Salvia coccinea</i> Buc'hoz ex. Etl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 721 HUTPL	Introduced
<i>Salvia squalens</i> H.B.K.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 144, 258, 305 HUTPL	Native
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 323 HUTPL	Introduced
<i>Scutellaria volubilis</i> Kunth	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 179 HUTPL	Native
LOASACEAE			
<i>Mentzelia fendleriana</i> Urb. & Gilg	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 719 HUTPL	Native
LORANTHACEAE			
<i>Struthanthus flexilis</i> (Rusby) Kuijt	Epyphyte	O. Cabrera y A. Prina 641 HUTPL	Native
LYTHRACEAE			
<i>Adenaria floribunda</i> Kunth	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 997 HUTPL	Native
<i>Cuphea ciliata</i> Ruiz & Pav.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 236 HUTPL	Native
<i>Cuphea racemosa</i> (L.f.) Spreng.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 374 HUTPL	Native
MALPIGHIACEAE			
<i>Heteropterys brachiata</i> (L.) DC.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 188 HUTPL	Native
MALVACEAE			
<i>Abutilon pubistamineum</i> Ulbr.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 1048 HUTPL	Native
<i>Abutilon umbellatum</i> (L.) Sweet	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 56 HUTPL	Native

<i>Abutilon virgatum</i> (Cav.) Sweet	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 196 HUTPL	Native
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schldl.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 1019, 1028 HUTPL	Native
<i>Gaya calyprata</i> (Cav.) Kunth ex Schum.	Chamaephyte	J. E. Madsen 75030 AAU; QCA, LOJA	Native
<i>Gaya gaudichaidiana</i> A. St. Hil	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 264 HUTPL	Native
<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 692 HUTPL	Native
<i>Hibiscus escobariae</i> Fryxell	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 424 HUTPL	Endemic
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 204 HUTPL	Native
<i>Malvastrum tomentosum</i> (L.) S.R.Hill	Chamaephyte	O. Cabrera 1518 HUTPL	Native
<i>Pavonia sepium</i> A. St.-Hil.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 16, 39, 68, 96, 485, 674 HUTPL	Native
<i>Sida acuta</i> Burm f.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 732 HUTPL	Native
<i>Sida cordifolia</i> L.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 1032 HUTPL	Native
<i>Sida poeppigiana</i> (K. Schum.) Fryxell	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 324 HUTPL	Native
<i>Wissadula diffusa</i> R. E. Fr.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 482 HUTPL	Endemic
MENISPERMACEAE			
<i>Cissampelos tropaeolifolia</i> DC.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 809 HUTPL	
MOLLUGINACEAE			
<i>Mollugo verticillata</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 617 HUTPL	Native
NYCTAGINACEAE			
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 73, 475 HUTPL	Native
<i>Boerhavia erecta</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 616 HUTPL	Native
<i>Bougainvillea peruviana</i> Bonpl.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 638 HUTPL	Introduced
<i>Mirabilis violacea</i> (L.) Heimerl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 28 HUTPL	Native
<i>Mirabilis viscosa</i> Cav.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 102, 266, 556, 619 HUTPL	Native
ONAGRACEAE			
<i>Ludwigia peruviana</i> (L.) H. Hara	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 778 HUTPL	Native
<i>Oenothera pubescens</i> Willd. ex Spreng.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 256, 557, 848 HUTPL	Native
<i>Oenothera rosea</i> L'Her. ex. Aiton	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 947 HUTPL	Native
ORCHYDACEAE			
<i>Encyclia aspera</i> (Lindl.) Schltr.	Epyphyte	O. Cabrera y A. Prina 832 HUTPL	Native
<i>Malaxis andicola</i> (Ridl.) Kuntze	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 551 HUTPL	Native
<i>Porphyrostachys pilifera</i> (Kunth) Rchb. f.	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 136, 710 HUTPL	Native
<i>Trichoceros onaensis</i> Christenson	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 982 HUTPL	Native
OXALIDACEAE			
<i>Oxalis articulata</i> Savigny	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 379 HUTPL	Native
<i>Oxalis elegans</i> Kunth	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 155, 176, 209 HUTPL	Native
<i>Oxalis microcarpa</i> Benth	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 588 HUTPL	Native
<i>Oxalis peduncularis</i> Kunth	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 498, 660 HUTPL	Native
<i>Oxalis psoraleoides</i> Kunth	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 156, 352, 463 HUTPL	Native
PASSIFLORACEAE			
<i>Passiflora capsularis</i> L.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 895 HUTPL	Native

<i>Passiflora foetida</i> L.	Vine	O. Cabrera y A. Prina 363 HUTPL	Native
<i>Passiflora sanguinolenta</i> Mast. & Linden	Vine	O. Cabrera y A. Prina 907 HUTPL	Native
PHYTOLACCACEAE			
<i>Phytolacca dioica</i> L.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 437 HUTPL	Native
PIPERACEAE			
<i>Peperomia galioides</i> Kunth	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 497 HUTPL	Native
<i>Peperomia peltigera</i> C.DC.	Geophyte	O. Cabrera y A. Prina 46,304, 717 HUTPL	Native
PLANTAGINACEAE			
<i>Plantago afra</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 262 HUTPL	Introduced
<i>Plantago myosorus</i> Lam.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 216 HUTPL	Introduced
PLUMBAGINACEAE			
<i>Plumbago scandens</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 874 HUTPL	Native
POACEAE			
<i>Aristida schiedeana</i> Trin. & Rupr.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 543 HUTPL	Native
<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 542 HUTPL	Native
<i>Bothriochloa saccharoides</i> (Sw.) Rydb.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 251, 502 HUTPL	Native
<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 122 HUTPL	Native
<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Link	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 129, 174 HUTPL	Native
<i>Eragrostis nigricans</i> (Kunth) Steud	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 174b HUTPL	Native
<i>Homolepis aturensis</i> (Kunth) Chase	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 164 HUTPL	Native
<i>Microchloa kunthii</i> Desv.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 550 HUTPL	Native
<i>Nasella mucronata</i> (Kunth) R. W. Pohl	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 175 HUTPL	Native
<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 160 HUTPL	Native
<i>Pappophorum pappiferum</i> (Lam.) Kuntze	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 325 HUTPL	Native
<i>Paspalum lividum</i> Trin ex. Schldtl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 241 HUTPL	Native
<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 243 HUTPL	Native
<i>Schizachyrium tenerum</i> Ness	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 242 HUTPL	Native
<i>Sporobolus purpurascens</i> (Sw.) Ham.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 244, 248, 532 HUTPL	Native
<i>Trachipogon plumosus</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Nees	Hemycryptophyte	O. Cabrera 1521 HUTPL	Native
<i>Tragus berteronianus</i> Schult.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 4, 38, 137, 294, 693 HUTPL	Introduced
<i>Trichloris pluriflora</i> E. Fourn.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 163 HUTPL	Native
<i>Tripogon nicorae</i> Rugolo & A. S. Vega	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 247 HUTPL	Native
POLEMONIACEAE			
<i>Cantua quercifolia</i> Juss.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 225 HUTPL	Native
POLYGALACEAE			
<i>Monnina celastroides</i> (Bonpl.) Chodat	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 450 HUTPL	Native
<i>Monnina sandemanii</i> Ferreyra	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 528 HUTPL	Native
<i>Polygala paniculata</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 167, 687 HUTPL	Native
<i>Polygala platycarpa</i> Benth.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 1049 HUTPL	Native
<i>Polygala violacea</i> Aubl.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 387, HUTPL	Native

<i>Pteromonnina leptostachya</i> (Benth.) B. Eriksen	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 1, 385 HUTPL	Native
POLYGONACEAE			
<i>Rumex pulcher</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 228, HUTPL	Introduced
<i>Ruprechtia jamesonii</i> Meisn.	Phanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 629, 645 HUTPL	Native
PORTULACACEAE			
<i>Portulacca oleraceae</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 140, 622 HUTPL	Native
<i>Talinum fruticosum</i> (L.) A. Juss.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 177 HUTPL	Native
<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 481 HUTPL	Native
PRIMULACEAE			
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 257, 280, 281 HUTPL	Native
RHAMNACEAE			
<i>Gouania lupuloides</i> (L.) Urb.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 476 HUTPL	Native
RUBIACEAE			
<i>Arcytophyllum thymifolium</i> (Ruiz & Pav.) Standl.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 139, 227 HUTPL	Native
<i>Borreria asurgens</i> (Ruiz & Pav.) Griseb.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 116, 267, 555 HUTPL	Native
<i>Galium ecuadoricum</i> Dempster	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 143 HUTPL	Endemic
<i>Galium fosbergii</i> Dempster	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 488 HUTPL	Endemic
<i>Spermacoce postrata</i> Aubl.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 443 HUTPL	Native
SAPINDACEAE			
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 226 HUTPL	Native
<i>Llagunoa nítida</i> Ruiz & Pav.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 573 HUTPL	Native
<i>Serjania paniculata</i> Kunth	Liana	O. Cabrera y A. Prina 520 HUTPL	Native
SCROPHULARIACEAE			
<i>Alonsoa meridionalis</i> (L.f.) Kuntze	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 562 HUTPL	Native
<i>Stemmodia durantifolia</i> (L.) Sw.	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 132 HUTPL	Native
SOLANACEAE			
<i>Iochroma cyaneum</i> (Lindl.) G.H.M. Lawr. & J.M. Tucker	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 187 HUTPL	Native
<i>Lycianthes lycioides</i> (L.) Hassl.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 9, 70, 525 HUTPL	Native
<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 85, 287 HUTPL	Introduced
<i>Nicotiana glutinosa</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 50, 308, 474 HUTPL	Native
<i>Nicotiana plumbaginifolia</i> Viv.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 983 HUTPL	Native
STERCULIACEAE			
<i>Ayenia eliae</i> Cristobal	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 819,820 HUTPL	Native
<i>Ayenia erecta</i> Mart. ex K. Schum	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 150, 510, 732, 756 HUTPL	Native
<i>Ayenia jussieuii</i> Cristobal	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 19, 55, 581, 677, 971 HUTPL	Native
<i>Ayenia o´donell</i> Cristobal	Hemycryptophyte	F. Tinitana 1540 HUTPL	Native
<i>Bittneria aculeata</i> (Jacq.) Jacq.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 691 HUTPL	Native
TURNERACEAE			
<i>Turnera scabra</i> Millsp.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 1043 HUTPL	Native

ULMACEAE			
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq) Sarg.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 603 HUTPL	Native
URTICACEAE			
<i>Pilea microphylla</i> (L.) Liebm.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 494, 580, 715 HUTPL	Native
<i>Pilea serpyllacea</i> (Kunth) Liebm.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 238, 245 HUTPL	Native
<i>Pouzolzia occidentalis</i> (Liebm.) Wedd.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 245, 512 HUTPL	Native
<i>Urtica urens</i> L.	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 153 HUTPL	Introduced
VERBENACEAE			
<i>Aloysia leptophylla</i> Loes. & Moldenke	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 565 HUTPL	Native
<i>Aloysia scorodonioides</i> (Kunth) Cham.	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 152 HUTPL	Native
<i>Duranta dombeyana</i> Moldenke	Nanophanerophyte	O. Cabrera y A. Prina 656 HUTPL	Native
<i>Glandularia laciniata</i> (L.) Schnack & Covas	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 259 HUTPL	Native
<i>Lantana canescens</i> Kunth	Chamaephyte	O. Cabrera 1502. O. Cabrera y A. Prina 20 HUTPL	Native
<i>Lantana reptans</i> Hayek	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 125, 534, 632 HUTPL	Native
<i>Lantana velutina</i> M. Martens & Galeotti	Chamaephyte	O. Cabrera y A. Prina 667 HUTPL	Native
<i>Phyla betulaefolia</i> (Kunth) Greene	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 169 HUTPL	Native
<i>Phyla strigulosa</i> (M. Martens & Galeotti) Moldenke	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 610 HUTPL	Native
<i>Stachystarpheta steyermarkii</i> Moldenke	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 362 HUTPL	Endemic
<i>Stachystarpheta straminea</i> Moldenke	Hemycryptophyte	O. Cabrera y A. Prina 371, 606 HUTPL	Native
ZYGOPHYLLACEAE			
<i>Kallstroemia parviflora</i> Norton	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 408, 583, 621 HUTPL	Introduced
<i>Tribulus terrestris</i> L.	Therophyte	O. Cabrera y A. Prina 25, 63, 90, 201, HUTPL	Introduced

The dominant life form in areas of dry scrub is Hemycryptophyte with 85 species. Epiphyte is the life form with fewer species (6). The remaining species are included in determined life forms (Table 2).

Table 2: Life forms of dry scrub species in south Ecuador.

LIFE FORM	SPECIES
Hemycryptophyte	85
Nanophanerophyte	67
Therophyte	56
Chamaephyte	46
Vine	29
Phanerophyte	13
Geophyte	12
Epyphyte	6
Total	314

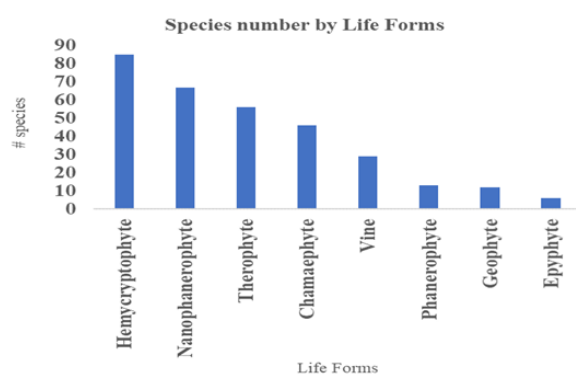


Fig. 4: Species for liveforms determined in dry scrub of Southern Ecuador.

Among the 314 species identified, 22 species are endemic; this represents 7.01% of the total. *Croton wagneri* Müll Arg., *Viguiera incana* (Pers.) S. F., *Wissadula diffusa* E. R. Fr. and *Phaedoranassa cinerea* Ravenna are endemic to Ecuador. *Dicliptera pilosa* Kunth, *Mimosa loxensis* Barneby, *Armatocereus brevispinus* Madsen and *Stachystarpheta steyermarkii* Moldenke, are endemic to Loja province. *Fulcaldea laurifolia* (Bonpl.) Poir. ex Less, *Croton eggersii* Pax, *Croton rivinifolius* Kunth and *Hibiscus escobariae* Fryxell are endemic to the Coast. *Croton elegans* Kunth, *Croton pycnanthus* Benth, *Galium ecuadoricum* Dempster, *Galium fosbergii* Dempster, *Heliotropium argenteum* Lehm, *Monnina celastroides* (Bonpl.) Chodat, *Onoseris salicifolia* Kunth and *Stevia bertholdii* B. L. Rob are endemic to the Andes in Ecuador. *Jatropha nudicaulis* Benth. was recorded as endemic to Azuay province, so it is a new record for Loja (Table 3). The remaining species are introduced and native (Table 4).

DISCUSSION

Seasonally dry scrub ecosystems have traditionally been considered as being degraded, containing low plant biodiversity, and being structurally homogeneous, nevertheless obtained results configure a different vision (La Torre-Cuadros & Linares-Palomino, 2008). The disparity in knowledge of the floras in different regions of the world implies that research has been exhaustive in selected places. On the other hand, in arid and semi-arid areas there is a lack of data with respect to

Table 3: Life forms of endemic species of dry scrub of Southern Ecuador.

Endemic species	Ch	G	H	N	P	T	V	Conservation Status
<i>Armatocereus brevispinus</i> Madsen				1				Critically Endangered
<i>Barnadesia aculeata</i> (Benth.) I Chung				1				Vulnerable
<i>Croton eggersii</i> Pax				1				Endangered
<i>Croton elegans</i> Kunth				1				Low Concern
<i>Croton pycnanthus</i> Benth.				1				Near Threatened
<i>Croton rivinifolius</i> Kunth				1				Endangered
<i>Croton wagneri</i> Müll. Arg.				1				Near Threatened
<i>Dicliptera pilosa</i> Kunth.						1		Vulnerable
<i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir.						1		Low Concern
<i>Galium ecuadoricum</i> Dempster			1					Endangered
<i>Galium fosbergii</i> Dempster			1					Endangered
<i>Heliotropium argenteum</i> Lehm	1							Vulnerable
<i>Hibiscus escobariae</i> Fryxell			1					Near Threatened
<i>Jatropha nudicaulis</i> Benth.				1				Low Concern
<i>Mimosa loxensis</i> Barneby				1				Endangered
<i>Monnina celastroides</i> (Bonpl.) Chodat	1							Vulnerable
<i>Onoseris salicifolia</i> Kunth						1		Low Concern
<i>Phaedoranassa cinerea</i> Ravenna			1					Vulnerable
<i>Stachystarpheta steyermarkii</i> Moldenke	1							Vulnerable
<i>Stevia bertholdii</i> B. L. Rob.			1					Vulnerable
<i>Viguiera incana</i> (Pers.) S. F. Blake	1							Low Concern
<i>Wissadula diffusa</i> E.R. Fr.	1							Endangered

Ch= Chamaephyte, G= Geophyte, H= Hemycryptophyte, N= Nanophanerophyte, P= Phanerophyte, T= Therophyte, V= Vine.

Table 4: Life forms of introduced species of dry scrub of Southern Ecuador.

Introduced species	Ch	G	H	N	P	T	V
<i>Aptenia cordifolia</i> (L. f.) Schwantes							1
<i>Bougainvillea peruviana</i> Bonpl.							1
<i>Clitoria ternatea</i> L.							1
<i>Convolvulus siculus</i> L.			1				
<i>Cotula coronopifolia</i> L.						1	
<i>Cucumis dipsaceus</i> Ehrenb. ex. Spach							1
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.		1					
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Her. ex Aiton						1	
<i>Heliotropium indicum</i> L.			1				
<i>Kallstroemia parviflora</i> Norton							1
<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.				1			
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.				1			
<i>Plantago afra</i> L.							1
<i>Plantago myosorus</i> Lam			1				
<i>Rumex pulcher</i> L.							1
<i>Salvia coccinea</i> Etl.			1				
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl			1				
<i>Tragus berteronianus</i> Schult.			1				
<i>Tribulus terrestris</i> L.							1
<i>Urtica urens</i> L.							1

Ch= Chamaephyte, G= Geophyte, H= Hemycryptophyte, N= Nanophanerophyte, P= Phanerophyte, T= Therophyte, V= Vine.

the floristic knowledge of species. Often, this bias is due to the false assumption that there exists "less biological diversity", or that the "drylands are less susceptible to deterioration than tropical forests" (Prina & Alfonso, 2002). However, as our study indicates, this may not always necessarily be the case.

In Ecuador, the dry scrub occurs in valleys and along slopes where evergreen tree species, shrubs, herbs, and seasonal epiphytes grow. The seasonal plant group provides many species of the total flora in the scrub. Vegetation can be prickly but does not dominate the area. According to Sierra *et al.*, (1999) this vegetation type is found in the northern sub-region in the Andean valleys of Chota, Guayllabamba, Patate, Yunguilla-Jubones. The above cited authors propose as typical species *Opuntia pubescens* J. C. Wendl. ex Pfeiff, *Dodonaea viscosa* Jacq., *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Mimosa quitensis* Benth, *Croton wagneri* Müll. Arg., and *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kunthze, among others, being the same species that characterize the dry scrub of our study site. In the south sub-region, dry

scrub is recorded for the valleys of Vilcabamba, Malacatos, and Catamayo. The characteristic species are *Opuntia* spp., *Colicodendron scabridum* (Kunth) Seem., *Cynophalla mollis* (Kunth) J. Presl, *Acacia macracantha* Humb & Bonpl. ex Willd., *Mimosa quitensis* Benth, *Croton wagneri* Müll. Arg. (most common bush) and *Dodonaea viscosa* Jacq.

Families and species found in this study correspond to arid ecosystems. Lopez (2003) indicates that in the Bolivian dry valleys, characteristic botanical families are: Asteraceae, Cactaceae, Poaceae, Fabaceae, Solanaceae, and Bromeliaceae. Asteraceae in southern Ecuador is also the most diverse, except for Solanaceae and Bromeliaceae the other families are also considered as the most diverse in our study. In the Andean arid place, Figueroa (2007) found 223 species of vascular plants; the most diverse families were Leguminosae, Poaceae, Euphorbiaceae and Asteraceae, which coincides with the most diverse families in the scrub of southern Ecuador. On the other hand, at genera and species levels there were floristic similarities found in Fabaceae sl. (Leguminosae), with *Stylosanthes* and *Rhynchosia* genera growing in Ecuador and Bolivia. In Poaceae, *Sporobolus* and *Tragus berteronianus* Schult., are growing in both countries. In Euphorbiaceae, *Croton*, *Cnidoscopus*, *Euphorbia* and *Jatropha*, grow in both countries, the same occur with Asteraceae species like *Lagascea mollis* Cav., *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.

In dry scrub in northern Ecuador, Werner (2009) refers to 80 species among those that have similarities with the dry valleys of southern Ecuador: *Acacia macracantha* Humb y Bonpland ex. Willd., *Alternanthera porrigens* (Jacq.) Kuntze, *Anagallis arvensis* L., *Arcytophyllum thymifolium* (Ruiz & Pav.) Standl., *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, *Cheilanthes bonariensis* (Willd.) Proctor, *Commelina erecta* L., *Croton elegans* Kunth, *Dodonaea viscosa* Jacq., *Ephedra americana* Willd., *Euphorbia hirta* (L.) Mill., *Iochroma cyaneum* (Lindl.) G.H.M. Lawr. & J.M. Tucker, *Lycianthes lycioides* (L.) Hassl., *Nicandra physalioides* (L.) Gaertn., *Oxalis peduncularis* Kunth, *Pavonia sepium* A. St.-Hil., *Portulacca oleracea* L., *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Tesaria integrifolia*, *Tribulus terrestris* L.

Albuja (2011) analyzed the biodiversity of Interandean dry valleys of Ecuador. His work included four of the locations (Yunguilla, Ceibopamba, San Pedro and Nambacola); matching species are: *Acacia macracantha* Humb y Bonpland ex. Willd., *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, *Ipomoea carnea* Jacq., *Colicodendron scabridum* (Kunth) Seem., *Croton wagneri* Mull. Arg., *Cyathostegia mathewsii* (Benth.) Schery, *Senna mollissima* (Humb. & Bonpl. ex Willd) H. S. Irwin & Barneby, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

Finally, *Euphorbia weberbaueri* Mansf. (Figure 5-6) is a new record for Ecuador (Cabrera-Cisneros & Prina, 2013), *Beauveria avicennifolia* (Kunth) Gaudich (Figure 7) according to Cornejo and Iltis (2009) is a genus resurrected"for the flora of Ecuador. *Varronia globosa* Jacq. (Figure 8-9) according to Miller and Gottschling (2007) is a "resurrected" genus for Cordiaceae. The first two reported species were collected in the Catamayo canton, being floristic common elements in the environment and as they do not have known uses, they are not under any threatened level. The third species was collected in Calvas canton, also in a wild environment, its most immediate threats are fires and deforestation

for land use change.



Fig. 5: Floral branch of *Euphorbia weberbaueri* Mansf. (Euphorbiaceae).



Fig. 6: Adult individual of *Euphorbia weberbaueri* Mansf. (Euphorbiaceae).

CONCLUSIONS

After carrying out the floristic inventory of the arid valleys of Loja province, we can conclude the following:

The arid valleys were considered through years, ecosystems that shown low floristic diversity level, however, the data ob-



Fig. 7: Flower and buds of *Beautempisia avicennifolia* (Kunth) Gaudich (Cappariaceae).

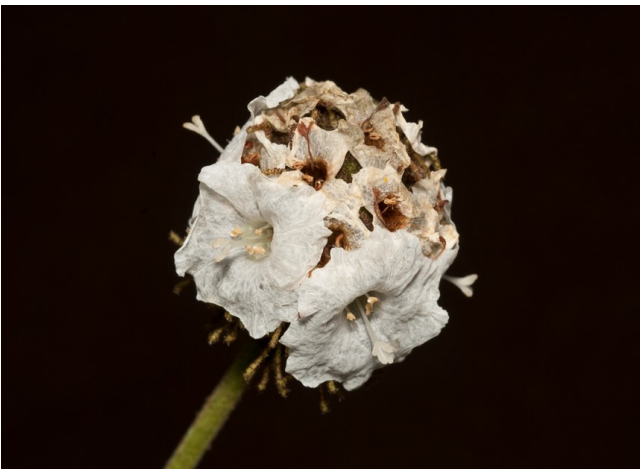


Fig. 8: Inflorescence of *Varronia globosa* Jacq. (Cordiaceae).



Fig. 9: Floral Branch and leaves of *Varronia globosa* Jacq. (Cordiaceae).

tained in this research show a highly diverse ecosystem that is potentially threatened by changes in land.

The various life forms of the species are considered an important factor when assessing overall diversity.

A combination of endemic, native and introduced species result in an ecosystem with unique floristic diversity and reinforces the view that southern Ecuador is one of the most

diverse regions of the country.

AUTHORS CONTRIBUTION

OC, FT, NC and AP designed the methodology, identified the collected specimens, analyzed the data and wrote the manuscript in its original form.

REFERENCES

- Aguirre, Z., L.P. Kvist and O. Sánchez. 2006. Bosques secos en Ecuador y su diversidad; p. 162-187 In M. Moraes, B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius and H. Balslev (ed.). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz: Universidad mayor de San Andrés.
- Albuja L. (Ed.). 2011. *Biodiversidad de los valles secos interandinos del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Angiosperm Phylogeny Group, Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., ... & Stevens, P. F. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20.
- Austin, D.F. 1982. *Convolvulaceae*; p. 1- 98 In G. Harling and B. Sparre (ed.). *Flora of Ecuador*. Volume 15. Göteborg; Riksmuseum.
- Best, B. J. and M. Kessler. 1995. *Biodiversity and Conservation in Tumbesian Ecuador and Peru.*, Cambridge: Bird-Life International.
- Brummit, R. K. and C. E. POWELL (Ed.). 1992. *Authors of plant names. A list of authors of scientific names of plants, with recommended standard forms of their names, including abbreviations*. Kew: Royal Botanical Gardens. 732 pp.
- Cabrera – Cisneros, O. and AP. 2013. *Euphorbia weberbaueri*, Nuevo Registro para Ecuador. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 48(1): 137-141.
- Cornejo, X. and H. Iltis. 2009. The Reinstatement of *Beautempisia* (CAPPARACEAE) and a Key to the Genera of Neotropical Capparaceae with Variously stellate or Peltate indumenta. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 3(2): 683-689.
- Cronquist, A. 1968. The evolution and classification of flowering plants. *The evolution and classification of flowering plants*.
- Darwinion 2013. *Flora del Cono Sur*. Electronic Database accessible at <http://www2.darwin.edu.ar>. Captured on July 2013.
- Dodson, C.H. and A.H. Gentry. 1991. Biological extinction in western Ecuador. *Annals of Missouri Botanical Garden* 78(2): 273-295.
- Espinosa, C.I., M. de la Cruz, A. Luzuriaga and A. Escudero. (2012). Tropical dry forest of the Ecuadorian Pacific region: Diversity, structure, function and conservation management. *Ecosistemas* 21(1-2):167-179.
- Espinosa, G.A., E.R. Fuentes and J.D. Molina. 1988. La erosión: fenómenos naturales y acción del hombre; p. 53-64. In E.R. Fuentes and S. Prenafeta (ed.). *Ecología del*

- Paisaje en Chile Central. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Fryxell, P.A. 1992. Malvaceae; p. 1- 142 In G. Harling and L. Andersson (ed.). Flora of Ecuador Volume 44. Stockholm; Quito: Riksmuseum.
- Fuentes, E.R. 1988. Sinopsis de paisajes de Chile central; p. 17-28 In E.R Fuentes and S. Prenafeta (ed.). Ecología del Paisaje en Chile Central. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Gentry, A.H. 1977. Bignoniaceae; p. 1- 173 In G. Harling and B. Sparre (ed.). Flora of Ecuador Volume 7. Göteborg: Riksmuseum.
- Gutiérrez, J.R. and F.A. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 13(1): 36-45.
- Holm-Nielsen, L.B., P.M. Jorgensen and J.E. Lawesson. 1988. Passifloraceae; p. 1- 130. In: G. Harling and L. Andersson (ed.). Flora of Ecuador. Volume 31. Stockholm; Quito: Riksmuseum.
- IPNI 2004. International plant names. Electronic database accessible at <http://www.ipni.org>. Captured on July 2013.
- Jørgensen, P.M. and S. León-Yanez, (ed.). 1999. Catalogue of vascular plants of Ecuador. - Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. 75: (I-VIII).
- La Torre – Cuadros, M. and R. Linares Palomino. 2008. Mapas y clasificación de vegetación en ecosistemas estacionales: un análisis cuantitativo de los bosques secos de Piura. *Revista Peruana de Biología* 15(1): 31-42.
- López, R.P. 2003. Diversidad florística y endemismo de los valles secos bolivianos. *Ecología en Bolivia* 38(1): 27-60.
- López, R.P., D. Larrea Alcázar and J.M. Macía. 2006. The arid and dry plant formations of South America and their floristic connections: New Data Interpretation. *Darwiniana* 44(1): 18-31.
- Lozano, P. 2002. Los tipos de bosques en el sur del Ecuador; p. 29-49. In Z. Aguirre, J.E Madsen, E. Cotton, and H. Balslev. (ed.), *Botánica Austroecuatorialiana -Estudios sobre los Recursos Vegetales en las Provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. Quito: Abya - Yala.
- Maestre, F.T., J.L. Quero, N.J. Gotelli, A. Escudero, V. Ochoa, M. Delgado-Baquerizo, M. García-Gómez, M.A. Bowker, S. Soliveres, C. Escolar, P. García-Palacios, M. Berdugo, E. Valencia, B. Gozalo, A. Gallardo, L. Aguilera, T. Arredondo, J. Blones, B. Boeken, D. Bran, A.A. Conceição, O. Cabrera, M. Chaieb, M. Derak, D.J. Eldridge, C.I. Espinosa, A. Florentino, J. Gaitán, M.G. Gatica, W. Ghiloufi, S. Gómez-González, J.R. Gutiérrez, R.M. Hernández, X. Huang, E. Huber-Sannwald, M. Jankju, M. Miriti, J. Moneris, R.L. Mau, E. Morici, K. Naseri, A. Ospina, V. Polo, AP, E. Pucheta, D.A. Ramírez-Collantes, R. Romão, M. Tighe, C. Torres-Díaz, J. Val, J.P. Veiga, D. Wang, E. Zaady. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science* 335(6065): 214-218.
- Miller, J.S. and M. Gottschling. 2007. Generic classification in the Cordiaceae (Boraginales): resurrection of the genus *Varronia* P.Br. *Taxon* 56(1): 163-169.
- Mobot 2013. Tropicos. Electronic database accessible at <http://www.tropicos.org>. Captured on July 2013.
- Myers, N. 1988. Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *The Environmentalist* 8(3):187–208.
- Neill D.A., Ulloa-Ulloa C. 2011. Adiciones a la flora del Ecuador: Segundo Suplemento, 2005-2010. Quito: Fundación Jatun Sacha. 202 p.
- Pennington, R.T., Prado, D.E., and C.A. Pendry, 2000. Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27(2): 261-273
- Pourrut P., O. Róvere, I. Romo and H. Villacrés. 1995. Clima del Ecuador; p 13-26 In P. Pourrut (ed.). El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentías. L'Institut Français de Recherche Scientifique pour l Développement en Coopération ORSTOM. Quito
- Prina, A. and G. Alfonso. 2002. La importancia de las prospecciones florísticas en la biología de la conservación. *Ecosistemas* 11(3).
- Raunkjær C. 1934. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Oxford University Press. 632 p.
- Reynolds, J.F. 2001. Desertification; p. 61-78 In S. Levin (ed.). *Encyclopedia of biodiversity*. Volume 2. San Diego: Academic Press.
- Reynolds, J.F. and D.M. Stafford Smith. (2002). Do humans cause deserts?; p. 1-21 In J.F Reynolds and D.M. Stafford Smith (ed.). *Global desertification: do humans cause deserts?* Berlin: Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University.
- Rugolo de Agrasar, Z.E. and A.S. Vega. 2004. *Tripogon nico- rae*, a New Species and Synopsis of *Tripogon* (Poaceae: Chloridoideae) in America. *Systematic Botany* 29(4): 874-882.
- Sierra, R., C. Cerón, W. Palacios and R. Valencia. 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación para el Ecuador continental. Quito: Proyecto INEFAN/GEF. 193 p.
- Suárez, L. and R. Ulloa. 1993. La diversidad biológica en el Ecuador; p. 13-24 In P. Mena and L. Suárez (ed.). *La investigación para la conservación de la diversidad biológica en el Ecuador*. Quito; EcoCiencia.
- Werner F. 2009. *Plantas comunes de Bosque Protector Jerusalén*. Rapid Color Guide # 214. Environmental & Conservation Programs, Chicago: The Field Museum.
- Ulloa – Ulloa, C. and D.A. Neill. 2005. Cinco años de adiciones a la flora del Ecuador 1999-2004. Loja: Editorial UTPL. 75 p.

Variación de diatomeas (Bacillariophyta) en un gradiente del estado de conservación de ribera del río Malacatos, Loja- Ecuador

Variation of diatoms (Bacillariophyta) in a gradient of the riverbank conservation status of the Malacatos river, Loja- Ecuador

Roberth Iván Yaguana¹ y Victor Alonso Cartuche^{2,*}

¹ Centro de Investigaciones Ambientales y de Desarrollo Sostenible (CIADES), Ecuador

² Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad (CITIAB), carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: victor.cartuche@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 12/10/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 15/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—Las condiciones ecológicas de ríos Andinos son factores determinantes de la salud de estos ecosistemas y consecuentemente de la calidad de agua. En el río Malacatos del cantón Loja se llevó a cabo un estudio cuyo propósito fue determinar la influencia del estado de conservación de zonas riparias del río sobre la diversidad, riqueza y productividad de comunidades de diatomeas, organismos fitoplanctónicos bioindicadores de las condiciones ambientales. Se definieron tres zonas de estudio: un tramo con vegetación ribereña nativa, una zona con bosque de ribera intervenida (zona semiconservada) y un tramo sin vegetación riparia (zona urbana). En cada zona de estudio, se definieron transectos en donde se tomaron muestras de perifiton. Los resultados reportaron la presencia de 21 géneros de diatomeas epilíticas. Se determinó una diversidad moderada y una alta equitatividad de las comunidades de diatomeas en la zona ribereña con vegetación nativa y semiconservada, a diferencia del tramo urbano que presentó una diversidad y equitatividad baja y un ambiente acuático con una dominancia de pocos géneros (*Navicula* y *Nitzschia*). El registro de varios géneros de diatomeas en diferentes gradientes ambientales de las zonas estudiadas determinó que el estado de conservación de vegetación ribereña adyacente al curso de agua del río Malacatos podría influir sobre la riqueza, composición, diversidad y biovolumen de las comunidades de diatomeas. En general, los resultados sugieren que el estado de conservación de la vegetación ribereña y la presencia de actividades antrópicas alrededor del río influyeron en la ecología de diatomeas y en consecuencia podrían afectar la calidad de agua. En este contexto, la comunidad científica coincide en la importancia de evaluación de la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos, a partir de rasgos biológicos de organismos bioindicadores.

Palabras clave—Zona riparia, Perifiton, Diatomeas epilíticas, Diversidad, Equitatividad.

Abstract—The ecological conditions of Andean rivers determine the health of these ecosystems and, consequently, water quality. A study was carried out in the Malacatos River in Loja canton to determine the influence of the conservation state of the river's riparian zones on the diversity, richness and productivity of diatom communities, phytoplankton organisms that are used as bioindicators of environmental conditions. Three study zones were defined: a stretch with native riparian vegetation, a zone with disturbed riparian forest (semi-conserved zone) and a stretch without riparian vegetation (urban zone). For each zone, transects were determined in the river, and periphyton samples were taken. The results reported the presence of 21 genera of epilithic diatoms. A moderate diversity and a high evenness of diatom communities was determined in the riparian zone with native and semi-conserved vegetation, in contrast to the urban section that showed a low diversity and evenness with a dominance of few genera (*Navicula* and *Nitzschia*). The record of several diatom genera in different environmental gradients determined that the conservation state of riparian vegetation adjacent to the Malacatos River watercourse may influence the richness, composition, diversity and biovolume of diatom communities. Overview, the results showed the state of conservation of riparian vegetation and the anthropogenic activities around the river influenced on diatom ecology and consequently they may affect water quality. In this context, the scientific community agrees on the importance of assessing the ecological integrity of aquatic ecosystems, focusing on biological traits of bioindicator organisms.

Keywords—Riparian zone, Periphyton, Epilithic diatoms, Diversity, Equitability.

INTRODUCCIÓN

La conservación de la diversidad de comunidades biológicas en ecosistemas acuáticos implica comprender los procesos que la generan y la mantienen a un nivel local,

lo cual puede ser explicada como el resultado de la conservación de la vegetación ribereña, la disponibilidad de nutrientes y la luz (Donato, 2019). El perifiton es una comunidad compleja de microbiota, constituida por microalgas, bacte-

rias, hongos, detritos orgánicos e inorgánicos adheridos a un sustrato vivo o inerte (Wetzel, 1983). Las microalgas, como las diatomeas, juegan un papel importante en el proceso de transferencia de la energía por medio de las cadenas tróficas y bajo una perspectiva ecológica, su composición y estructura constituyen variables que permiten determinar la calidad del agua y evaluar los procesos de contaminación que afectan a ecosistemas acuáticos (Montoya-Moreno y Aguirre, 2013).

Las diatomeas se han destacado como bioindicadores a nivel de población y comunidades en ecosistemas acuáticos (Loza et al., 2018). Se ha evidenciado que cambios en la calidad de agua, así como índices de diversidad, riqueza y de uniformidad de especies de diatomeas, se debieron al cambio del curso de un río al pasar de zonas rurales a urbanas (Chen et al., 2016a). Por su parte, Nihwatiwa y sus colaboradores (2017) demostraron que la mayoría de las variables físico-químicas de un río subtropical estuvieron fuertemente relacionadas con comunidades de diatomeas e índices de diversidad. Diversos estudios a lo largo de los últimos años han demostrado variaciones dentro de las comunidades de diatomeas en relación a las características morfométricas (por ejemplo la profundidad de ríos), físicas y químicas de los cuerpos de agua (Segura et al., 2016). Para Lozano y sus colaboradores (2019), el tipo de cobertura vegetal afecta la composición y diversidad de comunidades de diatomeas, por lo que estas comunidades pueden utilizarse para el monitoreo del impacto de las actividades antrópicas sobre una vegetación riparia muy alterada.

Existen escasos estudios relacionados con el uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores de calidad de agua en ríos del Ecuador. Podemos destacar trabajos de investigaciones realizadas en Latacunga en el río Cutuchi, donde se determinó el índice trófico de calidad de agua partir de la presencia de diatomeas epilíticas (Chasiquiza y Cola, 2017). En la provincia de Cotopaxi se identificaron comunidades de diatomeas epilíticas asociadas a la calidad del agua del río Yanayacu (Maiquiza y Tonato, 2020), mientras que en el río Carihuayco provincia de Pichincha se caracterizaron las comunidades de diatomeas epilíticas para la identificación de especies bioindicadoras de eutrofización (Molina, 2019). En este contexto, el proyecto se fundamentó en el estudio de comunidades de diatomeas epilíticas del río Malacatos como indicadoras de cambios debido a su capacidad de responder velozmente a las modificaciones en las condiciones físico-químicas en los cursos de agua (Vélez et al., 2016), de manera que este trabajo servirá de base informativa para desarrollar futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el cantón Loja, provincia de Loja, en el río Malacatos, el mismo que se origina en el Parque Nacional Podocarpus. La microcuenca Malacatos se encuentra ubicada al Suroeste de la ciudad de Loja, a una altitud de 2400 m.s.n.m. que baja hasta los 1200 m.s.n.m. Al norte y al este limita con la microcuenca Zamora, al sur con la microcuenca del río Vilcabamba y del río Solanda y al oeste con la microcuenca El Tambo. Esta microcuenca forma parte de la cuenca binacional Catamayo Chira, que a la vez

forma parte de la vertiente del Pacífico (Medina et al., 2009).

Diseño de muestreo

Considerando que el estado de conservación de zonas de vegetación ribereña del río Malacatos podría influir sobre la ecología de las comunidades de diatomeas (Lozano et al., 2019), la decisión de la ubicación de los puntos de muestreo se fundamentó en información cartográfica, herramienta que brindó datos concretos de la cobertura vegetal alrededor del río Malacatos (Figura 1). En este contexto, se definieron tres zonas de estudio: un tramo con vegetación ribereña nativa, una zona con bosque de ribera intervenida (zona semiconservada) y un tramo sin vegetación riparia (zona urbana).

Dadas las condiciones de cobertura vegetal en las riberas del río, el tramo con vegetación ribereña nativa se estableció en uno de los principales tributarios, la quebrada Mónica, la cual presentó una cobertura vegetal de bosque nativo, sin alteraciones. Por otro lado, el tramo con vegetación ribereña semiconservada, denominada así por la presencia de pequeñas franjas de vegetación ribereña que separa las tierras agropecuarias y las áreas pobladas del cauce del río, se situó en el sector La Argelia, a 200 metros del estadio de la Universidad Nacional de Loja (UNL). La zona urbana se ubicó en el sector del monumento “Puerta de la Ciudad de Loja”, debido a que no presentó vegetación ribereña, además de evidenciar descargas de aguas residuales urbanas.

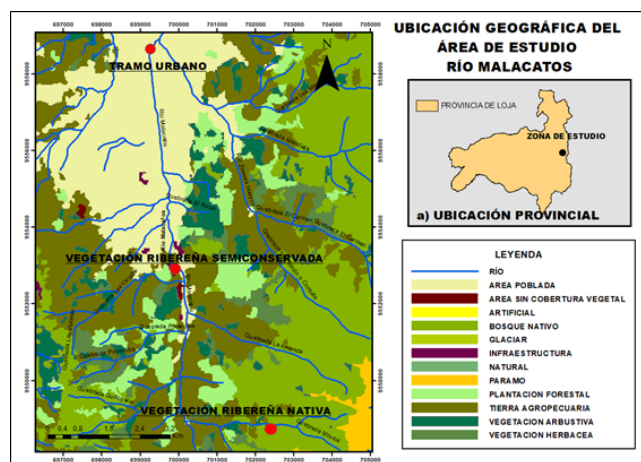


Fig. 1: Mapa de ubicación de las zonas de estudio del río Malacatos de la ciudad de Loja; a) ubicación provincial del sitio de estudio.

Una vez definidas las zonas de estudio, se establecieron los puntos de muestreo. Por cada una de las zonas definidas se determinó un transecto longitudinal de 200 metros en el río, y por cada 50 metros un punto de muestreo, en total se obtuvieron 5 submuestras en cada una de las zonas. El muestreo se realizó una sola vez: en la zona con vegetación ribereña nativa se realizó el día 1 de julio, en la zona semiconservada el día 2 de julio y en el tramo urbano el 3 de julio, todos durante el año 2021.

Obtención de muestras biológicas in situ

En cada punto de muestreo se recolectaron 5 sustratos naturales (piedras pequeñas) a lo largo del eje transversal del río. El criterio de recolección de los sustratos fue que presentaran una biopelícula de coloración café oscura o verde,

condición que refleja la actividad fotosintética.

El muestreo biológico tuvo lugar mediante el uso de un tubo de neumático, al cual se le realizó un agujero de un área de $3,79 \text{ cm}^2$ que se reforzó con una arandela. Luego cada sustrato se marcó con el delimitador en la superficie expuesta al agua y se procedió a raspar suavemente esta área con un cepillo de dientes. Se lavó el sustrato con 20 ml de agua destilada, sobre una fuente de plástico. El proceso se repitió hasta completar los 100 ml; estas muestras se depositaron en un cooler con hielo (Fetscher et al., 2009).

Análisis de muestras biológicas en el laboratorio

Se adaptó la metodología de Guzman y Leiva (2017) para el tratamiento de las muestras de diatomeas. Esta consistió en obtener 10 ml del homogenato de cada frasco. Estas submuestras se dejaron decantar durante 24 horas en un tubo de ensayo. Pasado ese tiempo, se retiraron cuidadosamente los 9 ml superiores y se analizó el precipitado con diatomeas. En las placas preparadas, se definieron 10 transectos en donde se observaron los especímenes de diatomeas usando el microscopio óptico Motic BA300, con un aumento de 40X.

Se identificaron las diatomeas a nivel de género por medio de claves morfométricas de Steinitz-Kannan y Cooper (2007) y estudios taxonómicos de Céspedes (2014). Estas identificaciones se corroboraron con el apoyo de la Profesora Kalina Manoylov de Georgia College and State University, del departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales.

Determinación de la riqueza, diversidad y biovolumen de comunidades de diatomeas

El recuento de células fue llevado a cabo de manera estandarizada para cada una de las muestras. Por cada zona de estudio, se contaron al menos 300 valvas. La abundancia de los taxones se expresó mediante recuentos relativos y se calculó la abundancia relativa de los géneros de diatomeas (Chen et al., 2016a).

La diversidad de comunidades de diatomeas se determinó según la zona de estudio del río Malacatos, para ello se utilizaron los índices de diversidad Alfa de Shannon-Wiener (H') y de equitatividad (E) (Pandey et al., 2018).

Para obtener el biovolumen celular aproximado, se establecieron las dimensiones de ancho, largo y espesor de los especímenes encontrados. Posteriormente, para obtener el volumen celular, aplicamos las ecuaciones geométricas propuestas por Guzman y Leiva (2017).

RESULTADOS

En las tres zonas de estudio se registraron 21 géneros de diatomeas epilíticas, con un total de 4765 individuos. Los géneros registrados en esta investigación fueron los siguientes: *Ulnaria*, *Navicula*, *Psammothidium*, *Fragilaria*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Sellaphora*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Brachysira*, *Hannaea*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Achnanthidium*, *Cratichula*, *Synedra*, *Cymbella*, *Amphora*, *Frustulia*, *Gyrosigma* y un género de diatomea céntrica no identificada. La cantidad total de especímenes por zona estudiada surgió a partir de un promedio de las submuestras implementadas. La mayor cantidad de individuos se registraron en el tramo urbano con 3732 especímenes, seguido por el tramo de vegetación

riberaña semiconservada con 669 especímenes, mientras que la menor cantidad fue en el tramo con vegetación ribereña nativa con 364 individuos.

Con respecto a los índices (Figura 2), la riqueza alcanzó un valor alto en el tramo urbano (17 géneros), y la menor se dio en los tramos con vegetación ribereña nativa (15 géneros) y semiconservada (11 géneros). Por otro lado, la diversidad obtuvo un valor moderado en los tramos de vegetación ribereña nativa ($H' = 2,21$) y semiconservada ($H' = 2,04$), mientras que el tramo urbano alcanzó una diversidad baja ($H = 1,67$). La mayor equitatividad se obtuvo en los tramos con vegetación ribereña semiconservada ($E=0,85$) y nativa ($E=0,82$), mientras que la menor se registró en el tramo urbano ($E=0,59$).

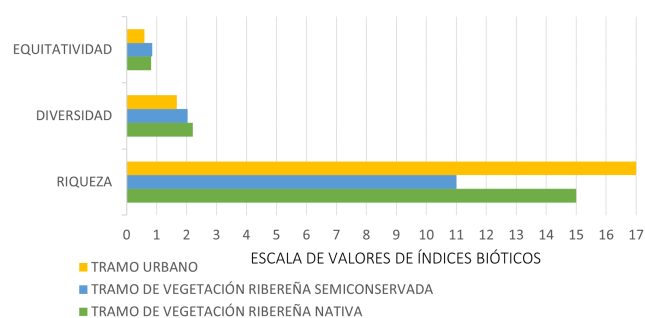


Fig. 2: Valores de los índices de equitatividad, diversidad y riqueza de diatomeas epilíticas en tres niveles de conservación del río Malacatos, Loja (Ecuador).

En cuanto al biovolumen celular total (Figura 3), parámetro que permite estimar el aporte de biomasa algal, el valor más alto se obtuvo del tramo de vegetación ribereña nativa ($1,32 \times 10^{10} \mu\text{m}^3/\text{ml}$), seguida por el tramo urbano ($1,66 \times 10^9 \mu\text{m}^3/\text{ml}$), mientras que la menor se registró en el tramo de vegetación ribereña semiconservada ($4,05 \times 10^8 \mu\text{m}^3/\text{ml}$).

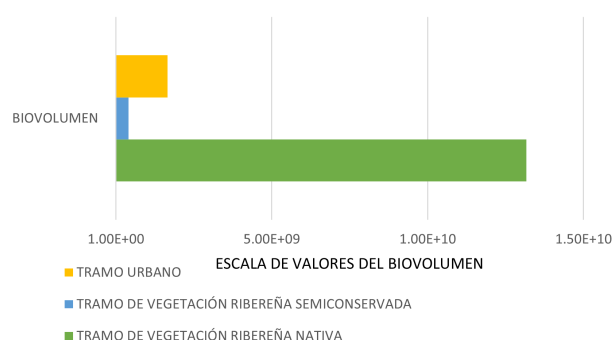


Fig. 3: Valores de biovolumen de diatomeas epilíticas en tres niveles de conservación del río Malacatos, Loja (Ecuador).

Tramo de vegetación ribereña nativa

El género que presentó la mayor cantidad de individuos (Figura 4) fue *Cocconeis* (90 individuos), seguido por *Navicula* (57 individuos), *Ulnaria* (56 Individuos) y *Eunotia* (49 individuos), mientras que la menor cantidad fue para *Nitzschia* (2 individuos), *Sellaphora* (2 individuos) y *Pinnularia* (1 individuo). Con respecto al biovolumen (Tabla 1), en el tramo de vegetación ribereña nativa, el género que aporta la

mayor cantidad de biomasa es *Eunotia* (35% del biovolumen), seguido por *Cocconeis* (23% del biovolumen) y *Navicula* (14,29% del biovolumen), mientras la menor cantidad es para *Nitzschia* (0,06% del biovolumen).

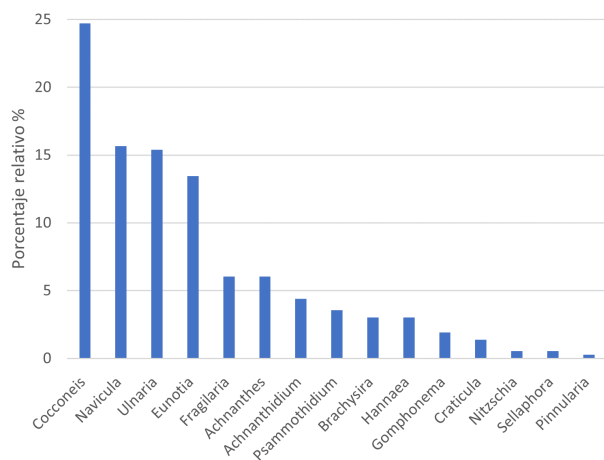


Fig. 4: Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo de vegetación ribereña nativa del río Malacatos, Loja (Ecuador).

Tabla 1: Valores de la biomasa a partir del biovolumen en el tramo con vegetación ribereña nativa del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género de diatomeas epilíticas tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo.

Género	Número de Individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Eunotia</i>	49	4652098899,48	35,33
<i>Cocconeis</i>	90	3030578696,47	23,02
<i>Navicula</i>	57	1881810301,43	14,29
<i>Hannaea</i>	11	798830091,25	6,07
<i>Fragilaria</i>	22	746165230,97	5,67
<i>Achnanthes</i>	22	526030458,85	4
<i>Ulnaria</i>	56	401173066,65	3,05
<i>Psammothidium</i>	13	326435962,47	2,48
<i>Achnanthidium</i>	16	274925630,46	2,09
<i>Craticula</i>	5	213464026,83	1,62
<i>Gomphonema</i>	7	127964484,68	0,97
<i>Brachysira</i>	11	125702421,92	0,95
<i>Pinnularia</i>	1	35028647,85	0,27
<i>Sellaphora</i>	2	18240137,36	0,14
<i>Nitzschia</i>	2	8393114,05	0,06
Total de biovolumen (um3/ml)		1,32 × 10¹⁰	

Tramo de vegetación ribereña semiconservada

El género que presentó mayor número de individuos (Figura 5) fue *Navicula* (164 individuos), seguido por *Nitzschia* (148 individuos) y *Gomphonema* (101 individuos), mientras que la menor cantidad fue para *Cymbella* (6 individuos). Con respecto al biovolumen (Tabla 2) el género *Fragilaria* aportó con más de la mitad de la biomasa (68,72% del biovolumen), seguido por *Gomphonema* (8,03% del biovolumen) y *Navicula* (6,46% del biovolumen), mientras que la menor cantidad es para *Ulnaria* (0,32% del biovolumen).

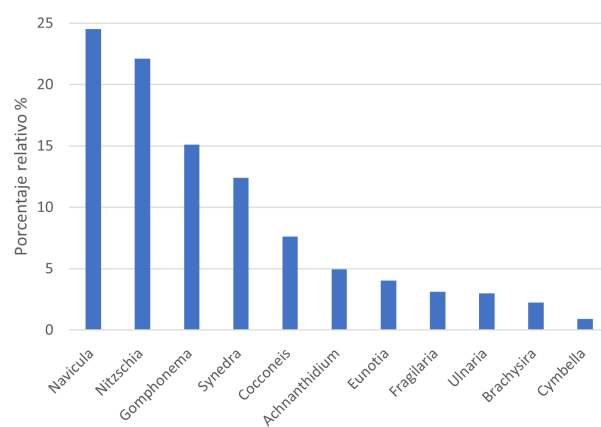


Fig. 5: Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo de vegetación ribereña semiconservada del río Malacatos, Loja.

Tabla 2: Valores de la biomasa a partir del biovolumen de diatomeas epilíticas en el tramo con vegetación ribereña semiconservada del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo.

Género	Número de individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Fragilaria</i>	21	278638523,19	68,72
<i>Gomphonema</i>	101	32576221,42	8,03
<i>Navicula</i>	164	26208560,89	6,46
<i>Eunotia</i>	27	20636786,07	5,09
<i>Cocconeis</i>	51	17115731,33	4,22
<i>Nitzschia</i>	148	12317574,34	3,04
<i>Synedra</i>	83	7994184,02	1,97
<i>Achnanthidium</i>	33	4029591,08	0,99
<i>Brachysira</i>	15	2365574,99	0,58
<i>Cymbella</i>	6	2304268,08	0,57
<i>Ulnaria</i>	20	1288505,17	0,32
Total de biovolumen (um3/ml)		4,05 × 10⁸	

Tramo urbano

El género que presentó mayor cantidad de individuos (Figura 6) fue *Navicula* (1418 individuos), seguido por *Nitzschia* (930 individuos), *Fragilaria* (579 individuos) y *Gomphonema* (324 individuos), mientras que la menor cantidad fue para un género de diatomea céntrica no identificada. Por otra parte, en este tramo, un solo género aportó más de la mitad de biomasa (Tabla 3), este es el género *Navicula* (72,49% del biovolumen), seguido por *Gomphonema* (7,90% del biovolumen) y *Fragilaria* (6,52% del biovolumen), mientras que la menor cantidad de biomasa es para *Gyrosigma* (0,01% del biovolumen).

DISCUSIÓN

Este trabajo se fundamentó en el estudio sobre la presencia de comunidades de diatomeas en varios gradientes de cobertura vegetal. El estudio taxonómico de los organismos fitoplanctónicos se realizó a nivel de género, una metodología que se ajusta a la implementada por otros autores (Juggins et al 2016; Heino y Soyninen, 2007; Chen et al 2016b). En general, los resultados reportaron vínculos entre varios generos de diatomeas y diferentes niveles de alteración de zonas de ribera, concordando con los resultados establecidos por Ortiz

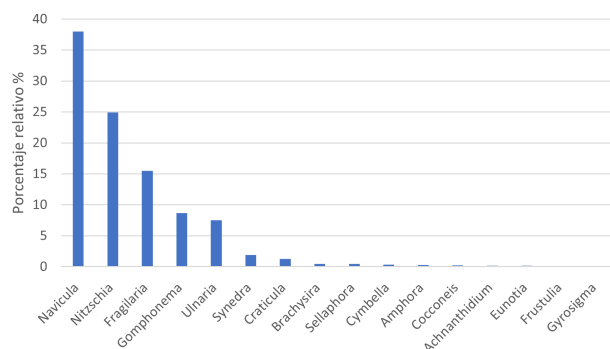


Fig. 6: Porcentaje relativo a géneros de diatomeas epilíticas en un tramo urbano del río Malacatos, Loja

Tabla 3: Valores de la biomasa a partir del biovolumen de diatomeas epilíticas en el tramo urbano del río Malacatos (Loja, Ecuador) y cantidad de biomasa algal aportada por cada género tomando en cuenta el número de individuos presentes en el tramo

Género	Número de Individuos	Biovolumen (um3/ml)	Biovolumen (%)
<i>Navicula</i>	1418	1200350913,62	72,49
<i>Gomphonema</i>	324	130751275,03	7,90
<i>Fragilaria</i>	579	108026116,64	6,52
<i>Nitzschia</i>	930	103732553,09	6,26
<i>Ulnaria</i>	281	44772498,22	2,70
<i>Craticula</i>	47	33770038,88	2,04
<i>Synedra</i>	70	11153291,37	0,67
<i>Cocconeis</i>	9	7135099,58	0,43
<i>Sellaphora</i>	16	5580076,24	0,34
<i>Amphora</i>	10	2724706,82	0,16
<i>Brachysira</i>	17	2419121,77	0,15
<i>Cymbella</i>	12	1651830,38	0,10
<i>Frustulia</i>	4	1299397,09	0,08
<i>Diatomea céntrica no identificada</i>	1	1015462,24	0,06
<i>Eunotia</i>	5	834084,15	0,05
<i>Achnanthyidium</i>	6	460953,52	0,03
<i>Gyrosigma</i>	3	222939,72	0,01
Total de biovolumen (um3/ml)		$1,66 \times 10^9$	

(2015), quien señala que la presencia de comunidades de diatomeas está estrechamente vinculada con las perturbaciones antrópicas presentando, además, rangos y tolerancias específicas para variables ambientales como el régimen fluvial y elevación, entre otros.

En términos ecológicos, varios géneros de diatomeas se registraron en diferentes gradientes ambientales de las zonas estudiadas. En tal sentido, el estado de conservación de la vegetación ribereña adyacente al curso de agua del río Malacatos influyó sobre la riqueza, composición, diversidad y biovolumen de las comunidades de diatomeas, siendo evidente que los factores antrópicos afectaron a las relaciones entre el perifiton y el estado de conservación de la vegetación ribereña (Lozano et al., 2019). En consecuencia, el mantenimiento y la rehabilitación de la vegetación ribereña son factores claves del estado ecológico de los ríos, debido a su función en la retención de sedimentos y contaminantes arrastrados por la escorrentía que proviene de zonas agrícolas, urbanas y rurales (Mendoza et al., 2014).

Por otro lado, Chessman y sus colaboradores (1999) señalan que los métodos de evaluación de calidad de agua se pueden basar en la identificación de géneros de diatomeas, de-

bido a que muchas de sus especies comparten características ecológicas semejantes, aunque Ponader y Potapova (2007) destacan la importancia de la identificación a un nivel de especie para mejorar las evaluaciones biológicas.

Sabater y sus colaboradores (1987) en un estudio realizado en España en ríos sujetos a marcadas influencias humanas como actividades agrícolas, grado de urbanización y zonas boscosas de baja densidad poblacional, encontraron que cuanto mayor era la diversidad de diatomeas en un ecosistema acuático, el agua era de mejor calidad, afirmación que contrastaría con los resultados obtenidos en las zonas con vegetación ribereña nativa y semiconservada, donde los valores de diversidad fueron moderados con una alta equitatividad en la distribución de sus individuos, por lo tanto, podría ir asociado a una mejor calidad de agua. Caso contrario sucedió en el tramo urbano, donde se obtuvo una baja diversidad y equitatividad, con una dominancia de géneros como *Nitzschia* y *Navicula*, lo cual reflejaría una baja calidad de agua. Higgins y sus colaboradores (2005) indican que la diversidad de diatomeas en los sistemas fluviales andinos puede ser la base para la elaboración de planes regionales para identificar áreas críticas de conservación de vegetación ribereña.

Además, según Calizaya y sus colaboradores (2013), en los ríos que atraviesan las zonas urbanas, la diversidad tiende a disminuir, aumentando el número de especies tolerantes a la contaminación del agua. Por otra parte, Mengo (2017) manifiesta que la urbanización es un factor determinante de la riqueza de diatomeas, debido a que ejerce una relación inversa a la intensidad de urbanización y la modificación de las riberas del río. Sin embargo, en el río Malacatos la mayor riqueza se obtuvo en el tramo urbano, esto puede ser el resultado de las fuertes lluvias registradas en la ciudad de Loja antes del muestreo, las mismas que podrían haber modificado las condiciones físico-químicas del río, proporcionando condiciones favorables para el desarrollo de otro tipo de géneros de diatomeas (Flores-Stulzer et al., 2017).

En la zona de vegetación ribereña nativa, el elevado biovolumen celular puede ser el resultado de la capacidad de ciertos géneros de diatomeas, como *Cocconeis* y *Eunotia*, de asimilar, inmovilizar y reciclar el fósforo y nitrógeno del agua, con el objetivo de reducir sus concentraciones (Mendes-Santos y Ferragut, 2021), además estos géneros fueron los responsables de aportar respectivamente con el 35,33% y 23,02% del biovolumen total en la zona nativa. En cambio, en el tramo urbano la productividad (biovolumen) fue definida por *Navicula*, un género dominante que aportó con el 72,49% del biovolumen total.

De acuerdo a la información establecida, sería importante llevar a cabo un análisis de la integridad ecológica de la microcuenca, debido a que varias de las características biológicas tales como la diversidad, riqueza y equitatividad, pueden ser complementadas con una descripción del tamaño y la morfología de la frústula de las diatomeas, lo que posibilitaría evidenciar de forma clara deformaciones y reducciones en su tamaño, como una respuesta a la contaminación que presenta su hábitat (Tinoco-Pérez y sus colaboradores, 2019).

CONCLUSIONES

Se determinó una diversidad moderada y una alta equitatividad de las comunidades de diatomeas en las zonas ribereña

nativa y semiconservada, a diferencia del tramo urbano, que presentó una diversidad y equitatividad baja y un ambiente acuático con una dominancia de pocos géneros (*Navicula* y *Nitzschia*). En total se registraron 21 géneros de diatomeas epilíticas en el río Malacatos, pero se sugiere precisar las evaluaciones biológicas mediante una identificación a nivel de especies.

A efectos de profundizar el análisis sobre la presencia de comunidades de diatomeas en gradientes de niveles de alteración de zonas de ribera en ríos andinos, es pertinente destacar la necesidad de estudiar las variables biológicas a nivel de especie, debido a que permitiría determinar con claridad características específicas de tolerancia y/o sensibilidad de los organismos acuáticos, relacionadas con el estado de conservación de la vegetación riparia.

El estudio sugiere que el estado de conservación de la vegetación ribereña y las actividades antrópicas alrededor del río Malacatos influyen en la calidad del agua y en la ecología de las comunidades de diatomeas, por tal razón es importante trabajar en la generación de políticas ambientales que permitan implementar prácticas colectivas de biomonitoreos periódicos como una estrategia que tendría como propósito la protección y restauración de la cobertura vegetal ribereña por su marcado interés e influencia sobre la salud de los ecosistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento especial para la Dra. Kalina Manoylov de la Universidad de Georgia College and State University, por su apoyo brindado en la verificación de la identificación de géneros de diatomeas; al Dr. Jorge Celi de la Universidad Regional Amazónica “Ikiam” por su apoyo en la definición de criterios y diseño de muestreo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: VAC y RIY; metodología: RIY y VAC; análisis formal: RIY y VAC; investigación: RIY; curación de datos: VCA; redacción —preparación del borrador original: RIY y VAC; redacción —revisión y edición: RIY y VAC; visualización: VAC; supervisión: VAC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Robert Iván Yaguana: RIY. Víctor Alonso Cartuche: VAC.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo no contó con ninguna fuente de financiamiento formal, fue financiada por los autores.

REFERENCIAS

- Calizaya, J., Avendaño, M., y Delgado, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 58–63.
- Céspedes, E. (2014). Análisis taxonómico de las principales especies de diatomeas (Bacillariophyceae) en seis sitios en la cuenca del río Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. En *Escuela De Historia: Vol. I*.
- Chasiquiza, M., y Cola, G. (2017). Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi sector Parque Nacional Cotopaxi, cantón Latacunga. En *Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad (Vol. 1)*.
- Chen, X., Bu, Z., Stevenson, M. A., Cao, Y., Zeng, L., y Qin, B. (2016b). Variations in diatom communities at genus and species levels in peatlands (central China) linked to microhabitats and environmental factors. *Science of The Total Environment*, 568, 137–146.
- Chen, X., Zhou, W., Pickett, S., Li, W., Han, L., y Ren, Y. (2016a). Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 60, 265–274.
- Chessman, B., Growns, I., Currey, J., y Plunkett-cole, N. (1999). Predicting diatom communities at the genus level for the rapid biological assessment of rivers. *Freshwater Biology*, 41(1999), 317–331.
- Donato, J. (2019). Diversidad de diatomeas en un sistema fluvial andino: los nutrientes y la conductividad como factores de explicación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 728–736.
- Fetscher, A., Busse, L., Fetscher, A., y Ode, P. (2009). Standard Operating Procedures for Collecting Stream Algae Samples and Associated Physical Habitat and Chemical Data for Ambient Bioassessments in California. En *In California State Water Resources Control Board Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP) Bioassessment SOP*, 2.
- Flores-Stulzer, E., Villalobos-Sandi-, N., Piedra-Castro, L., y Scholz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 1–11.
- Guzman, B., y Leiva, D. (2017). Diatomeas como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas - Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 16.
- Heino, J., y Soininen, J. (2007). Are higher taxa adequate surrogates for species-level assemblage patterns and species richness in stream organisms? *Biological Conservation*, 137(1), 78–89.
- Higgins, J., Bryer, M., Houry, M., y Fitzhugh, T. (2005). A Freshwater Classification Approach for Biodiversity Conservation Planning. *Conservation Biology*, 19(2), 432–445.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Pollinger, U., y Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2), 403–424.
- Juggins, S., Kelly, M., Allott, T., Kelly-Quinn, M., y Monteith, D. (2016). A Water Framework Directive-compatible metric for assessing acidification in UK and Irish rivers using diatoms. *Science of the Total Environment*, 568, 671–678.
- Loza, S., Benavides, R., Brenes, C., y Ballester, D. (2018). Estructura del fitoplancton en las épocas seca y lluviosa

- en el golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 10(2), 9.
- Lozano, S., Vasquez, C., Rivera Rondón, C., Zapata, A., y Ortiz, M. L. (2019). Efecto de la vegetación riparia sobre el fitoperifiton de humedales en la Orinoquía colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 67–85.
- Maiquiza, K., y Tonato, G. (2020). Identificación de diatomeas epilíticas asociadas a la calidad del agua en el río Yanayacu, sector San Juan, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, 2020. En Universidad Técnica de Cotopaxi (Vol. 1).
- Medina, M., Andrade, M., y Poma, M. (2009). Determinación de la calidad del agua del Río Malacatos mediante Fauna Bentónica como bioindicadora y alternativas de mitigación de la contaminación. [Universidad Nacional de Loja].
- Mendes-Santos, S., y Ferragut, C. (2021). Evaluating the periphyton as a bioreactor for removal of nutrients in a shallow hypereutrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 33.
- Mendoza, M., Quevedo, A., Bravo, A., Flores, H., De La Isla De Bauer, M., Gavi, F., y Zamora, B. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 11–16.
- Mengo, L. (2017). Composición taxonómica y riqueza de diatomeas en el Río Suquía, Córdoba (Argentina). 4(2), 55–62.
- Molina, J. (2019). Caracterización de comunidades diatomeas epilíticas del río Carihuaycu para la identificación de especies bioindicadoras de eutrofización. En Universidad Internacional SEK (Vol. 6, Número 1).
- MGA Rio Carihuaycu.pdf Montoya-Moreno, Y., y Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y ambiente*, 16(3), 91–117.
- Nhiwatiwa, T., Dalu, T., y Sithole, T. (2017). Assessment of river quality in a subtropical Austral river system: a combined approach using benthic diatoms and macroinvertebrates. *Applied Water Science*, 7(8), 4785–4792.
- Ortiz, M. (2015). Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone. En Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (Vol. 13, Número 3).
- Pandey, L. K., Lavoie, I., Morin, S., Park, J., Lyu, J., Choi, S., Lee, H., y Han, T. (2018). River water quality assessment based on a multi-descriptor approach including chemistry, diatom assemblage structure, and non-taxonomical diatom metrics. *Ecological Indicators*, 84(March 2017), 140–151.
- Ponader, K. C., y Potapova, M. G. (2007). Diatoms from the genus *Achnantheidium* in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. *Limnologica*, 37(3), 227–241.
- Sabater, S., Sabater, F., y Tomas, X. (1987). Water quality and diatom communities in two catalan rivers (N.E. Spain). *Water Research*, 21(8), 901–911.
- Segura, V., Almanza, J., y Ponce, J. (2016). Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica*, 26(2), 187–202.
- Steinitz-Kannan, M., y Cooper, J. (2007). The diatoms (Bacillariophyta). *New Survey of Clare Island*, 6, 115–139,200,217–232.
- Tinoco-Pérez, L., Salvat, K., Hernández, I., Hernández, M., Mejía, G., y Castro, J. (2019). Water quality study of the Actopan river in the localities of Santa Rosa and La Linda, Veracruz using macroinvertebrates and diatoms as bioindicators. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(1), 146–150.
- Vélez, A., Lozano, S., y Cáceres, K. (2016). Diversidad De Fitoplancton Como Indicador De Calidad De Agua En La Cuenca Baja Del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1–12.
- Wetzel, R. G. (1983). Attached algal-substrata interactions: fact or myth, and when and how? *Periphyton of Freshwater Ecosystems*, 356.

Diversidad anatómica de la madera de tres especies del género *Ilex* en la región sur de Ecuador

Anatomical diversity of the wood of three species of the genus Ilex in the southern region of Ecuador

Jennifer Rodríguez^{1,*}, Yessica Rey¹, Fanny Aguinaca¹, Héctor Zhiñin³ y Darwin Pucha-Cofrep^{1,2}

¹ Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

² Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

³ Proyecto Acciones por la Amazonía-NORAD: Corporación Naturaleza & Cultura Internacional, Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: jennifer.rodriguez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 15/04/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 14/11/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—En Ecuador el género *Ilex* está representado por especies de importante valor económico para las poblaciones locales. Su uso ancestral les ha permitido la conservación del acervo étnico-cultural. No obstante, poco se conoce sobre la fisiología y estructura interna de estas especies. Por ello, el objetivo de este estudio es conocer las características y diferencias anatómicas de la madera de *Ilex guayusa*, *Ilex weberlingii* e *Ilex* sp. Para ello muestras de madera fueron colectadas en distintos sitios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe al sur de Ecuador. Se identificaron y evaluaron las características microscópicas de la madera en sus planos transversal, tangencial y radial, con base a la normativa IAWA. Los resultados mostraron que las tres especies tuvieron en común anillos de crecimiento poco visibles con porosidad difusa, y vasos solitarios con perfil angular distribuidos en patrones radiales o diagonales. Todas las especies mostraron placas de perforación escalariformes y punteaduras opuestas. Los radios para las tres especies fueron iguales respecto a su ancho, altura y tamaño. Sin embargo, las únicas diferencias de cada especie fueron el tamaño de las punteaduras intervasculares y el número de vasos por milímetro cuadrado. Esto demuestra que las características microscópicas de la madera tienen un alto potencial para la identificación de maderas a través de análisis anatómicos.

Palabras clave—Anatomía de la madera, *Ilex* sp, *Ilex guayusa*, *Ilex weberlingii*, IAWA.

Abstract—In Ecuador, the *Ilex* genus is represented by species of important economic value for local communities. Their ancestral use has allowed them to conserve their ethno-cultural heritage. However, little is known about the physiology and internal structure of these species. Therefore, the goal of this study is to know the features and anatomical wood differences of *Ilex guayusa*, *Ilex weberlingii* and *Ilex* sp. Wood samples were collected from different sites in the provinces of Loja and Zamora Chinchipe in southern Ecuador. The microscopic characteristics of the wood were identified and evaluated in the cross, tangential and radial sections, based on IAWA standards. The results showed that the three species had in common indistinct growth rings boundaries with diffuse-porous, and solitary vessels with outline angular distributed in radial or diagonal patterns. All species showed scalariform perforation plates and opposite pits. The rays for all three species were the same with respect to width, height, and size. However, the only differences in each species were the size of the intervessel pits, and the number of vessels per square millimeter. This demonstrates that microscopic wood characteristics have a high potential for wood identification through anatomical analysis.

Keywords—Wood anatomy, *Ilex* sp, *Ilex guayusa*, *Ilex weberlingii*, IAWA.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el género *Ilex* se encuentra representado por alrededor de 500 especies distribuidas en las regiones templadas y tropicales del mundo (Cuenoud et al., 2000). Mediante registros palinológicos, se determinó que este género desde el principio del periodo terciario tiene una distribución mundial excepto en las zonas áridas y árticas, su di-

versidad específica se centra especialmente en Asia Oriental y Sudamérica, también está bien representado en el Sudeste Asiático y Norte de Australia tropical (Martin, 1977).

Así, se destaca que las especies del género en mención han generado un gran interés ya que tienen una importancia económica considerable, pues se han establecido huertos comerciales para su producción intensiva y extensiva (Martin, 1977), y forman parte del acervo cultural de varios países

(Andrews, 2021). Por ejemplo, suministran adornos navideños y generan ingresos de millones de dólares en Estados Unidos (Ticknor, 1986) y las hojas de 60 especies del género se utilizan para elaborar bebidas en América del Sur y del Norte: entre las más conocidas tenemos a *Ilex paraguariensis* St. Hil para la elaboración del Mate e *Ilex guayusa* Loes para la elaboración de la Guayusa (Macmillan, 2012). Estas bebidas son ampliamente consumidas debido a sus compuestos activos como polifenoles, flavonoides, saponinas y glucósidos que le dan beneficios antiinflamatorios, antimicrobianos, antioxidantes y antiparasitarios (Hao et al., 2013).

En Ecuador el género *Ilex* se encuentra distribuido principalmente en el bosque montano, así como también en los bosques de tierras bajas de la Amazonía ecuatoriana (Baas, 1973). En el país se reportan 32 especies del género (Jørgensen y León-Yáñez, 1999) y estas han generado un interés principalmente por ser una fuente botánica de recursos farmacéuticos y alimentarios (Barnett, 2012). En la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana, la Asociación de Productores y Comercializadores Individuales de la empresa Wayusa Org realizan producción y venta de varios productos derivados de la guayusa, como cerveza artesanal y bebidas carbonatadas de la marca URKU (espíritu del jaguar). Así también, en la región Sur de Ecuador la Universidad Nacional de Loja tiene su propia bebida de *Ilex guayusa* llamada “Guayusa – Bebida energizante natural”.

A nivel de fisiología y estructura microscópica, los estudios son escasos en las especies del género *Ilex* a nivel mundial y a nivel de Ecuador, y mucho menos en anatomía de la madera. En el contexto mundial Baas (1973) presentó un estudio comparativo entre las características anatómicas de 81 especies de diferentes latitudes del mundo del género *Ilex*. En Ecuador un estudio más reciente lo llevó a cabo Montaña et al. (2019), donde analizó las características físicas y anatómicas de la madera de individuos de la especie *Ilex guayusa* Loes al Sur de Ecuador. Su material procedía de las diferentes partes vegetativas de la planta como son ramas, tronco y raíz, para identificar las diferencias de las características físicas y microscópicas (cualitativas y cuantitativas) del xilema. Cabe destacar que la anatomía microscópica de la madera contribuye a llenar vacíos de información relacionados con la identificación a nivel de género de manera rápida y precisa, y también contribuye a la comprensión de las relaciones infragenéricas (Barnett, 2012) dentro del género objeto de estudio.

Por ello, el presente trabajo pretende aportar con nueva información detallada de las características anatómicas de *Ilex guayusa*, *Ilex weberlingii* e *Ilex* sp, con la finalidad de realizar un estudio comparativo de las características y diferencias anatómicas cualitativas y cuantitativas entre especies del mismo género.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en la región Sur de Ecuador en las provincias de Zamora Chinchipe y Loja, en los cantones: Nangaritza, parroquia Guayzimi (*Ilex guayusa*) en el ecosistema bosque siempreverde piemontano de las cordilleras del Cóndor-Kutukú, con alturas que oscilan entre los 350

m s.n.m. y 1 400 m s.n.m. y un rango de temperatura que varía entre 14°C y 26 °C (Aguirre et al., 2013); cantón Loja, parroquia Jimbilla (*Ilex* sp) en el ecosistema bosque siempreverde montano alto del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes, con una temperatura que oscila entre los 12°C y 20°C con un rango altitudinal de 1 800 m s.n.m. – 2 800 m s.n.m. (GAD Parroquial Jimbilla, 2020); y cantón Saraguro, parroquia Urdaneta (*Ilex weberlingii*), donde los ecosistemas de mayor amplitud de esta zona son bosque siempreverde montano alto del Sur de la cordillera oriental de los Andes y bosque siempreverde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes, con temperaturas entre los 10°C hasta los 14°C y abarca un rango altitudinal desde los 2 500 m s.n.m. hasta los 2 600 m s.n.m. (GAD Parroquial Urdaneta, 2019) (Figura 1).

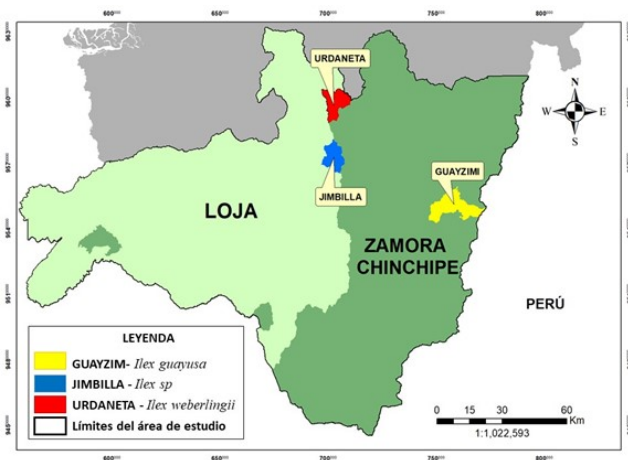


Fig. 1: Sitios de muestreo de cada especie de *Ilex* en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador.

Colecta de las muestras de madera

La colecta de muestras de cada especie se realizó por método destructivo. Previo a la colecta del material se seleccionó un individuo de cada especie, se consideró su buen estado fitosanitario, fuste recto y diámetro a la altura del pecho (DAP) >15 cm. La especie fue identificada por el equipo técnico del Herbario “Reinaldo Espinosa”- LOJA y las probetas de madera se depositaron en la colección de la Xiloteca del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja (Tabla 1).

Análisis microscópico de la madera

Una vez tomadas las muestras de madera en campo, se cortaron en cubos de 1 cm³. Para la obtención de cortes anatómicos en sus planos transversal, tangencial y radial se utilizó micrótopo de deslizamiento GSL1/WSL. Fue necesario remojar las muestras en alcohol para obtener cortes finos. Seguidamente, se realizó la tinción con soluciones de Safranina y Astrablue, pasado el tiempo de reposo con las soluciones se realizó un lavado de las muestras (primero con alcohol al 50 %, posteriormente con alcohol al 75 % y por último con alcohol al 96 %), luego se sellaron las muestras permanentemente con Bálsamo de Canadá en un portaobjetos, y finalmente se tomaron fotografías digitales basados en la metodología de Feijoo et al. (2019).

Tabla 1: Información de las muestras de madera del género *Ilex* colectados en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe y depositados en la xiloteca del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja (Ecuador).

Especie	Colector/es	Código	Tipo de muestra	Dimensiones Alto × Largo × Ancho (cm)
<i>Ilex guayusa</i> Loes	Héctor Zhiñin	GUILGUTADU04	Probeta rectangular	10 × 2,5 × 2,5
		GUILGURADU02	Probeta rectangular	15 × 2,5 × 2,5
		GUILGUTR02	Sección transversal completa (Rodaja)	Diámetro: 7,05 cm
<i>Ilex sp</i>	Victoria Moncada y Jorge Zúñiga	LOILAQTA01	Probeta rectangular	20 × 10 × 2,5
		LOILATR01	Sección transversal completa (Rodaja)	Diámetro: 14,75 cm
<i>Ilex weberlingii</i> L.	Nathaly Alvarado Allisson Jaramillo Gabriela Pinta Evelyn Ulloa Lilian Ulloa	SAILWE03	Probeta rectangular	10 × 2 × 2
		SAILWERAALDU02	Probeta rectangular	15 × 2,5 × 2,5
		SAILWETR02	Sección transversal completa (Rodaja)	Diámetro: 11,5 cm

El análisis de las características cualitativas y cuantitativas se realizó de acuerdo a la normativa de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera IAWA (IAWA, 1989). Se utilizó un microscopio Olympus modelo BX41TF y los softwares Infinity Analyze v6 y ToupView, con los cuales se realizó el registro fotográfico que permitió determinar las principales características anatómicas de la madera (vasos, parénquima, radios, punteaduras y placas de perforación), así como la medición de las características cuantitativas. Es importante mencionar que no se realizaron macerados para estudiar las fibras. Las fotografías fueron tomadas en sus tres planos anatómicos con los lentes de aumento 4x, 10x, 20x y 40x.

Para la comparación estadística de las características anatómicas se realizó un análisis Kruskal-Wallis y un post-hoc de Wilcoxon. De igual manera se realizó un análisis de correlación tanto para las características cuantitativas como cualitativas; el análisis de correlación cualitativo se realizó dándole valores de 0 (no presente) y 1 (presente) a las características de cada especie. Los análisis estadísticos se realizarán a través del software estadístico R (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

De las 37 características anatómicas analizadas se observó que el 41,66% son características comunes que comparten las tres especies, mientras que solo un 36,11% son características presentes en una sola especie.

Características microscópicas cualitativas

En el plano anatómico transversal se encontró que las tres especies presentaron las siguientes características comunes: anillos de crecimiento poco visibles con poros difusos, vasos en patrones radiales o diagonales, parénquima axial apotraqueal difuso en agregados y perfil angular de vasos solitarios. No obstante, en la agrupación de los vasos la especie *I. guayusa* presentó vasos en grupos radiales de 4 o más, en contraste las especies *I. sp* e *I. weberlingii* poseen vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (Figura 2, Anexo 1).

En el plano tangencial, las tres especies presentaron tilo-

sis común, fibras con punteaduras bordeadas, placas de perforación escalariformes con 20–40 barras, radios multise-riados, punteaduras intervascuales escalariformes opuestas, ocho (5-8) células por hebra de parénquima, y radios de 4 a 10 series y altura mayor a 1 mm de dos tamaños distintos (Figura 2).

En cuanto al plano radial se encontraron mayores diferencias entre las características. Así, *I. sp* presentó en sus radios células procumbentes, cuadradas verticales, con punteaduras de distintos bordes, similares a las punteaduras intervascuales en forma y tamaño a través de células radiales y restringidos a filas marginales. *I. weberlingii* tuvo sus radios con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales con punteaduras de distintos bordes, similar a las perforaciones intervascuales en forma y tamaño a través de células radiales. *I. guayusa* mostró radios con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales y punteaduras restringidos a filas marginales, además de cristales prismáticos en células de parénquima axial en cámara (Figura 3).

Características cuantitativas

En general *Ilex weberlingii* presentó mayor número de vasos por milímetro cuadrado ($\geq 100\mu m$), mientras que *Ilex sp* presentó de 20 a 40 μm e *Ilex guayusa* presentó de 40 a 100 μm . La mayor diferencia observada entre especies fue en la variable tamaño de punteaduras en la cual *Ilex weberlingii* presentó punteaduras más grandes con relación a las dos especies en estudio (Figura 4).

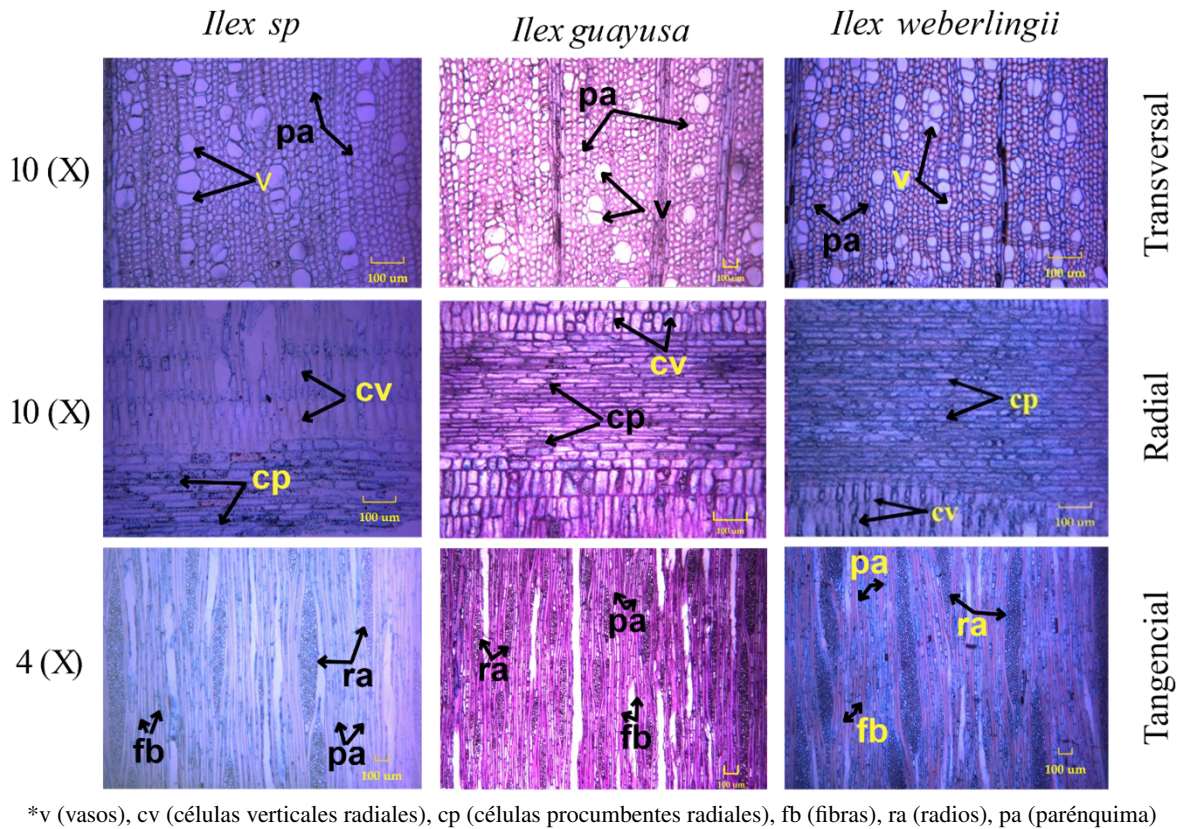
Se pudo determinar que entre la altura y número de radios existen diferencias significativas entre *Ilex guayusa* e *Ilex sp*, mientras que en el diámetro de vasos *Ilex weberlingii* es inferior a los diámetros, en contraste de *Ilex guayusa* e *Ilex sp*. En relación con el número de vasos y diámetro de las punteaduras se evidenciaron diferencias significativas entre las tres especies del género *Ilex* (Figura 4). *Ilex guayusa* demostró ser la especie con mayor diferencia significativa en comparación con las especies *Ilex weberlingii* e *Ilex sp*., basado en el número, diámetro y altura de vasos, radios y punteaduras. Tanto la altura como el número de radios fue igual sin diferencias significativas para *Ilex weberlingii* e *Ilex sp*.

Correlación de características cuantitativas y cualitativas

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson, en la Figura 5a se evidenció que no existe una alta correlación significativa entre las características cualitativas de las tres especies estudiadas, pero sí entre características cuantitativas, donde *I. guayusa* tiene una alta correlación negativa de -0,67 con *I. sp* (Figura 5b).

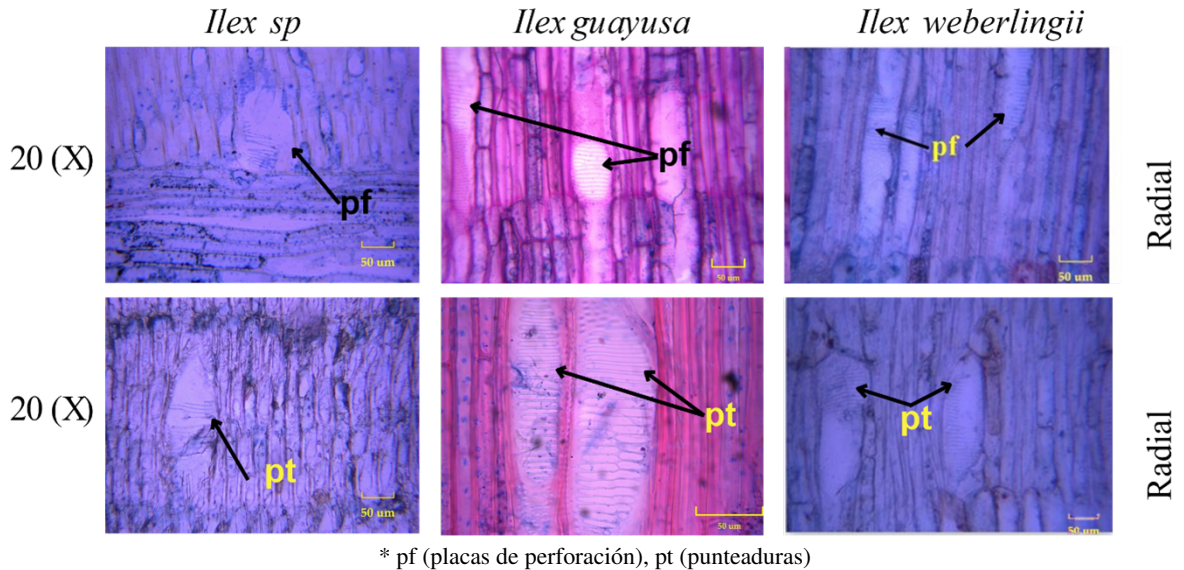
DISCUSIÓN

La importancia de *Ilex guayusa* en Ecuador es por su uso como planta ornamental y medicinal (Radice y Vidari, 2007), y esta está vinculada con el saber ancestral de las mujeres Kichwa. También es consumida por los indígenas como una bebida energizante y antioxidante (Bravo, 2015), así como antiartrítica, antigripal, antirreumática, expectorante, emenagoga y estimulante (Pérez et al., 2019). *Ilex guayusa* e *Ilex*



*v (vasos), cv (células verticales radiales), cp (células procumbentes radiales), fb (fibras), ra (radios), pa (parénquima)

Fig. 2: Imágenes microscópicas de tres especies del género *Ilex* colectadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Ecuador), en sus respectivos planos anatómicos. De arriba a abajo: transversal (10X), radial (10X) y tangencial (4X). Escala 100 μm.



* pf (placas de perforación), pt (punteaduras)

Fig. 3: Vista anatómica en un corte radial de las especies del género *Ilex* (20X) colectadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Ecuador), donde se muestran las placas de perforación y punteaduras. Escala 50 μm.

paraguariensis llegan a estar relacionadas por contener altas concentraciones de cafeína superiores a las del café, además, presentan teobromina y en cantidades menores toefilina y otras xantinas, esteroides, terpenoides y lactonasterpénicas (Carpintero y Salazar, 2014).

De las 36 características anatómicas analizadas se destaca que el 41,66% son características comunes entre las tres especies, y solo el 36,11% son características presentes en una sola especie. *Ilex guayusa* es la especie que más se dife-

rencia de las otras dos especies estudiadas, sin embargo, se encontró en su estructura anatómica se asemeja mucho a *Ilex paraguariensis*, o más conocida como Mate, especie con un alto valor cultural para Argentina (Bustos y Bonino, 2005).

Las características anatómicas descritas en el presente estudio coinciden con las reportadas por Baas (1973), quien en su estudio describe detalladamente la anatomía de la madera de 81 especies del género *Ilex*. Así también, se encontró similitud de los resultados de la anatomía de *Ilex guayusa* con lo

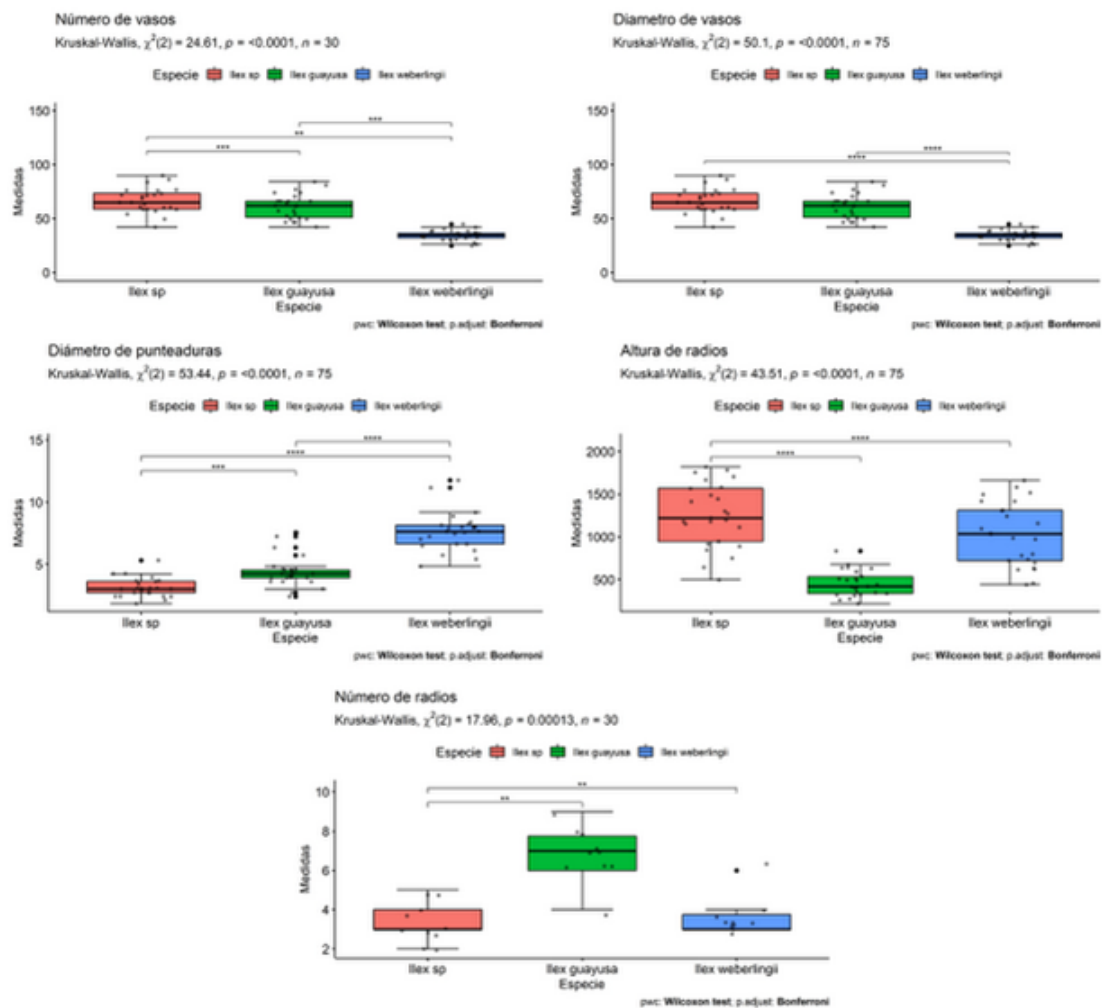


Fig. 4: Diagramas de caja evidenciando la variabilidad de las características cuantitativas en tres especies del género *Ilex* colectadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Ecuador).

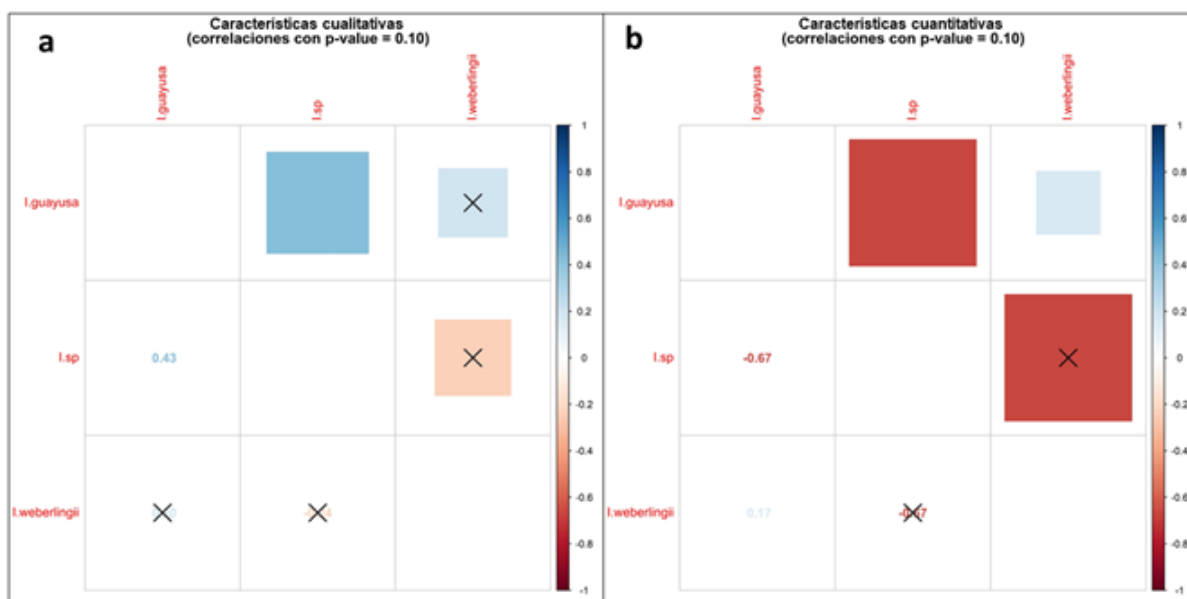


Fig. 5: Correlación entre variables cualitativas (a) y cuantitativas (b) de la madera de las tres especies del género *Ilex* colectadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Ecuador). El color muestra el grado de correlación de acuerdo con la gradiente de la escala, y las x indican los valores que no son significantes bajo un p-value de 0,10.

reportado en el estudio de Montaña *et al.* (2019). Al contrario, se discrepa con Llerena (2018) quien menciona que esta especie presenta radios finos, tipo no estratificado, a diferente altura sin seguir un orden, características que no fueron encontradas en nuestro estudio. Esta variación se puede aludir a la edad de la especie, así como a los factores edáficos y climáticos de los sitios donde se desarrollaron estos individuos.

Las especies en estudio no presentaron anillos de crecimiento definidos, frente a esto, Wheeler *et al.* (2007) sostiene que en los trópicos la incidencia de los límites de los anillos de crecimiento es baja, un 34 %, ya que la estacionalidad de la actividad cambial no es frecuente. Los sitios donde se colectaron las especies de este estudio tampoco tienen una estacionalidad climática bien definida.

Las especies de nuestro estudio se caracterizaron por presentar patrones de poros difusos sin llevar un orden definido. Al respecto Wheeler *et al.* (2007) sostiene que es un patrón por defecto de las dicotiledóneas leñosas, ya que se caracterizan por poseer porosidad difusa (92 %) con vasos que no siguen ningún patrón en particular (83 %) y que se presentan como una mezcla de vasos solitarios y vasos agrupados en distintos patrones (66 %).

A nivel cuantitativo se evidenció que a pesar de que las especies son de la misma familia y género, no contaban con las mismas características anatómicas encontradas, sino estas variaban según la especie atribuyendo esto a la latitud y la altitud de los sitios donde fueron recolectadas. Esto concuerda con Arias y Terrazas (2001) quienes determinaron que la longitud de la fibra y el número y diámetro de los vasos tuvieron una asociación significativa con la latitud, mientras que la altura de los radios se asocia directamente con la altura del individuo.

También se encontró una relación inversa: mientras aumenta el número de vasos disminuye el diámetro del vaso. Tal como Panshin y Zeeuw (1980) explican en su estudio esta relación se da en las maderas de porosidad difusa, puesto que en estas el diámetro de los vasos aumenta y la densidad de los vasos disminuye concurrentemente, denotando así una relación inversa, no lineal, entre el diámetro y la densidad. Los vasos anchos y escasos se asocian a entornos húmedos en latitudes bajas y son raros en latitudes altas, mientras que los vasos estrechos y densos se asocian a entornos con latitudes altas (Zimmermann, 2013).

Es importante destacar que las características clave que diferencian a estas tres especies son el tamaño de punteaduras intervascuales. *I. weberlinguii* tiene las punteaduras más grandes, *I. guayusa* pequeñas, e *Ilex sp.* tiene punteaduras diminutas. De la misma manera, el número de vasos por milímetro cuadrado es otra característica importante para la identificación de estas especies: *I. weberlinguii* tiene el mayor número de vasos por milímetro cuadrado (≥ 100), *I. guayusa* de 40-100, e *Ilex sp.* de 20-40. Conocer estas características clave permite hacer una diferenciación de especies más fácil a nivel anatómico de la madera.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió concluir que la anatomía de la madera es una herramienta potencial para la identificación de especies forestales a través de las características microscópicas de la madera, especialmente a través de sus características

cuantitativas. El tamaño de punteaduras intervascuales y el número de vasos por milímetro cuadrado son las dos características claves para diferenciar una especie de otra. De las tres especies analizadas, *I. guayusa* mostró la mayor diferencia significativa en sus características cuantitativas de vasos, radios y punteaduras. Por lo tanto, una pequeña muestra de madera es suficiente para diferenciar el tipo de *Ilex* que se está estudiando.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a las prácticas pre-profesionales de la Carrera de Ingeniería Forestal denominadas: “Caracterización anatómica de diferentes especies forestales de la Región Sur de Ecuador”. Igualmente agradecemos a los técnicos de laboratorio Andrés Armijos y Victoria Moncada, por su acertada asistencia técnica y administrativa en el desarrollo de la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Darwin Pucha-Cofrep: DCP. Jennifer Rodríguez Oviedo: JRO. Fanny Aguinsaca Gómez: FAG. Héctor Zhiñin: HZ. Yessica Rey Jumbo: YRJ.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, a través del proyecto de investigación 21-DI-FARNR-2019: Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador.

REFERENCIAS

- Aguirre, Z., Cerón, C., & Neil, D. (2013). Bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú. In Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012 (Ed.), Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental (pp. 189–190). Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Andrews, S. (2021). Hollies: The Genus *Ilex*. *Curtis's Botanical Magazine*, 15(4), 285–289.
- Arias, S., & Terrazas, T. (2001). Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). *Anales Del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 72(2), 157–169.
- Baas, P. (1973). The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae). *Blumea*, 21(2), 193–258.
- Barnett, J. R. (2012). Wood Science for Promoting Legal Timber Harvest. *Botanical Journal of the Linnean So-*

- ciety, 170(1), 139–140. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01247.x>
- Feijoo, F. C. E., Ramón, A. D. D., & Pucha, C. D. A. (2019). Guía para cortes anatómicos de la Madera (EDILOJA Cía. Ltda). Universidad Nacional de Loja.
- GAD Parroquial Jimbilla. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Jimbilla 202-2023.
- GAD Parroquial Urdaneta. (2019). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Urdaneta.
- Hao, D., Gu, X., Xiao, P., Liang, Z., Xu, L., & Peng, Y. (2013). Research progress in the phytochemistry and biology of *Ilex pharmaceutical* resources. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 3(1), 8–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsb.2012.12.008>
- IAWA. (1989). IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification by an IAWA Committee. *Kew Bulletin*, 46(2), 376. <https://doi.org/10.2307/4110625>
- Macmillan, H. F. (2012). *Tropical Gardening and Planting*. Vijitha Yapa Publications.
- Martin, H. A. (1977). The history of *Ilex* (Aquifoliaceae) with special reference to Australia: Evidence from pollen. *Australian Journal of Botany*, 25(6), 655–673. <https://doi.org/10.1071/BT9770655>
- Montaño, J., Rosillo, E., Zhiñin, H., & Pucha-Cofrep, D. (2019). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Ilex guayusa* Loes. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 31–45.
- Panshin, A., & Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology. Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada* (4a. edición).
- Pérez, Á., Ganchozo, R., Romero, S., & Sánchez, M. (2019). Etnobotánica y etnofarmacología de *Ilex guayusa* en Ecuador: uso potencial de “wayusa” en Amazonía. *ResearchGate*.
- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (versión 4.1.2 (Bird Hippie)). R Foundation for Statistical Computing.
- Radice, M., & Vidari, G. (2007). Caracterización fitoquímica de la especie *Ilex guayusa* Loes. y elaboración de un prototipo de fitofármaco de interés comercial. *La Granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 6, 3–11.
- Ticknor, R. L. (1986). Overview of commercial Production of Cut English Holly in the Pacific NorthWest. *Am. Hortic. Mag*, 10(1), 12–15.
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Rodgers, S. (2007). Variations in dicot wood anatomy: A global analysis based on the insidewood database. *IAWA Journal*, 28(3), 229–258. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001638>
- Zimmermann, M. (2013). *Estructura del xilema y ascenso de la savia* (Ciencia Springer & Medios comerciales (Ed.)).

Determinación de la curva de crecimiento en la cabra “Chusca Lojana” del bosque seco del Sur del Ecuador

Determination of the growth curve in the Creole goat “Chusca Lojana” from the dry forest of the southern region of Ecuador

Lenin Aguirre^{1,*}, Oscar Albito¹, Rodrigo Abad-Guamán¹ y Teddy Maza¹

¹ Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, edgar.aguirre@unl.edu.ec, oscar.albito@unl.edu.ec, rodrigo.abad@unl.edu.ec, temata1@hotmail.com.

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

Fecha de recepción del manuscrito: 04/02/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 14/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar la curva de crecimiento de la cabra criolla “Chusca Lojana” del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. Se evaluó la capacidad de ajuste de cuatro modelos de crecimiento (Logístico, Von Bertalanffy, Brody y Gompertz) y se estimó el porcentaje de madurez que alcanzan a las distintas edades. Se utilizaron registros de peso de 244 animales (56 machos y 188 hembras de diversas edades) mediante el procedimiento NLIN de SAS. El modelo Brody fue el que mejor se adapta para describir la curva de crecimiento de la cabra Chusca Lojana en el sistema de producción extensiva del bosque seco y sirve como indicador de evaluación genética y ambiental, permitiendo determinar la edad óptima al sacrificio y establecer estrategias de manejo, alimentación y selección de los mejores genotipos. En la descripción de la curva de crecimiento para hembras y machos se estimaron pesos a la madurez de $40 \pm 1,3$ kg y $62,5 \pm 4$ kg, respectivamente. La madurez alcanzada a los cuatro y seis meses de edad para hembras fue del 32 % y 40 %, mientras que en machos fue del 23 % y 31 %, identificándose un crecimiento mínimo luego de los 42 y 38 meses de edad para hembras y machos, respectivamente.

Palabras clave—Modelos no lineales, Edad, Madurez, Cabra criolla.

Abstract—The present work aimed to study the growth curve of the Creole goat “Chusca Lojana” from the dry forest of the province of Loja, Ecuador. The adjustment of four growth models (Logistic, Von Bertalanffy, Brody and Gompertz) was evaluated and the percentage of maturity reached at different ages was estimated. Weight records of animals (56 males and 188 females of various ages) were used, using the SAS NLIN procedure. The Brody model was the best adapted to describe the growth curve of the Chusca Lojana goat in the extensive production system of the dry forest, and serves as an indicator of genetic and environmental evaluation. It determined the optimal age at slaughter and helped to establish management strategies, feeding and selection of the best genotypes. In the description of the growth curve for females and males, weights at maturity of 40 ± 1.3 kg and 62.5 ± 4 kg, respectively, were estimated. The maturity reached at four and six months of age was 32 % and 40 % for females, while it was 23 % and 31 % in males, identifying a minimum growth after 42 and 38 months of age for females and males, respectively.

Keywords—Nonlinear models, Age, Maturity, Creole goat.

INTRODUCCIÓN

La cabra Chusca que habita la región sur del Ecuador tiene sus orígenes en aquellas poblaciones europeas y africanas que Colón en sus viajes trajo a América (Rodero et al. 1992), las mismas que desde inicios del siglo XVI han tenido un proceso continuo de coevolución a los diferentes ecosistemas imperantes en el nuevo mundo, permitiéndoles con ello alcanzar características genéticas, fanerópticas y fenotípicas particulares distintas al resto de poblaciones (Aguirre et al. 2020; 2021).

El estudio del crecimiento de la cabra Chusca Lojana ma-

nejada bajo un sistema de producción extensiva y poco tecnificada es de gran importancia en la producción, salud y bienestar animal. El crecimiento animal implica el aumento en los músculos, huesos, órganos y depósitos de grasa (Maynard & Loosli, 1969), este fenómeno generalmente depende tanto de la edad cronológica y fisiológica (relación entre sexo, tamaño, madurez y estado hormonal), como del genotipo (potencial genético del individuo), y tiene relación con factores ambientales (alimentación, manejo, salud, efectos climáticos, entre otros).

Generalmente, el estudio de la curva de crecimiento a través de los modelos no lineales permite conocer los niveles

de respuesta de los animales en relación al tratamiento, dosis y tiempo, identifica a los animales de mejor desempeño a edades tempranas y determina la variación entre y dentro de individuos para fines de evaluación genética (Sandland & Mcgilchrist, 1979; Draper & Smith, 1980; Mansour *et al.* 1991; Davidian & Giltinan, 1996).

Existen varios modelos no lineales capaces de describir el crecimiento de los animales a través de curvas sigmoideas en donde se considera la relación del peso corporal y edad de los animales (Davidian & Giltinan, 1996), siendo considerados como más adecuados para explicar el proceso de crecimiento (Ratkowsky, 1990), entre los cuales encontramos los modelos como: Brody o Monomolecular (Brody, 1945), Gompertz (Winsor, 1932), Logístico (Nelder, 1961) y Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957), que han sido utilizados ampliamente para describir el crecimiento animal en diferentes especies (Carneiro *et al.*, 2009).

En este contexto, generar información sobre el crecimiento de la cabra Chusca Lojana permitirá realizar evaluaciones sencillas sobre la productividad de esta raza en una zona determinada. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es validar el modelo más apropiado de estimación de crecimiento para esta población manejada extensivamente en el bosque seco con fines de selección y mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el bosque seco de la provincia de Loja ubicada al sur del Ecuador (Figura 1), caracterizado por su topografía irregular, altitud desde los 40 a 1200 msnm, con una escasa pluviometría y limitada producción de biomasa forrajera, con dos estaciones marcadas de invierno y verano.

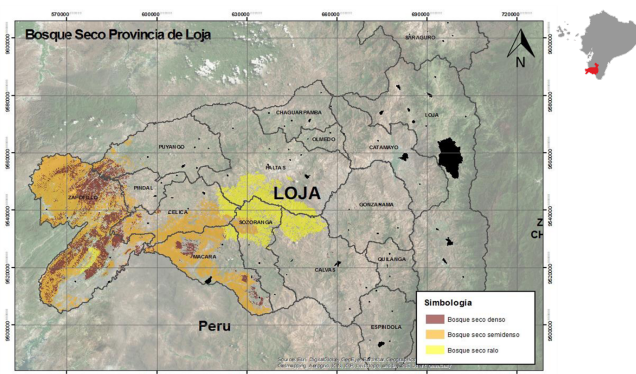


Fig. 1: Ubicación geográfica en el Ecuador de la zona de estudio en el bosque seco de la provincia de Loja.

Fueron analizados datos de 244 cabras Chuscas (56 machos y 188 hembras), descritas previamente (Aguirre *et al.*, 2020, 2021), de diversas edades, caracterizados por su amplia policromía de colores en su capa, manejadas bajo un sistema de pastoreo extensivo y poco tecnificado, sin ningún tipo de registro y sin ninguna característica que vinculen a estos animales a razas exóticas. Se registró el peso vivo de los animales con balanza electrónica colgante NVK®, modelo OCS-B, con un grado de precisión de 0,2 kg y la edad se determinó con base en las declaraciones del capricultor y uso de la metodología de observación dentaria propuesto por la FAO (1994).

Análisis de información

Los modelos utilizados para describir el crecimiento de los animales fueron: Logístico, Von Bertalanffy, Brody y el de Gompertz. Las expresiones matemáticas que representan a cada uno de los modelos son presentadas en la Tabla 1. Los ajustes de los modelos fueron realizados mediante el procedimiento NLIN de SAS y en la elección del modelo se consideró el valor AIC (Akaike Information Criterion) de cada uno de ellos.

Tabla 1: Descripción matemática de los modelos no lineales de crecimiento: y = peso del animal en el tiempo t ; β_0 = peso asintótico del animal cuando “ t ” tiende a infinito; β_1 = parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ o $t \neq 0$; β_2 = índice de madurez o medida de precocidad; e = exponencial.

Modelo	Ecuación Matemática
Logístico	$y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{-1}$
Von Bertalanffy	$y = \beta_0(1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t})^3$
Brody	$y = \beta_0(1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t})$
Gompertz	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$

β_0 generalmente es interpretado como porcentaje de madurez con respecto al peso adulto, y β_2 es expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal, entre mayor sea, indica una tasa de crecimiento más rápida (Freitas, 2005; Sarmento *et al.* 2006).

Además, se calculó el porcentaje de madurez a los cuatro (M4) y seis meses (M6) de edad y la edad promedio para alcanzar el 75 (EM75) y 95 % (EM95) de madurez, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\%M = (1 - \beta_1 e^{\beta_1 t}) \tag{1}$$

Donde: % M= porcentaje de madurez estimado a 4 o 6 meses; β_1 = parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ o $t \neq 0$; t = tiempo para alcanzar un porcentaje de madurez (4 o 6 meses).

$$EM = -\log\left(\frac{1 - \%M}{\beta_2}\right) \tag{2}$$

Donde: EM= edad estimada al alcanzar el 75 o 95 % de madurez; % M= porcentaje de madurez esperado (75 o 95 %); β_1 = parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ o $t \neq 0$; β_2 = índice de madurez o medida de precocidad.

RESULTADOS

La comparación del peso asintótico (A) (Tabla 2) obtenido por los cuatro modelos para hembras identificó los mayores pesos en Brody, seguidos por los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. En los machos, se obtuvo el mismo comportamiento que en las hembras: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. Entre los modelos utilizados, Brody es el más acorde por realizar una mejor descripción de la curva de crecimiento al tener un AIC menor y no sobreestimar los pesos al nacimiento en ambos sexos.

En la Figura 2 se muestra la proyección del peso en relación a la edad en las hembras y machos de los modelos

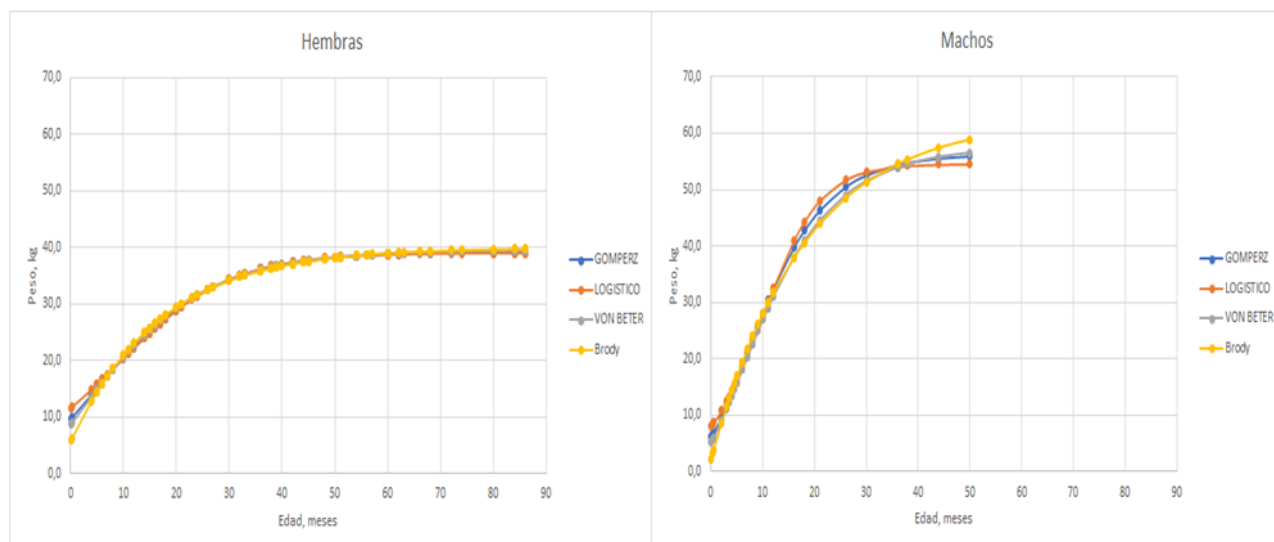


Fig. 2: Curva de crecimiento de la cabra Chusca Lojana en ambos sexos, obtenidas por los modelos Brody, Gompertz, Logístico y Von Bertalanffy.

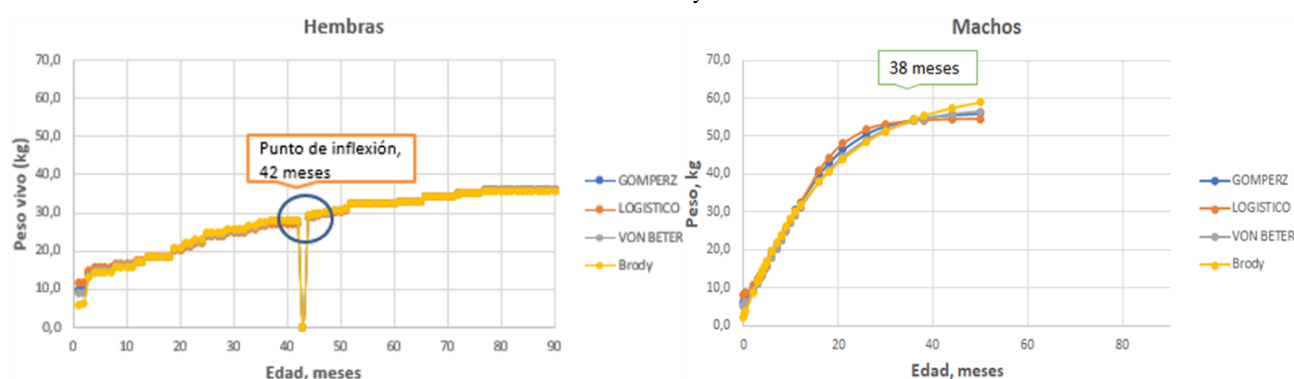


Fig. 3: Estimación del punto de inflexión en la curva de crecimiento de la cabra Chusca Lojana en ambos sexos, por los modelos Brody, Gompertz, Logístico y Von Bertalanffy.

Tabla 2: Parámetros estimados (A, B y K) para cada modelo del estudio de la curva de crecimiento biológico para ambos sexos de la cabra criolla Chusca Lojana. A = peso asíntotico del animal; B = parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ o $t \neq 0$ (punto de inflexión, inicio de la etapa de autodesaceleración del peso); K = índice de madurez o medida de precocidad, expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal.

Modelo	Sexo	A (kg)	B	K
Logístico	Hembras	39,0	2,37	0,0951
	Machos	54,6	5,78	0,1787
Von Bertalanffy	Hembras	39,5	0,40	0,0716
	Machos	57,5	0,55	0,0910
Brody	Hembras	39,9	0,86	0,0591
	Machos	62,5	0,96	0,0559
Gompertz	Hembras	39,3	1,42	0,0775
	Machos	56,4	2,21	0,1158

analizados, donde se establece que el modelo Brody realiza una mejor descripción de la curva de crecimiento.

En la etapa de autodesaceleración del peso del animal (parámetro B) donde se identifica el punto de inflexión (Figura 3), se obtuvieron resultados similares en cada uno de los modelos, donde se observó que en hembras y machos lo alcanzan a los 42 y 38 meses de edad, respectivamente. Durante

este tiempo el peso promedio obtenido en hembras es de $40 \pm 1,3$ kg y en machos es de $62,5 \pm 4$ kg, luego de este periodo el crecimiento viene a ser mínimo.

En relación a la velocidad de crecimiento para alcanzar el peso a la madurez (K), en hembras se observaron distintos valores para cada uno de los modelos: 0,095 (Logístico), 0,077 (Gompertz), 0,0716 (Von Bertalanffy) y 0,059 (Brody), mientras que para machos se obtuvo 0,178 (Logístico), 0,115 (Gompertz), 0,091 (Von Bertalanffy) y 0,055 (Brody), determinando que los valores más altos indican animales con madurez precoz. Así mismo, la madurez alcanzada a los 4, 6, 21 y 48 meses en hembras es del 32%, 40%, 75% y 95% y en machos en 23%, 31%, 75% y 95% respectivamente, identificándose un crecimiento precoz en las hembras en relación a los machos hasta los 2 años, para a partir de allí los machos tener un mayor crecimiento, alcanzando una madurez un poco más temprana que las hembras, debiéndose esto posiblemente a que las hembras antes de los 2 años ya comienzan a parir y por tanto tienen que sacrificar su crecimiento por la lactación.

DISCUSIÓN

En este estudio se establece que el modelo de Brody es el que mejor ajuste tiene a los datos observados, resultados similares fueron observados en otros autores (Freitas, 2005;

Gbangboche et al. 2008; Bahreini et al. 2014) en cabras de raza Moxotó, ovejas enanas africanas y Baluchi, respectivamente.

Los modelos utilizados son adecuados para describir la curva de crecimiento de la cabra Chusca Lojana de acuerdo con la precisión con la que se ajusten los datos, obteniéndose el coeficiente de determinación (R^2) más alto para el modelo de Brody, que fue de 0,882, que está en correspondencia con el menor valor de AIC, lo que permite establecer a este modelo como el mejor para describir los datos observados. Diversos estudios establecen la importancia biológica de la curva de crecimiento en relación al peso asintótico y tasa de crecimiento relativa (crecimiento exponencial) distribuidas en el tiempo (Mcmanus et al. 2003; Tsukahara et al. 2008; Lupi et al. 2015), independientemente del efecto genético y ambiental donde se desenvuelva la especie.

Los pesos de machos y hembras están dentro del rango de amplitud y concuerdan con los estudios realizados en Argentina por Rossanigo et al. (1995) en cabra criolla Santa Luiseña, estableciendo pesos de machos de 50 a 80 kg y en hembras de 30 a 50 kg, así como por Martínez-Rojer et al. (2014) en México donde identificó peso adulto de la cabra blanca criolla del Filo Mayor para machos de $68,0 \pm 2,1$ kg y en hembras de $43,0 \pm 3,2$ kg.

Hay diferencia entre pesos asintóticos para ambos sexos donde las hembras por lo general tienen el tamaño corporal pequeño y menor peso con la finalidad de llegar a la madurez fisiológica y empezar el proceso reproductivo, reduciendo los requisitos nutritivos para el mantenimiento y crecimiento fisiológico, características que presentan un dimorfismo en esta especie (McManus et al. 2003; Sarmiento et al. 2006; Carneiro et al. 2009; Ulutas et al. 2010; Gbangboche et al. 2011; Lupi et al. 2015).

De acuerdo a Figueiredo Filho et al. (2012), Alexandre et al. (1997, 1999) y Najari et al. (2002), el peso asintótico es un parámetro influenciado por recursos técnicos y naturales como sistema de producción, raza (genotipos), selección, tipo de nacimiento, sexo y condiciones climáticas (año y estación de nacimiento), siendo los responsables en mayor o menor medida en la variación de la curva de crecimiento ajustada al peso a medida que las cabras criollas alcanzan la madurez fisiológica. Por esta razón es de suponer que este modelo de curva obtenido en la Chusca Lojana va a variar a medida que cualquiera de los factores antes mencionados cambie en el ecosistema del bosque seco donde habita este animal.

En relación a la velocidad de crecimiento hasta alcanzar la madurez, se identificó que las hembras son más precoces en relación a los machos, esto podría verse como un mecanismo de adaptación a las condiciones limitadas del bosque seco de la provincia de Loja, lo que garantiza la supervivencia a través del éxito en el proceso de reproducción. De manera similar, varios autores han afirmado la influencia del sexo sobre la velocidad de crecimiento en otras especies (Chemineau et al. 1996; Carneiro et al. 2009; Ghavi, 2015), así como otros factores como tipo de nacimiento, número de partos, año y estación de nacimiento (Bathaei & Leroy, 1996; Gbangboche et al. 2008).

En relación al tiempo prolongado para alcanzar el punto de inflexión en esta población, observado en este estudio en ambos sexos, podría estar relacionado al sistema de producción extensivo y poco tecnificado en donde los animales tienden

a recorrer grandes distancias para cubrir sus exigencias nutricionales, tal y como se ha demostrado en diversos estudios donde identificaron que el crecimiento de las cabras criollas es lento en comparación con razas que son criadas en condiciones favorables (Bembridge & Tapson 1993; Sharma et al. 1998; Van Niekerk & Casey, 1988; Najari et al. 2000).

CONCLUSIONES

El modelo Brody es el que mejor se adapta para describir la curva de crecimiento de la cabra Chusca Lojana en el sistema de producción extensiva del bosque seco de la provincia de Loja y sirve como indicador de evaluación genética y ambiental, permitiendo determinar la edad óptima al sacrificio y establecer estrategias de alimentación, manejo y selección de los mejores genotipos.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento y reconocimiento especial a los Capricultores del bosque seco de la provincia de Loja, quienes mantienen este valioso recurso genético como medio de subsistencia.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Lenin Aguirre-Riofrio: LAR. Oscar Albito: OA. Rodrigo Abad: RA. Teddy Maza: TM

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Loja en el proyecto de investigación P07-DI-FARNR-2019, “Estudio de la cabra Chusca lojana con fines de selección, conservación y mejora genética en el bosque seco de la provincia de Loja”.

REFERENCIAS

- Aguirre, L., Maza, T., Quezada, M., Albito, O., Flores, A., Camacho, O., Martínez, A., BioGoat Consortium y Delgado, J.V. (2020). Genetic Characterization of the “Chusca Lojana”, a Creole Goat Reared in Ecuador, and Its Relationship with Other Goat Breeds. *Animals*, 10(6), 1026.
- Aguirre, L., Maza, T., Quezada, M., Albito, O., Armijos, D.R., Flores, A. y Camacho, O. (2021). Descripción morfométrica y faneroptica de la cabra “Chusca lojana” del bosque seco del Sur del Ecuador. *Archivos de Zootecnia*, 70(270), 172-176.
- Alexandre, G., Aumont, G., Fleury, J., Coppoly, O., Mulciba, P. y Nepos A. (1997). Producción semi-intensiva de pastos de cabras de carne en el trópico húmedo: el caso de las cabras criollas sobre pangola (*Digitaria decum-*

- bens) en Guadalupe. *INRA Prod. Anim.*, 10(1), 43-53.
- Alexandre, G., Aumont, G., Despois, P., Mainaud, J.C., Cppry, O. y Xandé, A. (1999). Productive performance of Guadeloupean Creole goat during the suckling period. *Small Ruminant Research*, 34(2), 155-160.
- Bahreini, B.M., Aslaminejad, A.A., Sharifi, A.R. y Simianer, H. (2014). Comparison of mathematical models for describing the growth of Baluchi sheep. *Journal Agriculture Science Technology*, 14(1), 57-68.
- Bathaei, S.S. y Leroy, P.L. (1996). Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*, 22(2), 155-162. Bembridge, T.J. y Tapson, D.R. (1993). Communal Livestock Systems. In: *Livestock Production Systems*. Maree and Casey (Eds.) Pretoria: Agri Development Foundation, 361-373.
- Brody, S. (1945). *Bioenergetics and growth, with special reference to the efficiency complex in domestic animals*. New York. Rheinhold, 645.
- Carneiro, P.L.S., Malhado, C.H.M., Affonso, P.R.A., Pereira, D.G., Suzart, J.C.C., Ribeiro, M.J.R. y Rocha, J.L. (2009). Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 10(3), 536–545.
- Chemineau, P., Baril, G., Leboeuf, B., Maurel, MC. y Cognie, Y. (1996). Recent advances in the control of goat reproduction. 6th Int. Conf. on Goats Beijing, International Academic Publishers, Beijing, China: 776-784.
- Davidian, M. y Giltinan, D.M. (1996). *Nonlinear models for repeated measurement data*. 2.ed. Chapman Hall Edit. London, England.
- Draper, N.R. y Smith, H. (1980). *Applied regression analysis*. 2.ed. John Wiley & Sons Edit. New York, United State. FAO. (1994). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1994. Dilemas del desarrollo y las políticas forestales*. FAO, Roma-Italy.
- Figueiredo Filho, L.A.S., Sarmiento, J.L.R., Campelo, J.E.G., Da Silva Santos, N.P., De Sousa, J.E.R. y Biagiotti, D. (2012). Fatores ambientais e genéticos sobre a curva de crescimento de caprinos mestiços. *Comunicata Scientiae*, 3(3), 154-161.
- Freitas, A.R.D. (2005). Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(3), 786-795.
- Gbangboche, A.B., Glele-Kakai, R., Salifou, S., Albuquerque, L.G.D. y Leroy, P.L. (2008). Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. *Animal*, 2(7), 1003-1012.
- Gbangboche, A.B., Alkoiret, T.I., Salifou, S., Farnir, F., Leroy, P.L., Abiola, F.A. (2011). Growth pattern of purebred West African Dwarf sheep and its crosses with the West African long legged. *Research Journal of Animal Sciences*, 5, 6–13.
- Ghavi N. (2015). Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. *Small Ruminant Research*, 130, 60-66.
- Lupi, T.M., Nogales, S., León, J.M., Barba, C. y Delgado, J.V. (2015). Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal*, 9(8), 1341-1348.
- Mansour, H., Jensen, E.L. y Johnson, L.P. (1991). Analysis of covariance structure of repeated measurements in Holstein conformation traits. *Journal of Dairy Science*, 74(8), 2757-2766.
- Martínez-Rojer, R.D., Torres-Hernández, G. y Martínez-Hernández, S. (2014). Caracterización fenotípica, productiva y reproductiva de la cabra blanca Criolla del "Filo Mayor" de la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero. *Nova scientia*, 6(11), 25-44.
- Maynard, L.A. y Loosli, J.K. (1969). *Animal Nutrition*, 6th Ed. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York.
- McManus, C., Evangelista, C., Fernandes, L.A.C., Miranda, R.M., Moreno-Bernal, F. E. y Santos, N.R. (2003). Curvas de Crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(5), 1207–1212.
- Najari, S., Ben-Hamouda, M., Khaldi, G., Hatmi, H. y Khorchani, T. (2000). Improvement of goat production in arid regions by the use of exotic breeds. In: *7th Conference International on Goats*. Tours, France: 211-214.
- Najari, S., Ben-Hamouda, M. y Knaledi, G. (2002). Kid's genotype expression under arid conditions. In *Proceedings of the 7th World Congress on Genetic Applied to livestock Production*. Montpellier, France: 401– 404.
- Nelder, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110.
- Ratkowsky, D.A. (1990). *Handbook of nonlinear regression models*. New York: 241. Rodero, A., Delgado, J.V. y Rodero, E. (1992). Primitive Andalusian livestock and their implications in the discovery of America. *Archivos de Zootecnia*, 41(154), 383–400.
- Rossanigo, C.E., Friguerio, K. y Silva-Colomer, J. (1995). Producción de la cabra criolla sanluiseña (Argentina). *Veterinaria Argentina*, 16(151), 24-33.
- Sandland, R.L. y McGilchrist, C.A. (1979). Stochastic growth curve analysis. *Biometrics*, 35(1), 255–271.
- Sarmiento, J.L.R., Regazzi, A.J., Sousa, W.H.D., Torres, R.D.A., Breda, F.C. y Menezes, G.R.D. (2006). Estudio da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 435-442.
- Sharma, K., Saini, A.L., Singh. N. y Ogra, J.L. (1998). Seasonal variation in grazing behaviour and forage nutrient utilization by goats on a semi-arid reconstituted silvipasture. *Small Ruminant Research*, 27(1), 47-54.
- Tsukahara, Y., Chomei, Y., Oishi, K., Kahi, A.K., Panandam, J.M., Mukherjee, T.K. y Hirooka, H. (2008). Analysis of growth patterns in purebred Kambing Katjang goat and its crosses with the German Fawn. *Small Ruminant Research*, 80(1-3), 8-15.
- Ulutas, Z., Sezer, M., Aksoy, Y., Sirin, E., Sen, U., Kuran, M. y Akbas, Y. (2010). The effect of birth types on growth curve parameters of Karayaka lamb. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(9), 1384–1388.
- Van Niekerk, W.A. y Casey, N.H. (1988). The Boer Goat II. Growth, nutrient requirements, carcass and meat quality. *Small Ruminant. Research*, 1(4), 355-368.
- Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231.
- Winsor, C.P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 18(1), 1-8.

Determinación de los factores óptimos de desinfección utilizando Bioperac en maracuyá, limón y aguacate en el cantón Catamayo.

Determination of the optimal disinfection factors using Bioperac in passion fruit, lemon and avocado from the Catamayo canton.

Jenyffer Alexandra Correa-Campoverde^{1,*} y Wilson Rolando Chalco-Sandoval¹

¹ Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: wilson.chalco@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 07/02/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 13/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—La determinación y aplicación de parámetros óptimos de desinfección durante el proceso poscosecha de frutas y hortalizas es primordial, mantiene al producto en buenas condiciones y asegura que no constituya un riesgo en la salud del consumidor. Esta investigación estuvo enfocada en garantizar la calidad e inocuidad de los productos agrícolas, específicamente en maracuyá, limón y aguacate, producidos en el barrio La Era del Cantón Catamayo, provincia de Loja. Para ello, se determinó un tamaño de muestra de 68 unidades por producto, posteriormente se desarrollaron pruebas preliminares empleando cinco concentraciones de desinfectante Bioperac (0,25; 0,50; 1,00; 1,50 y 2,00 %) y mediante un análisis organoléptico se establecieron los tratamientos definitivos; en estos se evaluaron las características de calidad: organolépticas, físico-químicas y microbiológicas; finalmente, se determinaron los costos de producción requeridos en el manejo poscosecha de los productos. Los resultados obtenidos respecto a los análisis de calidad e inocuidad de los tratamientos definitivos indicaron que los factores óptimos de desinfección para maracuyá, limón y aguacate corresponden al 1,00 % de Bioperac, con un tiempo de contacto de 3 minutos, a una temperatura de refrigeración de 7 °C, empacados en bolsas de polietileno (limón) y polipropileno (maracuyá y aguacate). El tiempo de vida útil para maracuyá y aguacate fue de 35 días, mientras que en limón fue de 49 días, cuyos costos de producción son más bajos a los ofertados por los supermercados en la ciudad de Loja.

Palabras clave—Poscosecha, Desinfección, Bioperac, Calidad.

Abstract—The determination and application of optimal disinfection parameters during the post-harvest process of fruits and vegetables is essential, it keeps the product in good condition and ensures that it does not constitute a risk to the consumer's health. This research was focused on guaranteeing the quality and safety of agricultural products, specifically passion fruit, lemon and avocado, produced in the La Era neighborhood of the Catamayo Canton, province of Loja. For this, a sample size of 68 units per product was determined, subsequently preliminary tests were developed using five concentrations of Bioperac disinfectant (0.25; 0.50; 1.00; 1.50 and 2.00 %) and by means of an organoleptic analysis established the definitive treatments; quality characteristics were evaluated in these: organoleptic, physical-chemical and microbiological; Finally, the production costs required in the post-harvest handling of the products were determined. The results obtained regarding the quality and safety analyzes of the definitive treatments indicated that the optimal disinfection factors for passion fruit, lemon and avocado correspond to 1.00 % Bioperac, with a contact time of 3 minutes, at a temperature of refrigerated at 7 °C, packed in polyethylene (lemon) and polypropylene (passion fruit and avocado) bags. The shelf life for passion fruit and avocado was 35 days, while for lemon it was 49 days, whose production costs are lower than those offered by supermarkets in the city of Loja.

Keywords—Postharvest, Disinfection, Bioperac, Quality.

INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA (2016) la tercera parte de los alimentos producidos a nivel mundial se desperdician, provocando grandes pérdidas económicas en países en desarrollo, se calcula que para el año 2050 el incremento poblacional obligará al sector agrícola a aumentar en un 60 % la producción de alimentos para cubrir la demanda alimentaria. De

acuerdo a las investigaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (2019) en América Latina y el Caribe se pierden alrededor del 20 % de la cantidad global de alimentos entre el proceso poscosecha y la comercialización, en Ecuador este porcentaje asciende al 40 % o más, dato preocupante que lo coloca en la lista de países latinoamericanos que más desperdicia alimentos.

La parroquia El Tambo, ubicada en el Cantón Catamayo,

provincia de Loja, se caracteriza por poseer un gran potencial agrícola que provee de alimentos a una buena parte de mercados dentro de la provincia. A pesar de ser una parroquia netamente dedicada a la agricultura, los productores no se encuentran capacitados para realizar un manejo poscosecha adecuado en las frutas y hortalizas destinadas a la comercialización, lo cual genera bajos niveles de producción e impide que los agricultores consigan mejores ingresos económicos para el sector (PDOT de la Parroquia El Tambo, 2014).

Por este motivo, varios autores han centrado sus investigaciones en la búsqueda de estrategias que garanticen la calidad e inocuidad durante el proceso poscosecha de las frutas y hortalizas a través de la aplicación de desinfectantes, por ejemplo: Rojas (2019) evaluó la vida útil de la zanahoria cortada en cubitos y desinfectada con hipoclorito de sodio, ozono y aceite esencial de orégano y tomillo; de igual manera, Palacios (2020) aplicó estos desinfectantes en lechuga en repollo y en hoja, alcanzando un tiempo de vida útil de 63 y 35 días, respectivamente. Estas contribuciones lograron comprobar la eficacia de los agentes desinfectantes en la conservación de calidad de los productos y a su vez prolongar la vida útil.

Ante la problemática descrita anteriormente resulta conveniente aportar con alternativas innovadoras que resuelvan en parte o totalmente los inconvenientes que se presentan a lo largo de la cadena de valor, de manera específica en el proceso de poscosecha de las frutas y hortalizas donde ocurren la mayor cantidad de pérdidas, las cuales se atribuyen principalmente al deterioro por la presencia de microorganismos patógenos en los productos, por lo que es de gran importancia disminuir y controlar la actividad microbiana patógena en la etapa de desinfección. Para lograr esto, en el mercado existen un sinnúmero de productos desinfectantes tanto de origen natural como sintéticos, pero no todos son recomendables, la mayor parte de estos tienen efectos secundarios tanto para el alimento como para el consumidor; en consecuencia, realizar investigaciones que permitan identificar desinfectantes no perjudiciales con fines orgánicos es prioritario.

El Bioperac es un desinfectante compuesto de peróxido de hidrógeno y ácido peracético, mismo que permite eliminar una gran cantidad de microorganismos patógenos, además de ser un desinfectante que se puede utilizar en productos orgánicos sin afectar la salud de los consumidores.

A través de esta investigación se pretende contribuir a garantizar la calidad e inocuidad de los productos agrícolas producidos en el barrio La Era del cantón Catamayo, provincia de Loja, de la siguiente manera: en primer lugar, establecer los tratamientos definitivos de desinfección utilizando el Bioperac en maracuyá, limón y aguacate; posteriormente, evaluar la calidad e inocuidad de los tratamientos definitivos a través de los análisis organoléptico, físico-químico y microbiológico; finalmente, determinar los costos de producción necesarios para llevar a cabo el manejo poscosecha en cada producto. Además, se espera que la presente investigación sea una alternativa que permita a los agricultores obtener mayores ingresos que contribuyan a mejorar su calidad de vida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ejecución de la investigación se desarrolló en el barrio “La Era”, parroquia El Tambo, durante el año 2021. Este sector se ubica a 50 km de la ciudad de Loja, a una altitud de 1232 msnm, en las coordenadas 9558476 N, 0678675 E. Presenta un clima entre cálido seco a cálido húmedo y su temperatura varía entre 18 y 20°C. De acuerdo a su división política, limita al norte con la parroquia Catamayo, al sur con la parroquia Malacatos y el cantón Gonzanamá, al este con el cantón Loja y al oeste con el cantón Gonzanamá (Figura 1).



Fig. 1: Mapa de ubicación de la parroquia El Tambo, barrio La Era.

Muestreo

Se seleccionaron 68 unidades de maracuyá, limón y aguacate. El tamaño de la muestra se delimitó mediante la fórmula (1).

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q} \quad (1)$$

En donde:

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza

e = precisión (error máximo admisible)

p = probabilidad de éxito o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

Pruebas preliminares

Para establecer las pruebas preliminares se determinaron las concentraciones del desinfectante Bioperac en base a la ficha técnica dispuesta por OXA CHEMICAL SPECIALTIES, con esto se definieron cinco tratamientos (tabla 1) con tres repeticiones por cada uno, donde la unidad experimental estuvo representada por una fruta.

Una vez definidos los tratamientos preliminares se llevó a cabo el proceso poscosecha, el cual consistió en lo siguiente: primeramente, se realizó la recolección de materia prima de acuerdo a la madurez fisiológica de cada producto, para esta actividad se determinaron 8 fincas (muestra) considerando que existen 30 fincas (población) que producen las frutas de estudio en el barrio La Era; luego, se seleccionaron a los

productos que no presentaron alteraciones físicas y mediante un lavado, utilizando agua potable, se eliminaron todo tipo de residuos extraños. Posteriormente, se aplicó la desinfección, para esto las frutas se sumergieron en la solución con Bioperac, de acuerdo a las concentraciones definidas por tratamiento, durante un periodo de tres minutos, seguidamente se retiró el exceso de agua y se realizó el pesado. Para finalizar, se aplicó el envasado en fundas de polipropileno en maracuyá y aguacate, y fundas de polietileno en limón; en el caso del primer material de envase se añadieron 4 perforaciones (agujeros de 5 mm de diámetro), mientras que en el segundo material no se efectuó ninguna modificación. Los tratamientos se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 7°C.

Tabla 1: Tratamientos de desinfección con Bioperac aplicados a maracuyá, limón y aguacate

Tratamientos	Concentración de desinfectante (%)
Testigo	Sin concentración
T ₁	0,25
T ₂	0,50
T ₃	1,00
T ₄	1,50
T ₅	2,00

Para evaluar las pruebas preliminares y definir los tratamientos definitivos se realizó un análisis organoléptico, tanto al inicio como al final del tiempo de almacenamiento de los tratamientos, en el cual se evaluaron atributos de peso, color, textura y sabor, utilizando una escala hedónica de 7 puntos por cada producto de estudio. Dentro de este análisis, también se consideró el tiempo de almacenamiento que permanecieron los tratamientos preliminares en refrigeración.

Las escalas hedónicas utilizadas en el análisis organoléptico respecto a cada producto se describen a continuación:

- Maracuyá: color: 1-verde oscuro, 2-verde poco intenso con tonalidad amarilla leve, 3-amarillo poco intenso con tonalidad verde en los extremos del fruto, 4-amarillo intenso con tonalidad verde en los extremos, 5-amarillo en todo el fruto, 6-amarillo intenso con leves manchas cafés, 7-amarillo intenso con manchas café notorias; sabor: 1-disgusta mucho, 2-disgusta moderadamente, 3-disgusta poco, 4-ni gusta ni disgusta, 5-gusta poco, 6-gusta moderadamente, 7-gusta mucho; textura: 1-muy lisa, 2-lisa brillante, 3-ligeramente lisa, 4-moderadamente lisa, 5-ligeramente rugosa, 6-moderadamente rugosa, 7-muy rugosa.
- Limón: color: 1-verde oscuro, 2-verde ligeramente oscuro, 3-verde ligeramente claro, 4-verde claro, 5-verde claro con leve tonalidad amarilla, 6-amarillo poco intenso, 7-amarillo intenso; sabor: 1-extremadamente ácido, 2-muy fuertemente ácido, 3-fuertemente ácido, 4-medianamente ácido, 5-moderadamente ácido, 6-ligeramente ácido, 7-muy poco ácido; textura: 1-muy duro, 2-bastante duro, 3-moderadamente duro, 4-muy firme, 5-moderadamente firme, 6-ligeramente firme, 7-muy blando.
- Aguacate: color: 1-verde ligeramente claro, 2-verde claro, 3-verde claro intenso, 4-verde ligeramente oscuro, 5-

verde oscuro con manchas marrón leves, 6-verde oscuro intenso con manchas marrón notorias, 7-fruto totalmente negro; sabor: 1-disgusta mucho, 2-disgusta moderadamente, 3-disgusta poco, 4-ni gusta ni disgusta, 5-gusta poco, 6-gusta moderadamente, 7-gusta mucho; textura: 1-bastante duro, 2-moderadamente duro, 3-muy firme, 4-moderadamente firme, 5-ligeramente blando, 6-blando, 7-muy blando.

Tratamientos definitivos

En el caso de los tratamientos definitivos, además del análisis organoléptico, se realizaron análisis físico-químico y microbiológico, al inicio y final del almacenamiento. En el análisis físico-químico se determinaron parámetros como: humedad, proteína, carbohidratos, cenizas, grados Brix, pH, acidez y lípidos en el caso de aguacate; mientras que, en el análisis microbiológico se evaluaron coliformes totales, *Escherichia coli*, aerobios mesófilos y *Salmonella*. Con los resultados de los análisis antes descritos se determinaron los parámetros óptimos de desinfección.

Costos de producción

En base a los tratamientos definitivos se determinaron los costos de producción: fijos y variables; se tomaron en cuenta los rubros de luz, arriendo, mantenimiento y depreciación de los equipos, materia prima, precio de los materiales, insumos y mano de obra empleados durante el manejo poscosecha de los productos.

Diseño estadístico

El diseño estadístico se realizó a través del análisis de varianza (ANOVA) utilizando Statgraphics Plus para Windows 5.1. y las pruebas de comparación de medias se realizó utilizando Fisher (prueba LSD con 95% de nivel de significancia). Se consideró realizar 3 repeticiones en análisis organoléptico y físico-químico, mientras que en los análisis microbiológicos se realizaron 4 repeticiones.

RESULTADOS

De acuerdo a la evaluación organoléptica de las pruebas preliminares realizadas en maracuyá, limón y aguacate (Tabla 2) se observaron diferencias significativas entre el tratamiento testigo (sin desinfección) y tratamientos que recibieron desinfección, cuyas muestras conservaron sus características organolépticas durante la refrigeración. Por esta razón, el tiempo de almacenamiento fue determinante para definir los tratamientos definitivos.

En relación a maracuyá se presentaron diferencias significativas entre el T₃ (39 días) y los tratamientos restantes (32 a 35 días); en el caso del limón, los tratamientos T₁, T₂ y T₃ permanecieron en refrigeración durante 44, 45 y 46 días, respectivamente; en comparación a las muestras desinfectadas con el 1,50 y 2,00% que se conservaron durante 41 días. De igual manera, en aguacate el T₁, T₃ y T₅ se mantuvieron en conservación durante 35, 37 y 36 días, respectivamente. Las muestras desinfectadas que alcanzaron un mayor tiempo de almacenamientos fueron establecidos como tratamientos definitivos.

Tabla 2: Resultados del tiempo de almacenamiento de las pruebas preliminares en maracuyá, limón y aguacate.

Tratamientos	Concentración (%)	Tiempo de almacenamiento (días)		
		Maracuyá	Limón	Aguacate
Testigo	-	23,7(0,5) ^a	21,0(1,0) ^a	21,7(1,5) ^A
T ₁	0,25	31,7(1,2) ^b	44,0(1,7) ^b	35,3(0,6) ^b
T ₂	0,50	32,0(1,7) ^b	45,3(1,2) ^b	32,3(1,2) ^c
T ₃	1,00	39,0(1,0) ^c	46,3(1,5) ^b	37,3(1,2) ^b
T ₄	1,50	35,0(0,6) ^d	41,3(1,5) ^c	33,0(1,7) ^c
T ₅	2,00	32,0(1,0) ^b	41,0(1,7) ^c	36,3(1,2) ^b

a-d: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05)

Análisis organoléptico

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la evaluación organoléptica en maracuyá se evidencian diferencias significativas entre el tratamiento testigo (T₁), que tuvo el menor tiempo de almacenamiento (28 días), en comparación al tratamiento con desinfección (1,00%) que conservó las características de calidad durante 35 días en refrigeración. El análisis estadístico de las características organolépticas indicó que existen diferencias significativas entre los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento; en maracuyá, las calificaciones en la escala hedónica de los atributos organolépticos de color, sabor y textura, ascendieron durante la refrigeración (ver Tabla 2 y 3); para el T₁ y T₂, se mostraron cambios en el color de 3,7 (t_o) a 5,7 (t_f); en cuanto al sabor, se obtuvo un valor de 3,3 (t_o) y 6,7 (t_f); y, en relación a la textura se evidenció una variación de 2,3 (t_o) a 4,3 (t_f) durante la conservación de la fruta.

Tabla 3: Resultados del análisis organoléptico de los tratamientos definitivos de maracuyá

Parámetros	Tratamientos	Tiempo (días)			
		0	14	28	35
Peso	T ₁	237,0(3,6) ^{aw}	216,0(3,0) ^{ax}	198,7(2,5) ^{ay}	
	T ₂	239,0(3,6) ^{aw}	237,7(3,5) ^{bw}	236,0(3,6) ^{bw}	236,0(3,6) ^w
Color	T ₁	3,7(0,6) ^{aw}	5,0(1,0) ^{awx}	5,7(0,6) ^{ax}	
	T ₂	3,7(0,6) ^{aw}	3,7(0,6) ^{aw}	5,0(0,0) ^{ax}	5,0(0,0) ^x
Sabor	T ₁	3,3(0,6) ^{aw}	5,0(0,0) ^{ax}	6,7(0,6) ^{ay}	
	T ₂	3,3(0,6) ^{aw}	3,3(0,0) ^{bw}	5,3(0,6) ^{bx}	6,7(0,6) ^y
Textura	T ₁	2,3(0,6) ^{aw}	5,3(0,6) ^{ax}	5,3(0,6) ^{ax}	
	T ₂	2,3(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{bw}	4,0(0,0) ^{bx}	4,3(0,6) ^x

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) w-y: diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05)

Los resultados del análisis organoléptico para los tratamientos definitivos de limón se encuentran descritos en la tabla 4. Según la escala hedónica el atributo color presentó, inicialmente, valores de 2,7 y en la etapa final obtuvo una calificación de 4,7; en el parámetro de sabor se presentó una variación de 2,3 a 3,7; y en la textura, los frutos de limón mostraron un cambio de 2,7 a 4,7.

En la tabla 5 se presentan los resultados de la evaluación organoléptica de los tratamientos definitivos en aguacate; las muestras desinfectadas, inicialmente obtuvieron una calificación 2,7 que al final alcanzó un valor de 4,3; el atributo sabor, por su parte, presentó una variación de 1,7 a 4,7; mientras que en la textura, durante la etapa inicial mostraron valores cercanos a 1,7 y 4,3 durante el tiempo final de refrigeración.

Tabla 4: Resultados del análisis organoléptico de los tratamientos definitivos de limón

Parámetros	Tratamientos	Tiempo (días)			
		0	21	42	49
Peso	T ₁	49,3(4,2) ^{aw}	37,0(1,0) ^{ax}		
	T ₂	48,7(4,0) ^{aw}	48,3(4,2) ^{bw}	46,7(4,0) ^{aw}	
	T ₃	46,0(3,6) ^{aw}	45,0(3,6) ^{bw}	44,3(3,2) ^{aw}	
	T ₄	50,0(3,6) ^{aw}	48,7(3,1) ^{bw}	48,0(2,6) ^{aw}	47,3(3,2) ^w
Color	T ₁	2,7(0,6) ^{aw}	4,3(0,6) ^{ax}		
	T ₂	2,7(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{abw}	3,7(0,6) ^{aw}	
	T ₃	2,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{bw}	3,7(0,6) ^{aw}	
	T ₄	2,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^w	4,3(0,6) ^{ax}	4,7(0,6) ^x
Sabor	T ₁	2,3(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{aw}		
	T ₂	2,3(0,6) ^{aw}	2,3(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{ax}	
	T ₃	2,3(0,6) ^{aw}	2,3(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{ax}	
	T ₄	2,3(0,6) ^{aw}	2,3(0,6) ^{aw}	3,7(0,6) ^{ax}	3,7(0,6) ^x
Textura	T ₁	2,7(0,6) ^{aw}	1,7(0,6) ^{ax}		
	T ₂	2,7(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{bwx}	4,3(0,6) ^{ay}	
	T ₃	2,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{abw}	4,3(0,6) ^{ay}	
	T ₄	2,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{abw}	4,7(0,6) ^{ay}	4,7(0,6) ^y

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) w-y: diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05)

Tabla 5: Resultados del análisis organoléptico de los tratamientos definitivos de aguacate

Parámetros	Tratamientos	Tiempo (días)			
		0	14	28	35
Peso	T ₁	517,7(2,5) ^{aw}	473,7(4,0) ^{ay}	513,7(2,1) ^{aw}	
	T ₂	517,3(2,5) ^{aw}	515,7(2,1) ^{bw}	514,3(3,8) ^{aw}	
	T ₃	518,0(3,6) ^{aw}	516,3(3,8) ^{bw}	515,3(3,5) ^{aw}	513,3(3,8) ^w
	T ₄	519,0(3,0) ^{aw}	517,0(3,0) ^{bw}		
Color	T ₁	2,7(0,6) ^{aw}	6,0(1,0) ^{ay}	4,3(0,0) ^{ax}	
	T ₂	2,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{bw}	4,3(0,6) ^{ax}	
	T ₃	2,7(0,6) ^{aw}	3,0(0,0) ^{bw}	4,3(0,0) ^{ax}	4,3(0,6) ^{ax}
	T ₄	2,7(0,6) ^{aw}	3,7(0,6) ^{bwx}		
Sabor	T ₁	1,7(0,6) ^{aw}	6,0(1,0) ^{ay}	4,7(0,6) ^{ax}	
	T ₂	1,7(0,6) ^{aw}	2,7(0,6) ^{bw}	4,7(0,6) ^{ax}	
	T ₃	1,7(0,6) ^{aw}	3,7(1,0) ^{bx}	4,0(0,0) ^{ax}	4,7(0,6) ^x
	T ₄	1,7(0,6) ^{aw}	3,3(0,6) ^{bx}		
Textura	T ₁	1,7(0,6) ^{aw}	6,0(0,0) ^{ay}	4,3(0,6) ^{ay}	
	T ₂	1,7(0,6) ^{aw}	3,0(0,0) ^{bx}	4,3(0,6) ^{ay}	
	T ₃	1,7(0,6) ^{aw}	3,0(0,0) ^{bx}	4,3(0,6) ^{ay}	4,3(0,6) ^y
	T ₄	1,7(0,6) ^{aw}	3,0(0,0) ^{bx}		

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) w-y: diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05)

Análisis físico-químico

En la tabla 6 se presentan los resultados del análisis físico-químico de los tratamientos definitivos para maracuyá, en ella se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos respecto del tiempo final de almacenamiento.

En relación carbohidratos se evidenció una disminución en la cantidad de este nutriente: en el caso de la maracuyá (tabla 6), ocurrió un descenso de 9,41 (t_o) a 8,24% (t_f); mientras que, en el limón (tabla 7) se evidenció una reducción de 8,44 (t_o) a 7,08% (t_f); las muestras de aguacate (tabla 8), por su parte, presentaron una variación de 2,70 (t_o) a 2,25%.

Respecto al contenido de lípidos, se observaron diferencias significativas en las muestras desinfectadas de maracuyá (tabla 6) en función del tiempo de almacenamiento, donde los valores correspondientes a este nutriente descendieron de 3,21 a 2,27%; a diferencia de los frutos de limón, en los cuales no se evidencian variaciones (tabla 7). Así mismo, se encontraron diferencias significativas en los tratamientos con desinfección de aguacate (tabla 8), donde el porcentaje de lípidos se incrementó de 10,82 a 12,75% durante el tiempo de conservación del producto.

Tabla 6: Resultados del análisis físico-químico de los tratamientos definitivos de maracuyá

Parámetros	Tratamientos		
	T ₁	T ₂	
Humedad (%)	t _o	80, 12(0, 03) ^{aw}	80, 24(0, 04) ^{aw}
	t _f	78, 50(0, 10) ^{bw}	81, 30(0, 10) ^{bx}
Proteína (%)	t _o	2, 27(0, 03) ^{aw}	2, 32(0, 03) ^{aw}
	t _f	2, 74(0, 05) ^{bw}	2, 18(0, 06) ^{bx}
Carbohidratos (%)	t _o	9, 30(0, 03) ^{aw}	9, 41(0, 09) ^{aw}
	t _f	9, 20(0, 04) ^{bw}	8, 24(0, 04) ^{bx}
Lípidos (%)	t _o	3, 19(0, 04) ^{aw}	3, 21(0, 06) ^{aw}
	t _f	3, 25(0, 03) ^{aw}	2, 27(0, 01) ^{bx}
Cenizas (%)	t _o	1, 96(0, 05) ^{aw}	2, 00(0, 04) ^{aw}
	t _f	2, 04(0, 04) ^{aw}	1, 89(0, 04) ^{bx}
Fibra (%)	t _o	3, 19(0, 03) ^{aw}	3, 21(0, 03) ^{aw}
	t _f	4, 24(0, 03) ^{bw}	4, 14(0, 04) ^{bx}
Grados Brix (°)	t _o	15, 33(0, 05) ^{aw}	15, 17(0, 29) ^{aw}
	t _f	13, 05(0, 05) ^{bw}	12, 90(0, 17) ^{bw}
Acidez titulable (%)	t _o	4, 88(0, 09) ^{aw}	4, 89(0, 09) ^{aw}
	t _f	4, 58(0, 09) ^{bw}	4, 69(0, 04) ^{bw}
pH	t _o	2, 67(0, 05) ^{aw}	2, 67(0, 05) ^{aw}
	t _f	2, 80(0, 00) ^{bw}	2, 93(0, 05) ^{bx}

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) **w-y:** diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05) t_o: tiempo inicial de almacenamiento t_f: tiempo final de almacenamiento

Tabla 7: Resultados del análisis físico-químico de los tratamientos definitivos de limón

Parámetros	Tratamientos				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Humedad (%)	t _o	88, 80(0, 10) ^{aw}	88, 70(0, 10) ^{aw}	88, 69(0, 12) ^{aw}	88, 83(0, 06) ^{aw}
	t _f	87, 90(0, 10) ^{bw}	90, 30(0, 10) ^{bx}	90, 45(0, 09) ^{bx}	90, 37(0, 12) ^{bx}
Proteína (%)	t _o	0, 66(0, 02) ^{aw}	0, 69(0, 04) ^{aw}	0, 63(0, 05) ^{aw}	0, 67(0, 08) ^{aw}
	t _f	0, 64(0, 06) ^{aw}	0, 78(0, 05) ^{ax}	0, 70(0, 04) ^{ax}	0, 73(0, 06) ^{ax}
Carbohidratos (%)	t _o	8, 50(0, 06) ^{aw}	8, 44(0, 12) ^{aw}	8, 58(0, 08) ^{aw}	8, 52(0, 04) ^{aw}
	t _f	8, 39(0, 07) ^{aw}	7, 21(0, 02) ^{bx}	7, 08(0, 07) ^{bx}	7, 20(0, 10) ^{bx}
Lípidos (%)	t _o	0, 42(0, 05) ^{aw}	0, 42(0, 03) ^{aw}	0, 43(0, 04) ^{aw}	0, 41(0, 04) ^{aw}
	t _f	0, 47(0, 06) ^{aw}	0, 33(0, 06) ^{ax}	0, 38(0, 07) ^{ax}	0, 30(0, 09) ^{ax}
Cenizas (%)	t _o	0, 51(0, 04) ^{aw}	0, 54(0, 06) ^{aw}	0, 52(0, 09) ^{aw}	0, 51(0, 08) ^{aw}
	t _f	0, 69(0, 05) ^{bw}	0, 56(0, 06) ^{ax}	0, 58(0, 03) ^{ax}	0, 53(0, 07) ^{ax}
Fibra (%)	t _o	1, 09(0, 10) ^{aw}	1, 13(0, 06) ^{aw}	1, 10(0, 10) ^{aw}	1, 06(0, 05) ^{aw}
	t _f	1, 82(0, 10) ^{bw}	1, 08(0, 03) ^{ax}	1, 06(0, 07) ^{ax}	1, 04(0, 10) ^{ax}
Grados Brix	t _o	8, 07(0, 06) ^{aw}	8, 07(0, 06) ^{aw}	8, 03(0, 06) ^{aw}	8, 00(0, 00) ^{aw}
	t _f	7, 00(0, 00) ^{bw}	7, 07(0, 12) ^{bw}	7, 03(0, 06) ^{bw}	7, 00(0, 00) ^{bw}
Acidez titulable	t _o	7, 64(0, 09) ^{aw}	7, 72(0, 04) ^{aw}	7, 74(0, 06) ^{aw}	7, 71(0, 05) ^{aw}
	t _f	5, 78(0, 03) ^{bw}	5, 53(0, 04) ^{bx}	5, 43(0, 12) ^{bx}	5, 47(0, 06) ^{bx}
pH	t _o	2, 33(0, 06) ^{aw}	2, 33(0, 06) ^{aw}	2, 30(0, 00) ^{aw}	2, 33(0, 06) ^{aw}
	t _f	3, 13(0, 06) ^{bw}	2, 73(0, 06) ^{bx}	2, 67(0, 07) ^{bx}	2, 63(0, 06) ^{bx}

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) **w-y:** diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05) t_o: tiempo inicial de almacenamiento t_f: tiempo final de almacenamiento

Análisis microbiológico

De acuerdo con los resultados del análisis microbiológico realizado en los tratamientos definitivos de maracuyá, limón y aguacate (tabla 9), se evidenciaron diferencias significativas entre el tratamiento testigo y los tratamientos que recibieron desinfección. El tratamiento T₁ (sin desinfección) presentó la mayor carga microbiana en comparación con los tratamientos que recibieron desinfección respecto al tiempo final de almacenamiento, donde el recuento de microorganismos es menor; el T₁ presentó un incremento de coliformes totales y *Escherichia coli* entre un intervalo de 9,6x10²

Tabla 8: Resultados del análisis físico-químico de los tratamientos definitivos de aguacate

Parámetros	Tratamientos				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Humedad (%)	t _o	79, 96(0, 01) ^{aw}	79, 89(0, 06) ^{aw}	79, 90(0, 07) ^{aw}	79, 87(0, 08) ^{aw}
	t _f	77, 87(0, 05) ^{bw}	81, 43(0, 06) ^{bx}	81, 47(0, 08) ^{bx}	81, 41(0, 05) ^{bx}
Proteína (%)	t _o	1, 04(0, 01) ^{aw}	1, 05(0, 05) ^{aw}	1, 05(0, 01) ^{aw}	1, 04(0, 01) ^{aw}
	t _f	1, 38(0, 05) ^{bw}	0, 93(0, 05) ^{bw}	0, 94(0, 06) ^{bw}	0, 90(0, 07) ^{bw}
Carbohidratos (%)	t _o	2, 71(0, 01) ^{aw}	2, 72(0, 05) ^{aw}	2, 71(0, 05) ^{aw}	2, 70(0, 05) ^{aw}
	t _f	2, 52(0, 11) ^{bw}	2, 34(0, 11) ^{bx}	2, 28(0, 09) ^{bx}	2, 25(0, 05) ^{bx}
Lípidos (%)	t _o	10, 82(0, 11) ^{aw}	10, 83(0, 06) ^{aw}	10, 81(0, 03) ^{aw}	10, 83(0, 07) ^{aw}
	t _f	12, 75(0, 15) ^{bw}	11, 10(0, 05) ^{bx}	11, 01(0, 09) ^{bx}	11, 07(0, 10) ^{bx}
Cenizas (%)	t _o	1, 98(0, 16) ^{aw}	1, 91(0, 13) ^{aw}	1, 94(0, 18) ^{aw}	1, 90(0, 10) ^{aw}
	t _f	2, 06(0, 12) ^{aw}	1, 50(0, 10) ^{bx}	1, 54(0, 05) ^{bx}	1, 48(0, 10) ^{bx}
Fibra (%)	t _o	3, 50(0, 10) ^{aw}	3, 40(0, 11) ^{aw}	3, 52(0, 15) ^{aw}	3, 58(0, 09) ^{aw}
	t _f	3, 41(0, 14) ^{aw}	2, 65(0, 11) ^{bx}	2, 75(0, 11) ^{bx}	2, 69(0, 09) ^{bx}
Grados Brix	t _o	7, 23(0, 21) ^{aw}	7, 07(0, 12) ^{aw}	7, 13(0, 23) ^{aw}	7, 23(0, 06) ^{aw}
	t _f	8, 00(0, 00) ^{bw}	7, 30(0, 00) ^{bx}	7, 33(0, 06) ^{bx}	7, 43(0, 06) ^{bx}
Acidez titulable	t _o	0, 09(0, 00) ^{aw}	0, 09(0, 01) ^{aw}	0, 09(0, 01) ^{aw}	0, 09(0, 01) ^{aw}
	t _f	0, 08(0, 01) ^{bw}	0, 08(0, 01) ^{bx}	0, 08(0, 00) ^{bx}	0, 08(0, 01) ^{bx}
pH	t _o	6, 27(0, 06) ^{aw}	6, 23(0, 06) ^{aw}	6, 20(0, 00) ^{aw}	6, 27(0, 06) ^{aw}
	t _f	6, 47(0, 06) ^{bw}	6, 27(0, 06) ^{ax}	6, 20(0, 00) ^{ax}	6, 23(0, 06) ^{ax}

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento (p <0,05) **w-y:** diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo) indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos (p <0,05)

a 1,9x10⁷ UFC/g; así mismo, el crecimiento de *Salmonella* fue de 8,3x10¹ a 9,5x10³ UFC/g; y la carga de aerobios mesófilos aumentó de 2,4x10² a 1,9x10⁵ UFC/g.

DISCUSIÓN

La evaluación organoléptica de los tratamientos definitivos en maracuyá (tabla 3), limón (tabla 4) y aguacate (tabla 5), en función de la concentración y el tiempo de refrigeración, demostró que los tratamientos sometidos a desinfección alcanzaron un mayor tiempo de almacenamiento en comparación con el tratamiento testigo. Según Garmendia y Vero (2006) este resultado se debe al efecto que tuvo el desinfectante (Bioperac) en la ralentización de la actividad microbiana; así mismo, Puga (2020) demostró que utilizando una concentración de 100 ppm de ácido acético en granadilla conservó la calidad organoléptica durante más tiempo que el tratamiento testigo.

Por otro lado, la pérdida de peso en los tratamientos desinfectados fue menor en comparación al tratamiento testigo, este se debe a la utilización de envasado durante la conservación, puesto que el material de empaque es capaz de retener el vapor de agua que se produce en el transcurso del almacenamiento (Espinoza et al., 2008). Investigaciones similares realizadas por Espinosa et al. (2014) en aguacate probaron que aplicando atmósferas modificadas, las pérdidas de peso en los frutos almacenados a 5°C fue de 5,7%.

Las variaciones presentadas en la evaluación organoléptica pueden ser atribuidas a diferentes aspectos, por ejemplo: en el caso del color ocurre la degradación de clorofila responsable del pigmento verde, lo que da lugar a la formación de carotenoides que producen el color amarillo (García, et al., 2017), esto último en relación a maracuyá y limón; por otro lado, los cambios en el sabor dependen principalmente de la degradación de los ácidos cítricos y al aumento del contenido de azúcares durante la maduración de los frutos (YARA, 2018). En cuanto al limón, investigaciones realizadas por García et al. (2017) relacionan los cambios que se presentan en los atributos de color y sabor del limón persa, estos autores indicaron que a medida que la coloración del

Tabla 9: Resultados del análisis microbiológico de los tratamientos definitivos de maracuyá, limón y aguacate en relación al tiempo de almacenamiento

Tratamientos	Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> (UFC/g)		<i>Salmonella</i> (UFC/g)		Aerobios mesófilos (UFC/g)	
	t_o	t_f	t_o	t_f	t_o	t_f
Maracuyá						
T_1	$9,6 \times 10^2 (2,1 \times 10^1)^{aw}$	$8,4 \times 10^4 (5,8 \times 10^1)^{ax}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$1,8 \times 10^3 (2,6 \times 10^1)^{aw}$	$1,6 \times 10^5 (5,5 \times 10^2)^{ax}$
T_2	$6,3 \times 10^1 (5,8 \times 10^0)^{bw}$	$1,9 \times 10^2 (5,7 \times 10^0)^{bx}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$2,6 \times 10^3 (5,5 \times 10^1)^{bx}$
Limón						
T_1	$4,0 \times 10^2 (3,5 \times 10^1)^{aw}$	$3,5 \times 10^4 (5,7 \times 10^1)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$1,2 \times 10^1 (2,1 \times 10^0)^{aw}$	$2,4 \times 10^2 (4,0 \times 10^1)^{aw}$	$1,9 \times 10^5 (2,1 \times 10^2)^{aw}$
T_2	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$2,0 \times 10^1 (2,0 \times 10^0)^{bw}$	$1,2 \times 10^3 (1,0 \times 10^1)^{bx}$
T_3	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$2,0 \times 10^1 (1,0 \times 10^0)^{bw}$	$1,2 \times 10^3 (2,7 \times 10^1)^{bx}$
T_4	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{aw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$1,9 \times 10^1 (2,5 \times 10^0)^{bw}$	$1,1 \times 10^3 (2,0 \times 10^1)^{bx}$
Aguacate						
T_1	$1,5 \times 10^3 (7,0 \times 10^1)^{aw}$	$1,9 \times 10^7 (1,22 \times 10^1)^{aw}$	$8,3 \times 10^1 (1,5 \times 10^1)^{aw}$	$9,5 \times 10^3 (1,7 \times 10^1)^{aw}$	$2,0 \times 10^3 (2,1 \times 10^2)^{aw}$	$1,9 \times 10^5 (1,5 \times 10^2)^{aw}$
T_2	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$3,7 \times 10^0 (1,5 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$5,3 \times 10^0 (0,6 \times 10^0)^{bw}$
T_3	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$2,7 \times 10^0 (1,5 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$6,0 \times 10^0 (1,0 \times 10^0)^{bw}$
T_4	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$3,0 \times 10^0 (1,7 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$0,0 \times 10^0 (0,0 \times 10^0)^{bw}$	$5,7 \times 10^0 (0,6 \times 10^0)^{bw}$

a-b: diferentes superíndices dentro de la misma columna, indica que existe diferencias significativas debido a los tratamientos ($p < 0,05$)
w-x: diferentes superíndices dentro de la misma fila (atributo), indica que existe diferencias significativas debido al tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$) t_o : tiempo inicial de almacenamiento t_f : tiempo final de almacenamiento **UFC/g:** Unidades Formadoras de Colonias por gramo

fruto cambió de verde oscuro a verde amarillento, el contenido de azúcares reductores aumentó. Finalmente, el atributo textura tiende a variar durante la madurez de los frutos debido a la hidrólisis de las pectinas y a los procesos degradativos de las paredes celulares (DECCO, 2018).

De acuerdo al análisis estadístico de los parámetros físico-químicos (humedad, proteína, carbohidratos, lípidos, cenizas, fibra, grados Brix, acidez titulable y pH), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos definitivos de maracuyá (tabla 6), limón (tabla 7) y aguacate (tabla 8), en función del tiempo de almacenamiento, considerando un nivel de confianza del 95 %.

En relación al contenido de humedad se presentaron dos comportamientos diferentes en todos los productos; en el caso del tratamiento testigo se observó una disminución del contenido de humedad a lo largo del almacenamiento, ocasionada principalmente por la diferencia de presión entre la fruta y la atmósfera del refrigerador debido a la ausencia de envasado; mientras que, en los tratamientos con desinfección se reportó un incremento en el grado de humedad, lo cual puede atribuirse a que los frutos fueron empacados durante la conservación, provocando que el vapor de agua emitido por los procesos de respiración y transpiración se condense.

Así mismo, durante el almacenamiento se observó que el contenido de carbohidratos disminuyó en todas las frutas, tanto en las muestras desinfectadas como en las que no recibieron desinfección. Estos resultados están asociados a los procesos de respiración que ocurren durante la maduración de los productos, además, se pueden relacionar a que las muestras se mantuvieron durante un tiempo extendido en refrigeración; investigaciones de otros autores encontraron resultados similares, por ejemplo, Kishore et al. (2011) realizó estudios en gulupa y observó que durante el almacenamiento poscosecha el contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) y no reductores (sacarosa) disminuyó, tanto en condiciones ambientales como a bajas temperaturas.

En cuanto al contenido de proteínas, cenizas y fibra, las muestras de maracuyá y aguacate presentaron diferencias significativas en función del tiempo de almacenamiento (ver tabla 6 y 8); a diferencia de las muestras de limón, las cuales no mostraron variaciones durante la conservación.

Por otro lado, la relación entre la cantidad de sólidos solubles (grados Brix) es inversamente proporcional a la acidez; así pues, el contenido de grados Brix se incrementó en el transcurso del almacenamiento y el porcentaje de acidez titulable disminuyó. Cabe mencionar que este comportamiento fue el mismo en cada producto de estudio, tal como lo muestran las tablas 6, 7 y 8. Estos resultados también se encuentran asociados al pH, cuyos valores en la escala ascendieron durante el tiempo de refrigeración, corroborando así la reducción de ácidos durante la maduración de los frutos de estudio. Resultados similares han sido reportados por Núñez et al. (2014) en frutos de limón criollo, donde determinaron que conforme aumenta el pH en el fruto, decrece el contenido de ácido cítrico en los mismos, esto se debe principalmente a que los ácidos orgánicos disminuyen durante la maduración.

Respecto al contenido de lípidos, se observó que las muestras desinfectadas de maracuyá presentaron un descenso en el porcentaje de este nutriente; a diferencia de los frutos de limón, en los cuales no se presentaron variaciones. Mientras que, en aguacate el porcentaje de lípidos se incrementó durante el tiempo de conservación del producto. Según investigaciones realizadas por Macas (2013) en frutos de aguacate almacenados bajo condiciones controladas (7°C), el contenido de grasas se incrementó de 8,54% (0 días) a 10,3% (28 días). Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el análisis físico-químico de las frutas en estudio cumplieron con los requisitos de calidad que exigen las normas INEN para cada producto.

Los resultados del análisis microbiológico de los tratamientos definitivos en maracuyá, limón y aguacate (tabla 9) indican un mayor número de Unidades Formadoras de Colonias-UFC/g de coliformes totales, *Escherichia coli* y aerobios mesófilos en el tratamiento testigo, a diferencia de los tratamientos desinfectados con Bioperac, en los cuales el crecimiento de microorganismos patógenos es menor. Resultados similares han sido observados por Mañes et al. (2019) al desinfectar aguacates con 0,80% de ácido peracético, donde el recuento de aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* fue en todos los casos inferiores al límite de detección.

De acuerdo a los resultados del análisis organoléptico,

físico-químico y microbiológico realizado a los tratamientos definitivos en maracuyá, limón y aguacate, se determinó que no existen diferencias significativas entre las muestras desinfectadas. Por esta razón, se consideró al tiempo de almacenamiento como parámetro principal para definir el tiempo de vida útil de los mejores tratamientos.

Posteriormente, se estableció que los mejores tratamientos para maracuyá (T_2), limón (T_4) y aguacate (T_3), corresponden a las muestras desinfectadas con Bioperac a una concentración del 1,00 %, con un tiempo de contacto de 3 minutos, envasados en bolsas de polipropileno y polietileno, a una temperatura 7 °C, debido a que conservaron las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas de los productos durante 35 días en el caso de maracuyá y aguacate; y 49 días en relación al limón.

En relación a los costos de producción de los mejores tratamientos de los productos de estudio, se reportó que los precios de venta son más bajos que los ofertados en los supermercados de la ciudad de Loja; por lo tanto, las frutas además de presentar mejores características, ofrecen un precio más accesible al consumidor que los supermercados locales.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación de las características de calidad e inocuidad, los factores óptimos de desinfección para maracuyá, limón y aguacate corresponden a las muestras desinfectadas con una concentración del 1,00 % de Bioperac, con tiempo de inmersión de 3 minutos, envasadas en bolsas de polietileno (limón) y polipropileno (aguacate y maracuyá), y almacenadas en refrigeración a 7°C.

Los costos de producción para maracuyá (1000 g) corresponden a 0,83 dólares americanos; mientras que, en limón (900 gramos) estos ascienden a 1,11 USD; y en el caso de aguacate fueron de 1,49 dólares americanos. Es importante mencionar que los precios de venta en maracuyá (1,04 USD), limón (1,38 USD) y aguacate (1,87 USD) en esta investigación son inferiores a los que se expenden en los supermercados locales.

AGRADECIMIENTOS

A los productores del barrio La Era por su colaboración en el desarrollo de esta investigación. Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja por su apoyo en la ejecución del proyecto. A la Universidad Nacional de Loja por su interés en el desarrollo de la región Sur del Ecuador.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Todos los autores contribuyeron de manera equitativa para el desarrollo de la presente investigación.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio tuvo un financiamiento de procedencia propia por parte del autor. El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja financió las placas Petrifilm utilizadas en los análisis microbiológicos.

REFERENCIAS

- CYGYC BIOCON. (2017). Ficha técnica de OXA
- DECCO (2018). Procesos de cambio durante la maduración de la fruta.
- Espinosa-Cruz, C., Valle, S. y Ybarra, M. (2014). Comportamiento postcosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ afectado por temperatura y atmósfera modificada con microperforado. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), 235-242.
- Espinoza, A., Arreaza, R., Cardona, E., Méndez, J., Cañizares, A. y Buonafina, O. (2008). Efecto del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas de frutos de parchita (*Passiflora edulis* F. *flavicarpa* Degener). *Revista Tecnológica ES-POL*, 21(1) 55-63.
- FAO. (2019). América Latina y el Caribe es responsable del 20% de la comida que se pierde a nivel mundial desde la poscosecha hasta el comercio minorista. FAO.
- García-López, F. M., Herrera-Corredor, J. A., Pérez-Sato, J. A., Alatríste-Pérez, I. Contreras-Oliva, A. (2017). Relación entre el color y parámetros físicoquímicos del limón persa (*Citrus latifolia* T.) del centro de Veracruz, México.
- Garmendia y Vero. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura. Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, 6, 18-27. ISSN 1132-2950.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA (2016). Un tercio de los alimentos producidos en el mundo se desperdicia.
- Kishore, K., Pathak K., Shukla R. Bharali R. (2011). Effect of storage temperature on physic-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Journal of Food Science and Technology*, 48(4):484-488.
- Macas-Guachamín, G. (2013). Estudio de las características de calidad de pre y poscosecha en dos variedades de aguacate (*Persea americana* Mill) proveniente de dos localidades de la provincia de Pichincha. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Mañes-Vinuesa, J., González, E., Rubio, C. y López, R. (2019). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a la seguridad del uso de una solución acuosa de peróxido de hidrógeno, ácido acético y ácido peracético como coadyuvante tecnológico para la desinfección bacteriana del agua de lavado de lechugas y zanahorias cortadas, ajos pelados, boniatos, caquis, mangos y aguacates en las plantas de procesado. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 30.
- Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 1755. (2013). Frutas frescas. Aguacate. Requisitos. (Segunda revisión). Quito – Ecuador.
- Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 1757. (2016). Frutas frescas. Limón. Requisitos. (Segunda revisión). Quito – Ecuador.
- Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 1971. (1994). Frutas frescas maracuyá. Requisitos. (Primera). Quito – Ecuador.

- Núñez, K., Castellano, G., Ramírez, R., Sindoni, M., Hidalgo, P. y Marín, C. (2014). Efecto del estado de madurez sobre las características fisicoquímicas del limón criollo (*Citrus aurantifolia* Chris). *Geominas*, 43(67), 103-108.
- Palacios-Andrade, G. C. (2019). Desarrollo de un prototipo de lechuga empacada en la parroquia Chuquiribamba, cantón Loja, provincia de Loja. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja].
- PDOT de la parroquia El Tambo. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia El Tambo.
- Puga-Muima, A. M. (2020). Manejo poscosecha de granadilla en la parroquia Yangana, cantón y provincia de Loja.
- Rojas-Paccha, V. C. (2019). Evaluación de la vida útil de la zanahoria aplicando tres desinfectantes diferentes, en la parroquia Chuquiribamba, Cantón y Provincia de Loja.
- YARA. (2018). Influir en la acidez de cítricos.

Influencia de podas y nutrición nitrogenada en el desarrollo vegetativo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi)

*Influence of pruning and nitrogen nutrition on the vegetative development of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi)*

Karen Macas^{1,*} y Fernando Granja¹

¹ Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: karen.macas@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 13/04/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 01/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—El arándano es un frutal de gran importancia económica a nivel mundial, debido a su alta demanda concedida a los múltiples beneficios que confiere a la salud humana. En Ecuador, son poco conocidas las técnicas de manejo como podas y fertilización en etapa vegetativa. En base a ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el desarrollo vegetativo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. cv Biloxi) sometido a dos intensidades de poda y diferentes fuentes de nutrición nitrogenada, una de ellas con inhibidor de nitrificación; sobre variables morfológicas, fisiológicas de las plantas, el pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo. El ensayo se estableció en la Quinta Experimental Docente “La Argelia” de la ciudad de Loja, bajo un diseño experimental de parcelas divididas completamente aleatorizadas, con 4 tratamientos y 6 repeticiones, siendo la parcela el factor poda (con 4 brazos y sin poda) y la subparcela la fertilización (sulfato de amonio con y sin inhibidor de nitrificación). Los resultados mostraron que, la interacción entre el factor poda y la fertilización nitrogenada fue nula; el factor fertilización actuó de forma independiente, sobre variables morfológicas como longitud del brote, cobertura de la planta, y área foliar del brote. Los datos indicaron que, el suministro de sulfato de amonio con inhibidor promueve el crecimiento vegetativo en mayor proporción, mientras que, el sulfato de amonio sin inhibidor aumenta el contenido de nitrógeno en las hojas. Estos resultados sugieren que el aporte de nitrógeno amoniacal con inhibidor de nitrificación promueve el desarrollo de plantas de arándano cv. Biloxi. Por otro lado, el pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo fueron alterados por la aplicación de fuentes de nutrición nitrogenada.

Palabras clave—*Vaccinium corymbosum* L. cv Biloxi, Técnicas de manejo, Sulfato de amonio, Inhibidor de nitrificación.

Abstract—The cranberry is a fruit tree of great economic importance worldwide, due to its high demand and the multiple benefits it confers to human health. In Ecuador, management techniques such as pruning and fertilization during the vegetative stage are little known. Based on this, the objective of the present research was to evaluate the vegetative development of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L. cv Biloxi) subjected to two pruning intensities and different sources of nitrogen nutrition, one of them with nitrification inhibitor; on morphological and physiological variables of the plants, the pH and electrical conductivity (EC) of the soil. The trial was established at the Quinta Experimental Docente "La Argelia" in the city of Loja, under an experimental design of completely randomized divided plots, with 4 treatments and 6 replications, the plot being the pruning factor (with 4 arms and without pruning) and the subplot the fertilization (ammonium sulfate with and without nitrification inhibitor). The results showed that the interaction between the pruning factor and nitrogen fertilization was null; the fertilization factor acted independently on morphological variables such as shoot length, plant cover, and shoot leaf area. The data indicated that the supply of ammonium sulfate with inhibitor promoted vegetative growth to a greater extent, while ammonium sulfate without inhibitor increased nitrogen content in the leaves. These results suggest that ammonium nitrogen supply with nitrification inhibitor promotes the development of blueberry cv. Biloxi plants. On the other hand, soil pH and electrical conductivity (EC) were altered by the application of nitrogen nutrition sources.

Keywords—*Vaccinium corymbosum* L. cv Biloxi, Management techniques, Ammonium sulfate, Nitrification inhibitor.

INTRODUCCIÓN

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), es un frutal de la familia de las Ericáceas originario del hemisferio Norte, de gran importancia económica y amplia distribución geográfica, conocido como súper fruta por sus propiedades

antioxidantes y antiinflamatorias que aporta su consumo a la salud humana (Kalt et al., 2020).

El cultivo de arándano se ha potenciado enormemente; para el año 2019, el área cultivada a nivel mundial superó las 119 mil ha. El principal país importador es Estados Unidos, su consumo per cápita es de 2 libras persona/año en prome-

dio, donde el 80% de las importaciones provienen de países latinoamericanos como Perú, Chile y México (Kramer, 2020). Los productores líderes de América del Sur son Chile, con 15 mil ha cultivadas exportó 118.225 t en la temporada 2020/2021; mientras que, Perú en la misma temporada de 13 mil hectáreas cultivadas exportó 165.053 t (ASOEX, 2021; Redagráfica, 2021).

En Ecuador, mediante pruebas piloto se confirmó que el país cuenta con los factores geoclimáticos favorables para el cultivo, esto permitió que el sector frutícola incorpore este frutal en la oferta, siendo la empresa Biovegetal pionera en implementar el cultivo de arándano (González, 2018; Garzón, 2021).

La potenciación de este cultivo es compleja debido a los requerimientos exclusivos del arándano en cuanto a prácticas de manejo agrotécnico se refiere. La poda, por ejemplo, es una práctica esencial en el arándano (Bañados, 2005), permite conservar la vigorosidad y equilibrar el crecimiento vegetativo y reproductivo del arándano, optimiza el rendimiento y la calidad del fruto (Retamales & Hancock, 2012). De la misma forma, el aporte nutrimental de nitrógeno como elemento base en el desarrollo del arándano, debe ser específico, ya que por ser originario de suelos ácidos se caracteriza por absorber el nitrógeno (N) en forma de amonio NH_4^+ (Crisóstomo et al., 2014).

Las fuentes de N más usadas sobre el arándano son la urea y el sulfato de amonio, debido al aporte de N en forma amoniacal hacia las plantas, sin embargo, otra alternativa nutricional son productos nitrogenados con inhibidores de nitrificación, como la molécula DMPP (3,4 -dimetilpirazol fosfato) asociada al amonio. Es un tipo de fertilizante que mantiene por un tiempo más prolongado al nitrógeno en forma amoniacal, debido a su acción retardadora en la oxidación del amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-) mediante la inhibición temporal de las bacterias Nitrosomas en el suelo, dependiendo de las características edafoclimáticas y la fisiología del cultivo (Fruniss, 2005).

En Ecuador, ha despertado el interés de implementar el cultivo de arándano en los últimos años, por su alta demanda y rentabilidad económica del frutal. Puga (2019) evaluó la factibilidad comercial, agrícola, y financiera del cultivo de arándano, comprobando que efectivamente existen costos de producción elevados, y ganancias graduales conforme la producción se estabiliza en el tiempo. El valor por kilogramo de arándano en el país bordea los US\$12.00 y la capacidad productiva de una planta es alrededor de 1 500 g a partir del segundo año de vida, lo cual sustenta que la inversión inicial se recupera en el primer año de producción (González, 2018).

En la provincia de Loja, es poco lo que se conoce del cultivo de arándano, es por ello que aportar información sobre el manejo agronómico y la productividad de este frutal puede motivar y orientar a pequeños agricultores a tomar al cultivo como una nueva alternativa de producción. Para ello se realizó la presente investigación sobre la influencia de las podas y fuentes nutrición nitrogenada en el desarrollo vegetativo del arándano, así como su efecto en la incidencia sobre el pH y la conductividad eléctrica del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El ensayo se realizó en la quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja. La zona se encuentra ubicada en la parroquia de Punzara sector urbano de la ciudad de Loja, con una latitud de 04°01'58.4"Sur y longitud 79°12'00.5.ºeste. La zona de estudio está a una altitud entre los 2150 m.s.n.m., posee una temperatura media de 16,4 °C, precipitación anual de 1058 mm, humedad relativa media de 78 %.

Fase de campo

Se labró el terreno para posteriormente trazar el área a utilizar (153 m²); se levantó 6 camas de 0,70 m de ancho por 8 m de largo, a las cuales se añadió dos sacos de cascarilla de arroz y dos sacos de humus de lombriz, para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo. Se instaló un sistema de riego por goteo localizado en doble cinta y se colocó cobertor sintético sobre cada cama, para conservar la humedad y evitar el crecimiento de arvenses.

Material vegetal

Se sembraron plantas de arándano en estado de desarrollo inicial, provenientes de la empresa Biovegetal de la marca Ecuarándano; la especie *Vaccinium corymbosum* L. cv. Biloxi, propagadas en condiciones in vitro, y posteriormente climatizadas.

Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental en parcelas divididas, los tratamientos se establecieron en función de 2 factores, con un total de 4 tratamiento y 6 repeticiones. siendo la parcela el factor poda (con 4 brazos y sin poda) y la subparcela la fertilización (sulfato de amonio con y sin inhibidor de nitrificación) (Tabla 1).

El marco de plantación fue de 1 m sobre la hilera x 2 m entre la hilera.

Aplicación de tratamientos

Los tratamientos se determinaron a base de dos factores: poda de formación y fertilización nitrogenada, se aplicaron mensual y dos veces por semana, respectivamente. El periodo de evaluación se realizó entre los meses de marzo a junio del 2021.

Poda: se ejecutó en dos niveles, poda de formación dejando cuatro ramas (CP) y sin poda (SP).

Fuentes de fertilización nitrogenada: se aplicaron dos fuentes distintas de nitrógeno, sulfato de amonio con inhibidor de nitrificación (DMPP) y sulfato de amonio sin inhibidor de nitrificación (Tabla 2).

La aplicación de fertilizante, se determinó a partir de requerimiento de la planta con respecto al estado fenológico de la planta.

Variables evaluadas

Las siguientes variables fueron evaluadas en su mayoría con una frecuencia de 15 días:

Tabla 1: Descripción de los tratamientos empleados durante el desarrollo del ensayo en arándano cv. Biloxi.

Tratamientos	Factores	
	Poda	Fertilización
T1: CP+SA	4 brazos	Sulfato de amonio
T2: SP+SA	Sin poda	Sulfato de amonio
T3: CP+SA+IN	4 brazos	Sulfato de amonio + inhibidor de nitrificación (DMPP)
T4: SP+SA+IN	Sin poda	Sulfato de amonio + inhibidor de nitrificación (DMPP)

*T: Tratamiento; *CP: Con poda; *SP: Sin poda; *SA: Sulfato de Amonio; *IN: inhibidor de nitrificación

Tabla 2: Producto y dosis de fuentes nitrogenadas aplicados en el cultivo de arándano cv. Biloxi.

Fuente Nitrogenada	Plantas	Nº aplicaciones semana ⁻¹	Dosis (g aplicación ⁻¹)
Sulfato de amonio + DMPP	24	2	2,33
Sulfato de amonio + Muriato de potasio	24	2	1,7 0,83

* La fertilización se fraccionó en 24 aplicaciones durante 12 semanas.

*El muriato de potasio se aplicó para equilibrar las fuentes de fertilización utilizadas, ya que el sulfato de amonio + DMPP, adicionalmente a estos tenía un porcentaje de potasio.

Variables morfológicas

Altura de planta: se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.

Longitud del brote: Se seleccionaron dos brotes por unidad experimental, se los midió desde la base del brote hasta el ápice del mismo.

Diámetro de la copa: se midió con un flexómetro a manera de una cruz de norte a sur (d1) y de este a oeste (d2) en cm, los valores obtenidos se remplazaron en la fórmula tal como lo hizo Mesa (2015):

$$D = \frac{d1 + d2}{2} \quad (1)$$

Cobertura de la planta: se midió la copa de la planta con la fórmula del área de un círculo, donde a partir del cálculo anterior del diámetro de la copa, se promedió este dato en la fórmula: $A = \pi r^2$

Área foliar (AF): se seleccionó 20 hojas al azar, las cuales fueron fotografiadas e insertadas en el software Photoshop donde se midió el área de cada hoja; estos datos fueron transportados a Excel donde se obtuvo una regresión polinómica para estimar el área foliar la cual se ajustó al ancho de las hojas, obteniendo la ecuación $y = 0,7829x^2 + 1,109x - 0,7626$ ($R^4 = 0,9891$). Esta variable se midió al finalizar el ensayo.

Índice de área foliar (IAF): se aplicó la fórmula para estimar el IAF.

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (2)$$

Donde; AF: área foliar por planta y AS: área sembrada. Expresión numérica adimensional, en m^2 . Se efectuó al finalizar el ensayo.

Tasa de crecimiento absoluta del brote (TCA): se evaluó el incremento de la longitud del órgano por unidad de tiempo

(García et al., 2006), con la fórmula:

$$TCA = \Delta L \Delta T^{-1} = \frac{L2 - L1}{T2 - T1} \quad (3)$$

Donde: ΔL = longitud final – longitud inicial; y ΔT = tiempo final – tiempo inicial. El resultado se expresó en $cm \text{ día}^{-1}$.

Tasa de crecimiento relativa del brote (TCR): es el incremento de la longitud del órgano por unidad del tamaño y por unidad de tiempo (García et al., 2006), con la siguiente fórmula:

$$TCR = \frac{1}{Li} * \Delta L \Delta T^{-1} - 1 \quad (4)$$

Donde; Li = longitud inicial; ΔL = longitud final – longitud inicial; y ΔT = tiempo final – tiempo inicial. El resultado se expresó en $mm.cm^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Variables fisiológicas

Contenido de nitrógeno de las hojas: El contenido de nitrógeno de las muestras de las hojas de arándano, se usó el método Kjeldahl (Jiang et al., 2014), en el Laboratorio de Bromatología de la UNL, al finalizar el ensayo de campo.

Variables de suelo

pH del suelo: se tomaron 500 g de suelo, a una profundidad de 5-10 cm de cada tratamiento quincenalmente. En lo posterior, se realizó el análisis de suelo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja.

Conductividad eléctrica (CE) del suelo: se tomó 500 g de suelo, a una profundidad de 5-10 cm de cada tratamiento quincenalmente. El análisis del suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la UNL, con un potenciómetro y se expresó en deciSiemens por metro suelo (dS/m).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada evaluación fueron analizados en el Software estadístico InfoStat en versión libre 2020.

El efecto de los tratamientos se evaluó mediante un análisis de varianza simple (ANOVA), modelos generales y mixtos, para determinar diferencia entre los tratamientos. En variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos se aplicó pruebas de comparación múltiple LSD Fisher al 95 % de confianza. Además, se usó un análisis de regresión simple para determinar la ecuación ajustada para el área foliar. Finalmente se realizaron pruebas de Pearson al 95 % para determinar la correlación entre las variables cuantitativas.

RESULTADOS

VARIABLES MORFOLÓGICAS

Altura de la planta

Para la variable altura de la planta, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) (Figura 1). El incremento varió de 6,2 a 8,17 cm, resultando un valor medio de la TCA de $0,10 \text{ cm día}^{-1}$.

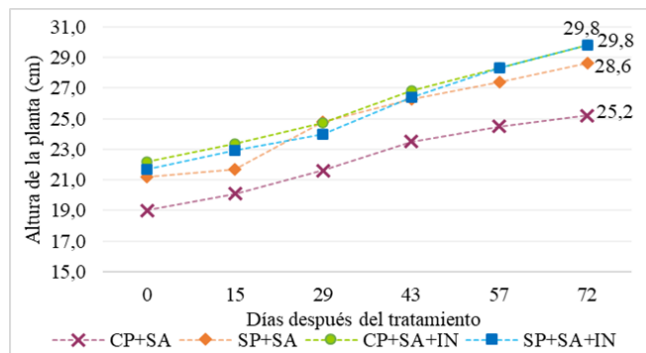


Fig. 1: Altura de las plantas en el cultivo de arándano cv. Biloxi, sometidas a cuatro tratamientos. T1: CP+SA= sulfato de amonio con poda; T2: SP+SA= sulfato de amonio sin poda; T3: CP+SA+IN= sulfato de amonio + DMPP con poda; T4: SP+SA+IN= sulfato de amonio + DMPP sin poda.

Longitud del brote

No se evidenció diferencias estadísticas significativas en la interacción del factor poda y fertilización; se evidenció un efecto independiente del factor fertilización, no así de la poda (Figura 2).

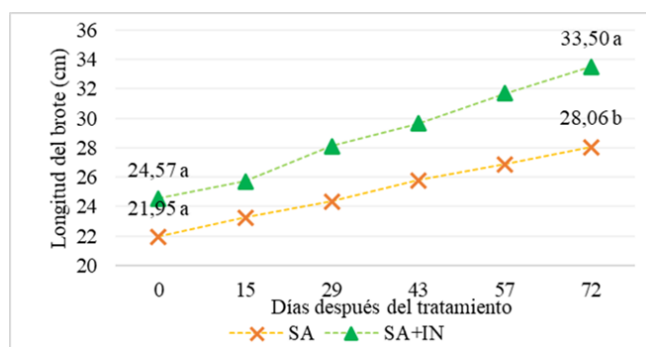


Fig. 2: Longitud del brote en plantas de arándano cv. Biloxi., en relación al factor de fertilización. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). *SA= sulfato de amonio; *IN= inhibidor de nitrificación (DMPP).

TCA Y TCR del brote

En cuanto a las variables derivadas del crecimiento, tanto la TCA (tasa de crecimiento absoluto) y TCR (tasa de crecimiento relativo) del brote, no evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, su potencial de crecimiento fue similar durante el periodo de evaluación (Figura 3 y Figura 4).

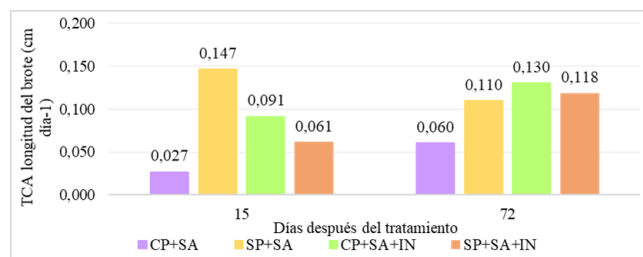


Fig. 3: Tasas de crecimiento absoluta del brote en plantas de arándano cv. Biloxi.

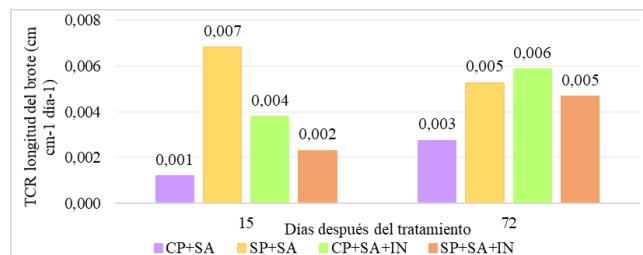


Fig. 4: Tasas de crecimiento relativa del brote en plantas de arándano cv. Biloxi.

Cobertura de la planta

La Figura 5, representa la cobertura de las plantas en relación al factor fertilización, se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al factor fertilización. Las plantas sometidas al fertilizante sulfato de amonio + DMPP (SA+IN), alcanzaron un mejor desarrollo a lo largo de la evaluación, no así plantas fertilizadas con sulfato de amonio (SA), su desarrollo fue menor (Figura 5).

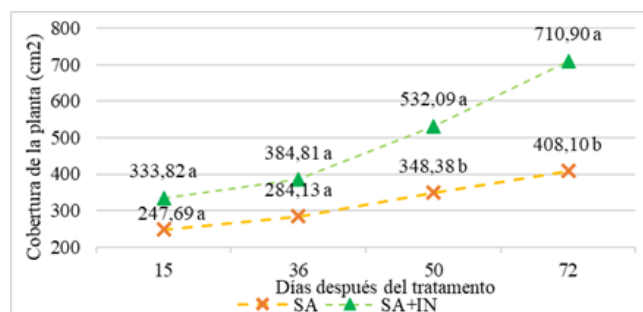


Fig. 5: Cobertura de la planta en arándano cv. Biloxi., en relación al factor de fertilización. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). *SA= sulfato de amonio; *IN= inhibidor de nitrificación (DMPP).

Área foliar de la planta

En lo que respecta al área foliar de la planta, no se evidenció diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3), no obstante, el desarrollo foliar de las plantas se vio influenciado por el factor fertilización, las plantas con mayor área foliar fueron las manejadas con sulfato de amonio + DMPP con valores medios de $554,48 \text{ cm}^2$, en el caso de las plantas sometidas a sulfato de amonio el valor promedio fue de $254,46 \text{ cm}^2$ de área foliar total.

El área foliar del brote tuvo diferencias significativas en relación al factor fertilización, las plantas con sulfato de amonio más DMPP lograron la mayor área foliar del brote, con respecto a plantas sometidas a sulfato de amonio sin inhibidor, como se muestra en la Figura 6.

Tabla 3: Área foliar de los brotes, área foliar de la planta e índice del área foliar (IAF), a los 72 días después de iniciado el ensayo, sometidos a cuatro tratamientos.

Tratamiento	Factor		Área foliar brote (cm ²)	Área foliar total (cm ²)	IAF
	Poda	Fertilización			
T1:SA+CP	Con poda	Sulfato de amonio	30,82	137,37	0,46
T2:SA+SP	Sin poda	Sulfato de amonio	37,27	371,55	0,93
T3:SA+CP+IN	Con poda	Sulfato de amonio + DMPP	60,38	552,23	1,49
T4:SA+SP+IN	Sin poda	Sulfato de amonio + DMPP	64,15	556,72	1,11

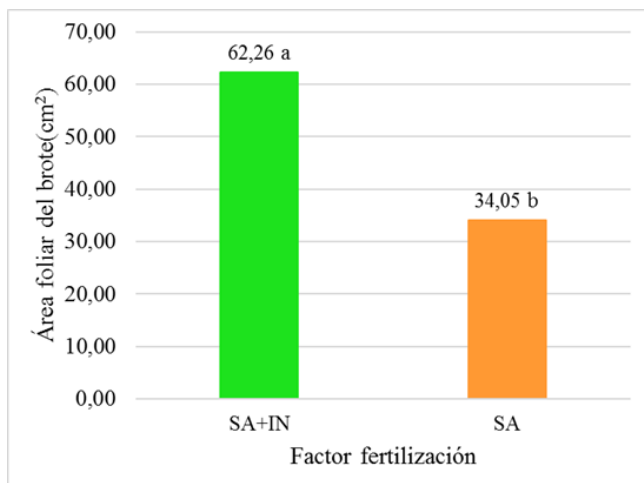


Fig. 6: Área foliar de los brotes a los 72 días después de iniciado el ensayo en cultivo de arándano cv. Biloxi. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Variables fisiológicas

Contenido de nitrógeno foliar

Al analizar el contenido de nitrógeno en hojas de arándano, no se vio diferencia significativa ($p > 0,05$) entre el porcentaje de N foliar, la incidencia del factor de fertilización sobre el contenido de N foliar se mostró similar en todos los tratamientos (Fig. 7).

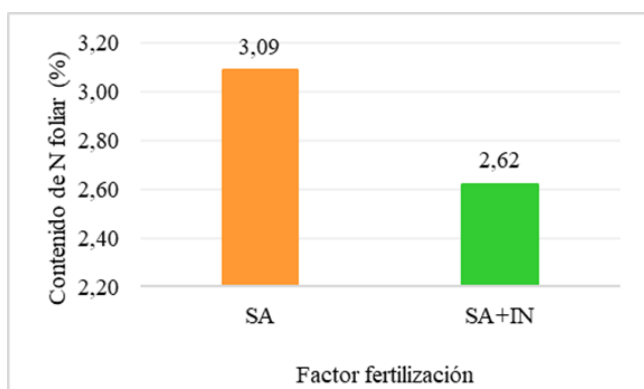


Fig. 7: Área foliar de los brotes a los 72 días después de iniciado el ensayo en cultivo de arándano cv. Biloxi. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Variables de suelo

Análisis de pH y Conductividad eléctrica del suelo

La Figura 8, muestra las curvas de pH evaluadas a lo largo del experimento, donde se observó que la reducción de pH se dio en forma lineal ($p > 0,05$). Sin embargo, en consecuencia, del fertilizante, el suelo con pH más bajo en este caso es, el de las plantas sometidas a sulfato de amonio +DMPP, lo cual revela que existe mayor acidez en el suelo (Fig. 9).

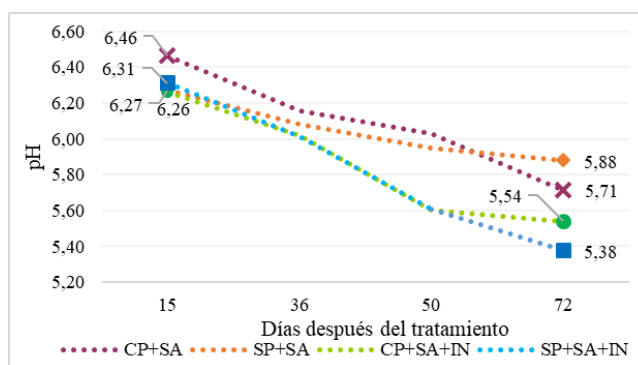


Fig. 8: Valores de pH de suelo sometido a cuatro tratamientos en el cultivo de arándano cv. Biloxi.

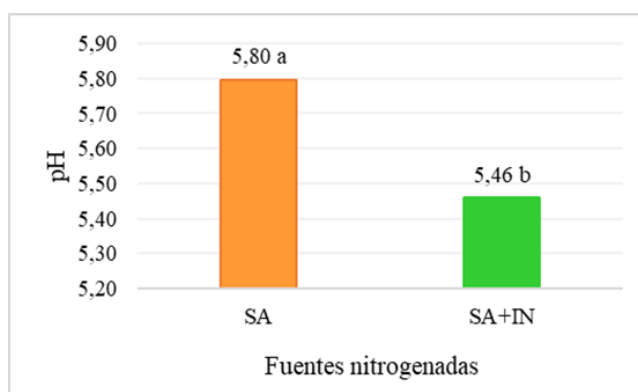


Fig. 9: pH del suelo en relación al factor fertilización en el cultivo de arándano cv. Biloxi., al finalizar el ensayo. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). SA= sulfato de amonio; IN= inhibidor de nitrificación DMPP

La conductividad eléctrica del suelo no se vio afectada por la interacción entre el factor poda y el factor fertilización; sin embargo, reiteradamente el factor fertilización actuó de manera independiente (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la altura de la planta reflejaron un incremento no significativo

Tabla 4: Conductividad eléctrica del suelo en relación al factor fertilización aplicado en el cultivo de arándano cv. Biloxi. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher ($p < 0,05$).

DDT	15	36	50	72
Conductividad eléctrica (CE)	($dS m^{-1}$)	($dS m^{-1}$)	($dS m^{-1}$)	($dS m^{-1}$)
Factor Fertilización				
Sulfato de amonio + DMPP	0,72 a	0,22 a	3,24 a	6,25 a
Sulfato de amonio	0,56 b	0,19 b	2,31 b	6,47 a

*DDT: días después del tratamiento

entre tratamientos, este varió entre 6,20 y 8,17 cm, con una TCA de $0,10 \text{ cm día}^{-1}$, esto según Fang et al., (2017) es un efecto normal del aporte de N, ya que, promueven la generación de la estructura vegetativa del frutal como brotes, hojas y acumulación de biomasa. En arándano cv. Emerald al aportar N, obtuvieron una tasa de crecimiento de $0,32 \text{ cm día}^{-1}$, en este caso no se aplicó podas al cultivo; por lo cual se deduce que el nitrógeno (N), es el factor que estimuló el crecimiento vegetativo en las plantas, ya que a nivel fisiológico es uno de los constituyentes de la molécula de clorofila y a su vez, del proceso de formación activa de fotosintatos en la planta (Hernández, 2014; Fang et al., 2017).

En lo que respecta a la longitud del brote, la fertilización nitrogenada actuó como factor independiente ($p < 0,045$); las plantas sometidas a sulfato de amonio con inhibidor de nitrificación (SA+IN) obtuvieron la mayor longitud del brote; por ende, el AFB fue mayor ($62,26 \text{ cm}^2$) en comparación a los tratamientos manejados con SA ($34,05 \text{ cm}^2$); los resultados expuestos son menores a los alcanzados por Mesa (2015), puesto que obtuvo un área foliar de brote de 120 cm^2 en plantas Biloxi de un año.

La TCA y TCR del brote, no se percibió diferencias estadísticas a lo largo de la evaluación, el desempeño entre los tratamientos fue similar; estas variables son consideradas en la investigación porque permiten estimar el crecimiento intrínseco de las plantas (Turnbull et al., 2008), en relación a los procesos fisiológicos en la planta que convierten los recursos externos en biomasa y al mismo tiempo se encargan en repartir la biomasa en sumideros utilizables (Prince & Munns, 2011).

En la cobertura de la planta, la fertilización actúa reiteradamente como factor clave, según Rodríguez (2014), se debe a que el flujo de N, al mantenerse biodisponible beneficia el crecimiento vegetativo, aumenta el contenido de clorofila y por tanto los fotoasimilados en la planta, expresando un aumento irreversible en la masa (Lallana & Lallana, 2004). A consecuencia de ello, se incrementará el área foliar puesto que, como lo expone Lima et al., (2020), que la aplicación de N aumenta la tasa neta de fotosíntesis, lo cual está estrechamente relacionado con la radiación solar interceptada (IAF), lo cual estimula la acumulación de biomasa expresando mayor área foliar, asegurando la productividad de la planta (Lallana & Lallana, 2004; Mendoza et al., 2017).

El contenido de nitrógeno en hojas de arándano, de acuerdo a los estándares referenciales en etapa vegetativa debe tener una concentración de N entre 1,7 y 2,7% en hojas (Rivadeneira, 2012; Doyle et al., 2021), valores superiores a lo señalados indican un exceso (Pinochet et al., 2014). Confor-

me a los valores obtenidos en el estudio (2,62% - SA+IN y 3,09% SA), se presentó un exceso de N foliar en plantas fertilizadas con sulfato de amonio (SA), lo que advierte una toxicidad en plantas y una futura repercusión en cuanto se refiere a rendimiento o en la mortalidad de las plantas.

En el pH del suelo, en el estudio se registró una reducción de forma lineal por la aplicación de amonio, a consecuencia se obtuvo diferencias significativas en relación al fertilizante aplicado, donde los suelos con más bajo pH (5,46), fue el de plantas sometidas a sulfato de amonio +DMPP; mientras que las fertilizadas con sulfato de amonio sin DMPP registraron un pH de 5,80. Estos valores se encuentran próximos a los requeridos por el cultivo de arándano (Sinavim, 2019), lo cuales varían entre 4,5 – 5,5. La preferencia del cultivo por suelos con pH bajo, radica en que el N en forma NH_4^+ esta mayormente disponible en este tipo de suelos, además este factor facilita la absorción de nitrógeno amoniacal con un menor coste energético para la planta en razón de su forma reducida (Osorio Covarrubias, 2019).

La conductividad eléctrica (CE) durante la evaluación mostró una incidencia significativa por el factor fertilización debido a que existió una concentración de sales disueltas en el suelo, a causa de la frecuencia de fertilización, siendo una desventaja en lo que respecta a los requerimientos del cultivo, puesto que Frías et al., (2020) indica que el arándano cv. Biloxi no tolera la salinidad y de existir una CE mayor a 1 ds m^{-1} afectaría el desarrollo normal del cultivo, así también, Barbaro et al., (2012) sostiene que el incremento de la CE puede deberse a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta, o su vez al efecto combinado de sulfato de amonio con muriato de potasio (KCl), por ello es indispensable que la CE generalmente sea baja ($< 1 \text{ ds m}^{-1}$), ya que esto permite mantener biodisponibles los macro y microelementos en el suelo, asegurando el desarrollo normal del cultivo.

CONCLUSIONES

El factor poda aplicado en la etapa vegetativa del arándano, no mostró efecto estadístico significativo sobre las variables de crecimiento evaluadas, esto se debió posiblemente a la corta edad del cultivo.

La fertilización nitrogenada en arándano a base de sulfato de amonio más inhibidor de nitrificación (DMPP), promovió el crecimiento vertical y lateral de las plantas como en longitud del brote, cobertura de planta y área foliar; así también fisiológicamente aportó al óptimo contenido de N (2,62%) en hojas, dando una mayor vigorosidad a las plantas.

La aplicación de fuentes nitrogenadas alteró notoriamente las propiedades químicas del suelo, el pH se redujo hasta un nivel de 5,38 consiguiendo acercarse a los estándares de acidez requeridos por el cultivo; sin embargo, la CE, sobrepasó los rangos tolerables ($> 6 \text{ ds m}^{-1}$), lo cual produjo salinidad en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Ampliamos nuestros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, de manera especial a la Quinta Experimental docente "La Argelia" y a las técnicas de Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología, por el espacio brindado para realizar los análisis correspondientes en la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: KM y FG; metodología: KM y FG; análisis formal: KM y FG; investigación: KM y FG; recursos: KM y FG; redacción — preparación del borrador original: KM y FG; redacción — revisión y edición: KM y FG; visualización: KM y FG. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por procedencia propia.

REFERENCIAS

- ASOEX. (2021). Exportaciones chilenas de arándanos orgánicos aumentan un 25%. Fresh Plaza.
- Bañados, P. (2005). Claves Para la Poda de Arándanos: Temporada de Invierno. *Agronomía y Forestal UC*, 28–31.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2012). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Ministerios de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Crisóstomo, M. ., Hernández, O. ., López, J. ., Manjarrez, C. ., & Pinedo, A. (2014). Relaciones Amonio/Nitrato en Soluciones Nutritivas Ácidas y Alcalinas para Arándano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.
- Doyle, J., Nambeesan, S., & Malladi, A. (2021). Fisiología de la nutrición de nitrógeno y calcio en arándanos. 2.
- Fang, Y., Williamson, J., & Darnell, R. (2017). Absorción y asignación de nitrógeno en diferentes etapas de crecimiento de plantas jóvenes de arándano alto del sur. *HortScience*, 52 (6), 905–906.
- Frías, C., Santiago, G., Montoya, R., & Juárez, C. (2020). Concentración de la solución nutritiva y su relación con la producción y calidad de arándano azul. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 3–6.
- Fruniss, G. (2005). Comparación de dos fertilizantes como fuente de N amoniacal, y sus efectos sobre el crecimiento de limoneros.
- Garzón, D. (2021). Diego Garzón, Presidente Fepexa. *Prensa Ec*.
- González, P. (2018). Un Pionero en Cultivar Arándano. *Revista Líderes*.
- Hernández, D. (2014). Estudio Nutritional de Arándano Azul (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi en los Reyes, Michoacán. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Jiang, B., Li, Y., Tsao, R., & Miao, M. (2014). Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques. En *Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques* (pp. 273–288).
- Kalt, W., Cassidy, A., Krikorian, R., Tremblay, F., & Zamora-Ros, R. (2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11, 224–236.
- Kramer, J. (2020). Fresh Blueberry Supplies Expand as U.S. Consumers Develop a Taste for Year-Round Blueberries. Economic Research Service U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
- Lallana, V., & Lallana, M. (2004). Fisiología Vegetal: Crecimiento. 3–7.
- Lima, Firmino; Carvalho, Márcio; Soares, Gabriel; Kiyoshi, Osvaldo; Divino, Elias; Rodrigues, A. (2020). Ecofisiología del arándano Southern Highbush cv. Biloxi en respuesta a la fertirrigación con nitrógeno. *Horticultural Journal: Comunicata Scientiae*.
- Mendoza, C., Ojeda, W., Ramírez, C., & Flores, H. (2017). Estimación del índice de área foliar y rendimiento de chile poblano cultivado en invernadero. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*.
- Mesa, P. (2015). Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*V. corymbosum* x *V. darrowii*) plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia). 37,39,45,47.
- Osorio, R., & Covarrubias, J. (2019). Vegetative and Physiological Responses of “Emerald” Blueberry to Ammoniacal Sources with a Nitrification Inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2–8.
- Pinochet, D., Artacho, P., & Maraboli, A. (2014). Manual de Fertilización de Arándanos Cultivados en el Sur de Chile (U. A. de Chile (ed.)).
- Prince, C., & Munns, R. (2011). Capítulo 6. Análisis del crecimiento: un enfoque cuantitativo. *School of Plant Biology, University of Western Australia*, 1–6.
- Puga, J. (2019). Estudio de Factibilidad Para la Creación de la Empresa “ARANDEANBLUE”, Productora y Comercializadora de Arándano, Ubicada en el Sector de Chaquibamba, Provincia de Pichincha. Repositorio ESPE.
- Redagráfica. (2021). El arándano peruano sigue quebrando sus récords. *Redagráfica*.
- Retamales, J., & Hancock, J. (2012). BLUEBERRIES (CABI (ed.); Crop Produ).
- Rivadeneira, M. (2012). Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. 247–250.
- Rodríguez, A. (2014). Manejo de la Fertilización en el Cultivo del Arándano, Experiencias del Seguimiento Nutricional en Perú. AGQ LABs: Seguimiento y Control Nutricional.
- Sinavimo. (2019). *Vaccinium corymbosum*. Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas.
- Turnbull, L.; Victor, C.; Purves, B. (2008). Tasas de crecimiento, tamaño de las semillas y fisiología: Las especies de semillas pequeñas crecen realmente más rápido. *Ecological Society of America*.

Nemátodos asociados a malezas en San Lorenzo, Paraguay

Nematodes associated with weeds in San Lorenzo, Paraguay

Jazmín Yerutí Mongelós-Franco^{1,*}, Nabila Nahir Duarte-Ovejero², Pedro Aníbal Vera-Ojeda²,
Laura Concepción Soilán-Duarte², Gabriela Giuliana Caballero-Mairesse^{1,3} y Guillermo Andrés
Enciso-Maldonado¹

¹ Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica (CEDIT). Ruta PY 6 Juan León Mallorquín, Hohenau, Paraguay. CP 6290.

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA). Av. Mcal. López 3492 c/ 26 de febrero, San Lorenzo, Paraguay. CP 2160.

³ 3 Clínica Vegetal, Universidad San Carlos (USC). Alfredo Seiferheld 4989 esq. Roque González de Santa Cruz, Asunción, Paraguay. CP 1849.

* Autor para correspondencia: yeruti91@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 30/07/2020

Fecha de aceptación del manuscrito: 13/10/2022

Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—Las malezas actúan como reservorio de nemátodos, incluso en temporadas libres de cultivo. Detectar estas asociaciones favorece la identificación y predicción de especies de nemátodos fitoparásitos y benéficos presentes en el suelo, los cuales pueden variar en función de las especies de malezas, de esta manera se podrían conocer nemátodos que potencialmente podrían afectar a futuros cultivos. El objetivo fue identificar géneros de nemátodos asociados a *Cenchrus echinatus*, *Acanthospermum hispidum*, *Ipomoea nil*, *Cyperus esculentus* y *Urochloa* sp., especies de malezas de ocurrencia más frecuente en parcelas de producción de cultivos en San Lorenzo, Paraguay. A partir de muestras de suelo de la rizósfera de cada especie de maleza, se realizó la extracción de nemátodos por el método de Cobb y flotación en azúcar, y se determinó la asociación mediante la identificación a nivel de género y cuantificación de los individuos de cada género. Se observó que el nemátodo más abundante fue *Tylenchus* (42%), el cual estuvo asociado a todas las especies de malezas estudiadas. El 32,5% correspondió a individuos del género fitoparásito *Aphelenchoides*, detectado en *A. hispidum*, *I. nil*, *C. esculentus* y *Urochloa* sp. Otros géneros fitoparásitos detectados fueron *Helicotylenchus* (7,1% de la población), *Dorylaimus* (4,7%), *Tylenchorhynchus* (1,6%) y *Hemicycliophora* (1,6%). Además, se identificaron dos géneros de nemátodos saprófagos: *Mononchus* (6,7% de la población) asociado a *C. echinatus*, *A. hispidum*, *I. nil* y *Urochloa* sp., y *Cephalobus* (3,9%), asociado a *C. echinatus* y *Urochloa* sp. Este es el primer estudio que aborda la asociación de nemátodos con especies de malezas en Paraguay.

Palabras clave—Nemátodos fitoparásitos, *Tylenchus*, *Aphelenchoides*, Plantas arvenses.

Abstract—Weeds act as a reservoir for nematodes, even in non-crop seasons. The detection of these associations can help to identify and predict the species of phytoparasitic and beneficial nematodes occurring in the soil, which may vary depending on the weed species, in this way, nematodes that potentially affect future crops could be known. The objective was to identify genera of nematodes associated with *Cenchrus echinatus*, *Acanthospermum hispidum*, *Ipomoea nil*, *Cyperus esculentus* and *Urochloa* sp., the most frequent weed species in crop production plots in San Lorenzo, Paraguay. The extraction of nematodes was carried out from soil samples of the rhizosphere of each weed species, by the Cobb method and flotation in sugar, and the association was determined by identification at the genus level and quantification of the specimens. The most abundant nematode found was *Tylenchus* (42%), which was associated with all weed species studied. 32.5% corresponded to specimens of the plant parasite genus *Aphelenchoides*, detected in *A. hispidum*, *I. nil*, *C. esculentus* and *Urochloa* sp. Other plant parasite genera detected were *Helicotylenchus* (7.1% of the population), *Dorylaimus* (4.7%), *Tylenchorhynchus* (1.6%) and *Hemicycliophora* (1.6%). In addition, two genera of saprophagous nematodes were identified: *Mononchus* (6.7% of the population) associated with *C. echinatus*, *A. hispidum*, *I. nil* and *Urochloa* sp., and *Cephalobus* (3.9%), associated with *C. echinatus* and *Urochloa* sp. This is the first study that explore the association of nematodes with weed species in Paraguay.

Keywords—Phytoparasitic nematodes, *Tylenchus*, *Aphelenchoides*, Weed plants.

INTRODUCCIÓN

La diversidad de hospederos y su interacción con otros organismos patógenos propician que los nemátodos

sean capaces de limitar la productividad agrícola mundial (Moens et al. 2009). En este contexto, las malezas causan interferencias directas en los cultivos, limitando agua, luz, nutrientes y espacio, sin embargo, como hospederas, juegan

un papel importante en la ecología de los nemátodos, pues pueden mantener o elevar la densidad de población de estos en el suelo, principalmente entre cada ciclo productivo (Pereira-Braz *et al.* 2016; Ntidi *et al.* 2012; Bellé *et al.* 2017). Además de dificultar la implementación de medidas de manejo agronómicas eficientes, las malezas hospederas de nemátodos poseen otro aspecto problemático, pues en regiones tropicales y subtropicales, como el caso de Paraguay, tienen un vigoroso desarrollo durante todo el año, generando de forma continua nuevos individuos con grandes capacidades de albergar nemátodos (Pinheiro *et al.* 2019; Gharabadiyan *et al.* 2012). Previas investigaciones han demostrado la asociación de nemátodos y malezas, y en lo referente a América del Sur, Ferraz *et al.* (1978) abordaron por primera vez la perspectiva de la ecología de ciertas especies de nemátodos en asociación con malezas en Brasil, constatando que géneros de *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Xiphinema*, *Tylenchus*, *Trichodorus* y *Hemicycliophora* se asociaron a diversas especies de malezas instaladas en parcelas con hortalizas. Así mismo en Argentina, un estudio demostró que los géneros *Ditylenchus*, *Meloidogyne* y *Nacobbus* se asociaron a especies específicas de malezas (Doucet 1992).

López *et al.* (2021) detectaron la ocurrencia de los géneros *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Helicotylenchus*, *Dorylaimus*, *Xiphinema* y *Aphelenchoides* asociados a malezas en áreas de producción orgánica en barbecho en Texas, Estados Unidos, importantes nemátodos fitoparásitos que podrían impactar económicamente a la región, ya que infestan a diversos cultivos importantes como cereales y algodón. Otro nemátodo fitoparásito importante que ha sido reportado en malezas es *Heterodera glycines*, el nemátodo del quiste de la soja, del cual Rocha *et al.* (2021) mencionan que existen 116 especies de malezas hospederas, 14 de ellas biotipos resistentes a herbicidas, y destacan que no solo reducen la eficacia del control, sino que también protegen a los nemátodos de los plaguicidas y de otros factores ambientales. El nemátodo de las agallas, *Meloidogyne incognita*, también ha sido asociado a malezas en varios cultivos, con una especial preferencia del nemátodo por la especie *Cyperus esculentus*, asociación que podría haber surgido de la coevolución de las dos especies parásitas en detrimento de los cultivos, por lo que es recomendable que las medidas de control sean dirigidas a ambos (Murray *et al.* 2011).

Se han reportado nemátodos fitoparásitos asociados a malezas en distintas especies cultivadas como banano y plátano (Quénéhervé *et al.* 2006; Casanueva-Medina *et al.* 2016), arroz (Anwar *et al.* 2009), algodón (Webster y Davis 2007), tomate (Gharabadiyan *et al.* 2012) y pasturas (Nogueira-Marques *et al.* 2019). La detección de estas asociaciones podría ser útil para predecir la composición de la población de nemátodos según las especies de malezas que componen la comunidad infestante en un área o cultivo determinado. Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de la investigación fue determinar la asociación de nemátodos con las especies de malezas *Cenchrus echinatus*, *Acanthospermum hispidum*, *Ipomoea nil*, *Cyperus esculentus* y *Urochloa* sp., mediante la identificación y cuantificación de la población de nemátodos presentes en parcelas con ocurrencia de dichas malezas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el campus de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), ubicado en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay (25°20'10" sur, longitud 57°31'03" oeste, a 128 msnm), entre mayo y junio de 2017. Durante el periodo experimental se registró una precipitación de 111,75 mm, la temperatura media de 20,5 °C y la humedad relativa de 79,5 % (Pastén *et al.* 2017). La toma de muestras se realizó en tres parcelas demostrativas de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de aproximadamente 100 m² cada una, que cuentan con un largo historial de producción de soja, trigo, maíz, girasol, algodón, sésamo y abonos verdes, que en el momento de realizar la investigación se encontraban con seis meses de barbecho. El suelo de estas parcelas presenta una textura franco-arenosa, con 0,5 % de materia orgánica y 20 cm de profundidad.

Para determinar las especies de malezas predominantes en las parcelas de estudio, se realizó un análisis previo de la comunidad infestante por el método de cuadrados aislados, el cual consiste en lanzar un marco de madera de 0,25 m² al azar y cuantificar el número de especies que ocurren en esa superficie (Fuentes 1986). Una muestra estuvo compuesta de ocho lanzamientos del marco de madera. Este proceso fue repetido tres veces en cada parcela con la finalidad de obtener muestras representativas y reducir el error experimental. Con los datos obtenidos se calculó la densidad relativa (Carvalho 2013), que es el porcentaje de individuos de una especie de malezas con relación al total de individuos de la comunidad infestante, mediante la siguiente fórmula:

$$DeR = \frac{De}{\sum De} \times 100 \quad (1)$$

Donde *De* indica la densidad de una especie de maleza con relación al total de malezas cuantificadas, representadas por $\sum De$.

Una vez que se determinó la composición de población infestante, fueron seleccionadas las cinco especies predominantes de malezas, y se extrajeron tres submuestras de suelo de la rizósfera para cada maleza con una barrena, en forma aleatoria y en zigzag a una profundidad de 10 cm. Las submuestras fueron homogeneizadas para constituirse en una muestra de 500 cm³ aproximadamente, y fueron tomadas tres muestras por especie de maleza (Lopez-Nicora *et al.* 2021). Las mismas fueron remitidas al Laboratorio de Nematología de la FCA-UNA para identificar los géneros de nemátodos presentes y su abundancia.

La extracción de nemátodos se realizó por los métodos de decantación y tamizado (Cobb 1918) para separar los nemátodos del suelo a una fase líquida, y posteriormente se aplicó el método de flotación centrífuga en solución de sacarosa (Jenkins 1964) para la obtención de una muestra limpia, libre de coloides. De esta manera, fueron obtenidas tres submuestras líquidas de 100 ml para cada muestra de suelo. Para la cuantificación de nemátodos, se extrajo 1 ml de la suspensión obtenida, la cual fue depositada en una cuadrilla de conteo para la observación al microscopio.

La identificación de nemátodos se realizó a nivel de género mediante las claves taxonómicas de Thorne (1961) y Shurtleff y Averre (2000). Este proceso fue efectuado tres veces y se promedió la cantidad de individuos por cada género identificado, para cada muestra. El promedio obtenido

Tabla 1: Abundancia de nemátodos fitoparásitos y de vida libre en las malezas predominantes, abundancia total y proporción de nemátodos en San Lorenzo, Paraguay.

Nemátodo	<i>Cenchrus echinatus</i>				<i>Acanthospermum hispidum</i>				<i>Ipomoea nil</i>			
	A	SD	Min	Max	A	SD	Min	Max	A	SD	Min	Max
<i>Helicotylenchus</i>	133	117	30	260	ND	ND	ND	ND	267	40	220	290
<i>Dorylaimus</i>	400	181	210	570	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Tylenchus</i>	967	159	790	1100	1167	87	1070	1240	933	150	790	1090
<i>Aphelenchoides</i>	ND	ND	ND	ND	933	111	830	1050	1333	112	1210	1430
<i>Tylenchorhynchus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	133	6	130	140
<i>Hemicycliophora</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	133	15	120	150
<i>Mononchus</i>	133	121	30	267	167	58	130	233	133	15	120	150
<i>Cephalobus</i>	333	124	190	410	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Nemátodo	<i>Cyperus esculentus</i>				<i>Urochloa sp.</i>				AT	P	FO
	A	SD	Min	Max	A	SD	Min	Max			
<i>Helicotylenchus</i>	133	32	97	153	ND	ND	ND	ND	600	7,1	60
<i>Dorylaimus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	400	4,7	20
<i>Tylenchus</i>	200	92	100	180	367	12	360	380	3567	42,0	100
<i>Aphelenchoides</i>	267	40	120	190	233	15	220	250	2767	32,5	80
<i>Tylenchorhynchus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	133	1,6	20
<i>Hemicycliophora</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	133	1,6	20
<i>Mononchus</i>	ND	ND	ND	ND	133	36	93	160	567	6,7	80
<i>Cephalobus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	333	3,9	20

A: Abundancia promedio de nemátodos fitoparásitos y de vida libre (número de individuos en 500 cm³ de suelo) detectada por especie de maleza. Se presentan además los valores de desviación estándar (SD), mínimo (Min) y máximo (Max).

ND: Nemátodo no detectado en la muestra de suelo de la maleza indicada.

AT: Abundancia total de individuos cuantificados de cada género de nemátodo.

P: Proporción de individuos de cada género de nemátodo en relación con el total de individuos cuantificados.

FO: Frecuencia de ocurrencia (%) de nemátodos en las especies de malezas.

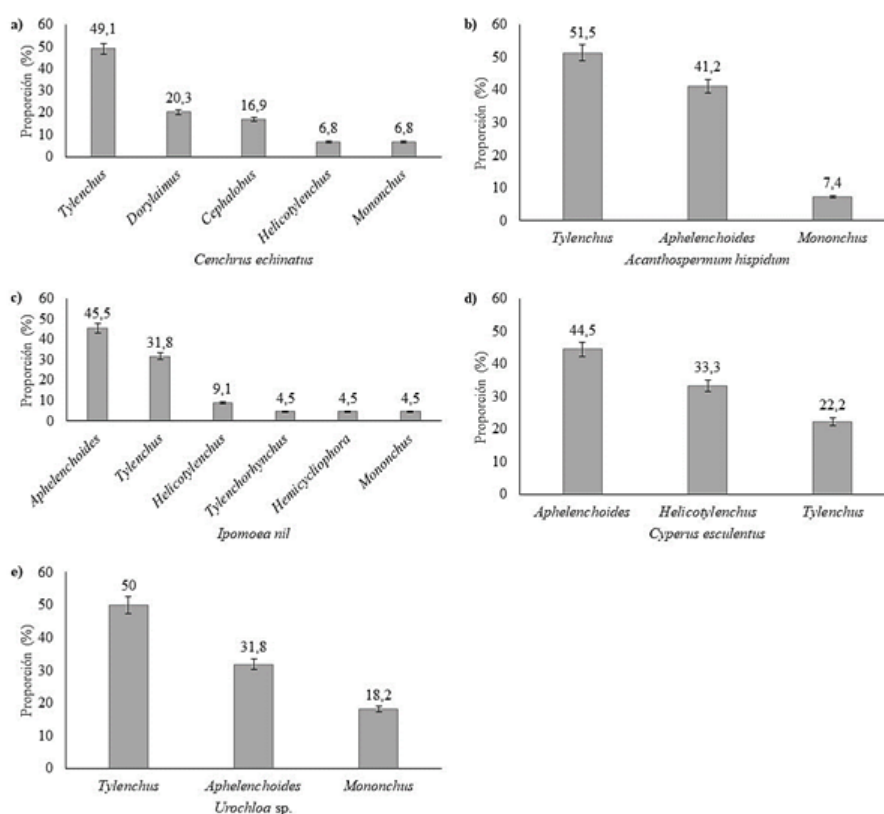


Fig. 1: Proporción (%) de nemátodos detectados en las diferentes malezas evaluadas: a) *Cenchrus echinatus*, b) *Acanthospermum hispidum*, c) *Ipomoea nil*, d) *Cyperus esculentus*, e) *Urochloa sp.*

se multiplicó por 100 para estimar la cantidad de individuos en 100 cm^3 de suspensión, lo que a su vez representa el número de individuos presentes en los 500 cm^3 de suelo de la muestra inicial. También fue calculada la frecuencia de ocurrencia (FO) de cada nemátodo mediante la fórmula de Norton (1978):

$$FO(\%) = \frac{N^\circ \text{ de muestras que contiene un género}}{N^\circ \text{ total de muestras}} \quad (2)$$

Se obtuvieron estadísticas descriptivas, que incluyen media, desviación estándar, valores mínimos y máximos para la abundancia de nemátodos, la abundancia total y la proporción de nemátodos detectados por especie de maleza, utilizando el programa Microsoft Excel® del paquete Office 2021.

RESULTADOS

Las especies de malezas predominantes detectadas fueron *Cenchrus echinatus* (28,7%), *Acanthospermum hispidum* (25,9%), *Ipomoea nil* (16,5%), *Cyperus esculentus* (12,3%) y *Urochloa* sp. (7,6%), en las cuales fueron identificados seis géneros de nemátodos fitoparásitos (*Helicotylenchus*, *Dorylaimus*, *Tylenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchorhynchus*, *Hemicyclophora*) y dos de vida libre (*Mononchus*, *Cephalobus*). La asociación entre las diferentes especies de malezas con los géneros de nemátodos identificados fue variable. La proporción de cada género de nemátodo varió para cada maleza (Tabla 1).

Se observó que el nemátodo más abundante fue *Tylenchus* (42%), el cual fue el único que se encontró asociado a todas las especies de malezas estudiadas. Seguidamente, con una proporción del 32% se detectó a *Aphelenchoides* en *A. hispidum*, *I. nil*, *C. esculentus* y *Urochloa* sp. Los demás géneros identificados en este trabajo aparecieron en una proporción menor al 7,1%. En las especies *C. echinatus* e *I. nil* se detectaron cinco y seis géneros de nemátodos asociados, respectivamente, mientras que las especies *A. hispidum*, *C. esculentus* y *Urochloa* sp. se asociaron con tres géneros de nemátodos (Figura 1).

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio en donde se explora la asociación entre nemátodos fitoparásitos y de vida libre con especies de malezas en Paraguay. Estudios previos sugieren que los nemátodos fitoparásitos se encuentran asociados a determinadas especies de malezas en agroecosistemas de Argentina (Doucet 1992), Brasil (Pereira-Braz *et al.* 2016; Bellé *et al.* 2017; Ferraz-Ramos *et al.* 2019; Nogueira-Marques *et al.* 2019), Perú (Lima-Medina *et al.* 2018), Cuba (Casanueva-Medina *et al.* 2016), Venezuela (Lugo *et al.* 2007), Francia (Quénehervé *et al.* 2006), Sudáfrica (Ntidi *et al.* 2012) y Pakistán (Anwar *et al.* 2009).

C. echinatus, *A. hispidum* e *I. nil* fueron las especies de malezas de mayor prevalencia en las parcelas evaluadas, las cuales tienen una amplia distribución en Paraguay, abarcando los departamentos de Caazapá, Canindeyú, Central, Cordillera, Guairá e Itapúa en la Región Oriental, importantes zonas agrícolas del país (Egea-Elsam *et al.* 2018). Entre ellas, *C. echinatus* ya ha sido reportada en Paraguay como hospedero

alternativo del hongo fitopatógeno *Pyricularia pennisetigena*, agente causal del tizón de la hoja en cereales (Cazal-Martínez *et al.* 2021). Recientemente, Lopez-Nicora *et al.* (2022) reportaron nueve géneros de nemátodos (*Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Hoplolaimus*, *Xiphinema*, *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Criconemella*, *Tylenchidae* y *Rotylenchulus*) en campos que se encontraban en barbecho por un periodo de seis meses en varias localidades de Paraguay, sin embargo, no dan detalles de la población de malezas existente en estos campos. Además, estos autores indican que existe una relación negativa entre el contenido de materia orgánica del suelo con la abundancia de nemátodos de vida libre y positiva con nemátodos fitoparásitos, lo que coincide con lo observado en este trabajo, donde el contenido de materia orgánica del suelo de las parcelas estudiadas es bajo (0,5%) y la población de nemátodos más abundante es la de los fitoparásitos, por encima de los de vida libre.

La importancia de conocer los géneros de nemátodos que se encuentran asociados a especies de malezas reside en que permite conocer el potencial riesgo que podría existir durante la producción de determinados cultivos en una parcela. Nemátodos como *Helicotylenchus*, *Tylenchus* y *Tylenchorhynchus* pueden afectar a una amplia gama de hospederos, incluidas hortalizas como el tomate (Rybarczyk-Mydłowska *et al.* 2019), fresa (Robles y Moreno 2011), pimiento, lechuga, patata y zanahoria (Valiente 2010), cereales como maíz (Lima-Medina *et al.* 2018), arroz (Guzmán-Hernández *et al.* 2011) y trigo (Laasli *et al.* 2022), oleaginosas como soja (Kirsch *et al.* 2016) e incluso en cultivos perennes como la yerba mate (Caballero-Mairesse *et al.* 2021), todos cultivos de importancia económica en Paraguay. Por otro lado, no se detectó al género *Meloidogyne*, el cual fue reportado como el nemátodo más abundante y asociado a las principales hortalizas cultivadas y en suelos en barbecho en Paraguay (Lopez-Nicora *et al.* 2022), y que es capaz de reducir el rendimiento de los cultivos hasta un 70% (Ravichandra 2014).

Es recomendable dar continuidad a este trabajo para determinar la distribución de nemátodos asociados a las principales malezas de los cultivos agrícolas más importantes de Paraguay, en más puntos geográficos del país, con la finalidad de determinar la dinámica poblacional de los nemátodos y detectar asociaciones con hospederos no abordados en este estudio.

CONCLUSIONES

Se identificaron seis géneros de nemátodos fitoparásitos (*Helicotylenchus*, *Dorylaimus*, *Tylenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchorhynchus*, *Hemicyclophora*) y dos de vida libre (*Mononchus*, *Cephalobus*) infestando a las especies *C. echinatus*, *A. hispidum*, *I. nil*, *C. esculentus* y *Urochloa* sp., malezas predominantes en parcelas agrícolas de San Lorenzo, Paraguay. Los nemátodos más abundantes fueron *Tylenchus* y *Aphelenchoides*, importantes géneros fitoparásitos que pueden impactar negativamente en el rendimiento de los cultivos. No se observó una asociación definitiva entre los nemátodos identificados con especies específicas de malezas, sin embargo, se pudo constatar que las malezas pueden actuar como hospederos alternativos de nemátodos en ausencia de cultivo. Se recomienda realizar más estudios para explorar la ocurrencia de nemátodos en un mayor rango de espe-

cies de malezas presentes en otras zonas de producción agrícola de Paraguay, para determinar potenciales asociaciones nemátodos-malezas específicas, y la interacción con el cultivo. Este es el primer estudio en Paraguay que aborda a las malezas como hospederos alternativos de nemátodos.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Maestría en Fitosanidad de la FCA-UNA, en el marco de las asignaturas Bioecología de Malezas y Nematología Agrícola, que permitió el desarrollo del presente estudio.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: JYMF y NNDO; Metodología: PAVO y LCSD; Análisis formal: JYMF; Investigación: JYMF, NNDO y GGCM; Redacción — preparación del borrador original: JYMF, NNDO y GGCM; Redacción — revisión y edición: GAEM; Visualización: GAEM. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Jazmín Yerutí Mongelós-Franco: JYMF; Nabila Nahir Duarte-Ovejero: NNDO; Pedro Aníbal Vera-Ojeda: PAVO; Laura Concepción Soilán-Duarte: LCSD; Gabriela Giuliana Caballero-Mairesse; GGCM; Guillermo Andrés Enciso-Maldonado: GAEM.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue ejecutada con financiamiento propio e institucional (FCA-UNA).

REFERENCIAS

Anwar, SA; Zia, A; Javed, N; Shakeel, Q. 2009. Weeds as reservoir of nematodes. *Pakistan Journal of Nematology*. 27(2): 145-153.

Bellé, C, Kulczynski, S., Kaspary, TE; Kuhn, PR. 2017. Weeds as alternative hosts to *Meloidogyne incognita*. *Nematropica*. 47(1): 26-33.

Caballero-Mairesse, G; Resquín-Romero, G; Lugo, F; Gini, A; Alcázar, L; Cano, D; López-Nicora, HD. 2021. Distribución y abundancia de nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de yerba mate en Itapúa: un riesgo potencial e inminente. *Investigaciones y Estudios UNA*. 12(2): 11-27.

Carvalho, LB. 2013. *Plantas Daninhas*. 1 ed. Santa Catarina, BR: Edición del autor. 82 p.

Casanueva-Medina, K; Fernández-González, E; Tejada, M; Vidal, U; Paredes-Rodríguez, E. 2016. Malezas hospedantes de fitoparásitos en diferentes zonas productoras de banano y plátano en las provincias de Artemisa y La Habana. *Fitosanidad*. 20(3): 125-129.

Cazal-Martínez, CC; Reyes-Caballero, YM; Chávez, A; Pérez-Estigarribia, PE; Rojas, A; Arrúa, A; Moura-Mendes, J; López-Nicora, HD; Kholi, MM. 2021. First report of leaf blight caused by *Pyricularia pennisetigena* on *Cenchrus echinatus* in Paraguay. *Plant Disease*. 105(11): 3758.

Cobb, NA. 1918. Estimating the nema population of the soil, with special reference to the sugar-beet and root-gall

nemas, *Heterodera schachtii* Schmidt and *Heterodera radicola* (Greef) Muller, and with a description of *Tylencholaimus aequalis* n. sp. *USDA Agricultural Technical Circular*. 1: 1-47.

Doucet, M. 1992. Asociaciones entre nemátodos fitófagos y malezas en la República Argentina. *Agriscientia*. 9 (2): 103-112.

Egea-Elsam, J; Mereles, F; Céspedes, G. 2018. *Malezas comunes del Paraguay: manual de identificación*. 1 ed. Asunción, PY: Pefaur Comunicaciones. 395 p.

Ferraz, LC, Pitelli, RA; Furlan, V. 1978. Nematoides associados a plantas daninhas na região de Jaboticabal, SP: Primeiro relato. *Planta Daninha*. 1(1): 5-11.

Ferraz-Ramos, R; Kaspari, ET; Rubin-Balardin, R; Dalla-Nora, D; Antonioli, ZI; Bellé, C. 2019. Plantas daninhas como hospedeiras dos nematoides-das-galhas. *Revista Agronomia Brasileira*. 3: 1-3.

Fuentes, C. 1986. Metodologías y técnicas para evaluar las poblaciones de malezas y su efecto en los cultivos. *Revista COMALFI*. 13: 29-50.

Guzmán-Hernández, TJ; Hernández-Villalobos, S; Varela-Benavides, I; Durán-Mora, J; Montero-Carmona, W. 2011. Nemátodos fitoparásitos asociados al arroz en las regiones Huetar Norte y Huetar Atlántica de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 22 (1): 21-28.

Gharabadiyan, F; Jamali, S; Yazdi, AA; Hasan-Hadizadeh, M; Eskandari, A. 2012. Weed hosts of root-knot nematodes in tomato fields. *Journal of Plant Protection Research*. 52(2): 230-234.

Jenkins, WR. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*. 48(692).

Kirsch, VG; Kulczynski, SM; Bauer-Gomes, C; Calderan-Bisognin, A; Gabriel, M; Bellé, C; Lima-Medina, I. 2016. Caracterização de espécies de *Meloidogyne* e de *Helicotylenchus* associadas a soja no Rio Grande do Sul. *Nemantropica*. 46(2): 197-208.

Laasli, SE.; Mokrini, F.; Lahlali, R.; Wuletaw, T.; Paulitz, T.; Dababat, AA. 2022. Biodiversity of nematode communities associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) in Southern Morocco and their contribution as soil health bioindicators. *Diversity*. 14(194): 1-27.

Lima-Medina, I; Bravo, RY; Aguilar-Gomez, MI. 2018. Nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Journal of High Andean Research*. 20(1): 31-38.

Lopez, HF; Pushpa-Soti, GB; Jagdale, PG; Racelis, A. 2021. Weeds as hosts of plant parasitic nematodes in subtropical agriculture systems. *Subtropical Agriculture and Environments*. 72: 1-6.

López-Nicora, HD; Soilán-Duarte, LC; Caballero-Mairesse, GG; Grabowski-Ocampos, CJ; Enciso-Maldonado, GA. 2021. *Manual de nematología agrícola: bases y procedimientos*. Asunción, PY: Grupo Editorial Atlas. 90 p.

Lopez-Nicora, H, Enciso-Maldonado, GA; Caballero-Mairesse, GG; Sanabria-Velázquez, AD; Armandans-Rojas, AJ; Soilán-Duarte, LC; Cristian Javier Grabowski-Ocampos, Resquin-Romero, GA; Colmán, AA; Pedrozo-Fleitas, LM; Valiente-Raidán, HN;

- Ramírez-Cardozo, FA; Ruiz-Zastrow, V; Cubilla-Andrada, MM. 2022. Distribution and abundance of nematodes in horticultural production in Paraguay. *Plant Health Progress* (ja).
- Lugo, Z; Crozzoli, R; Perichi, G; Medina, R; Castellano, G. 2007. Nemátodos fitoparasíticos asociados a plantas cultivadas y silvestres en el municipio miranda del estado Falcón, Venezuela. *Fitopatología*. 20 (1): 15-20.
- Moens, M; Perry, RN; Starr, JL. 2009. Meloidogyne species: a diverse group of novel and important plant parasites. In: Perry, RN; Moens, M; Starr, JL (Eds.). *Root-knot Nematodes*. Wallingford, UK: CABI Publishing. 17 p.
- Murray, L; Thomas, SH; Schroeder, J; Kreider, S; Ou, Z; Trojan, JM; Fiore, C. 2011. Modeling the root-knot nematode/nutsedge pest complex: perspectives from weed science, nematology and statistics. *Conference on Applied Statistics in Agriculture*. 121-158.
- Nogueira-Marques, B; Kobayashi, L; Oliveira-Arieira1, G; Faria, DA; Dallabrida-Avelino, AC; Gonçalves-Abreu, J; Alves-Martins, L; Silva-Moreira, GC; Días-Oliveira, L; Terzi, BG. 2019. Nematodes associated to tropical forages in pasture areas. *Journal of Experimental Agriculture International*. 36(4): 1-10.
- Norton, DC. 1978. Ecology of plant-parasitic nematodes. *Soil Science*. 127(1): 63.
- Ntidi, KN; Fourie, H; McDonald, AH; De Waele, D; Mienie, CM. 2012. Plant-parasitic nematodes associated with weeds in subsistence agriculture in South Africa. *Nematology*. 14(7): 875-887.
- Pastén, AM; Benítez, E; Rivero, R; Pastén, M; Benítez, MS. 2017. *Anuario Climatológico 2017: Estación Meteorológica de la UNA*. San Lorenzo, Paraguay: Centro Meteorológico de la Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción. 33 p.
- Pereira-Braz, GB.; Oliveira, RS; Constantin, J; Raimondi, RT; Ribeiro, LM; Gemelli, A; Takano, HK. 2016. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. *Summa Phytopathologica*, 42(3): 233-238.
- Pinheiro, JB; Silva, GO; Biscaia, D; Macedo, AG; Correia, NM. 2019. Reaction of weeds, found in vegetable production areas, to root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. enterolobii*. *Horticultura Brasileira*. 37(4): 445-450.
- Quénéhervé, P; Chabrierb, C; Auwerkerkena, A; Toparta, P; Martinya, B; Marie-Lucea, S. 2006. Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop Protection*. 25: 860-867.
- Ravichandra, NG. 2014. *Horticultural nematology*. New Delhi: Springer India. 523 p.
- Robles H, JP; Moreno P, L. 2011. Densidad poblacional de nemátodos fitoparásitos en suelo de Irapuato, Guanajuato. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 29(2): 172-174.
- Rocha, LF; Gage, KL; Pimentel, MF; Bond, JP; Fakhouri, AM. 2021. Weeds hosting the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines* Ichinohe): management implications in agroecological systems. *Agronomy*. 11(1): 146.
- Rybarczyk-Mydlowska, K; Dmowska, E; Kowalewska, K. 2019. Phylogenetic studies on three *Helicotylenchus* species based on 28S rDNA and mtCOI 526 sequence data. *Journal of Nematology*. 51: 1-17.
- Shurtleff, MC; Averre, CW. 2000. *Diagnosing plant diseases caused by nematodes*. New York, USA: APS Press. 189 p.
- Thorne, G. 1961. *Principles of Nematology*. New York, USA: McGraw-Hill. 292 p.
- Valiente, AR. 2010. *Nemátodos de plantas*. San Lorenzo, PY: Facultad de Ciencias Agrarias UNA. 121 p.
- Webster, TM; Davis, RF. 2007. Southern root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) affects common cocklebur (*Xanthium strumarium*) interference with cotton. *Weed Science*. 55(2): 143-146.

Vivencias de enfermeros ante la muerte de pacientes Covid19 en la Unidad de Cuidados Intensivos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

Nurses experiences facing the death of Covid19 patients in the Intensive Care Unit of Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

Katherine González^{1,*} y Evelyn Buenaño¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, kthygonzlez_24@yahoo.com, evel_y@hotmail.com.

* Autor para correspondencia: kthygonzlez_24@yahoo.com

Fecha de recepción del manuscrito: 23/06/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 07/09/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—La enfermedad por coronavirus, llamada también Covid19, identificada en diciembre del 2019 y declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud, ha generado gran impacto en la salud mental del personal de salud que se encuentra en primera línea de atención, sin embargo, no se evidencian estudios que reflejen sus experiencias, sentimientos y actitudes en este servicio. Por consiguiente, resulta importante el desarrollo de este estudio planteándose como objetivo analizar las vivencias de enfermeros ante la muerte de los pacientes con Covid19 en la Unidad de Cuidados Intensivos. Se trata de un estudio cualitativo, fenomenológico de carácter interpretativo, donde se realizó un muestreo por conveniencia, con 8 entrevistas semiestructuradas, ejecutadas en las enfermeras de la UCI de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas que laboran en el área Covid19. A partir de los ejes de indagación vivencia, sentimiento y afrontamiento, se obtuvieron las siguientes categorías: “momento difícil ante la muerte del paciente Covid19”, “sentimientos negativos ante la muerte del paciente”, “miedo al contagio”, “resiliencia en tiempos de pandemia”, “acercamiento a Dios y ayuda profesional”, “desapego afectivo con el paciente”, y finalmente “cuidado humanizado e integral”. Concluyendo que los enfermeros viven momentos difíciles y caóticos ante la muerte de pacientes Covid19, esta experiencia genera sentimientos negativos como: tristeza, dolor, desesperación y miedo. La resiliencia, el acercamiento a Dios, la ayuda profesional y el cuidado humanizado e integral, son técnicas de afrontamiento ante esta situación.

Palabras clave—Vivencias, Enfermería, Pacientes Covid19, Unidad de Cuidados Intensivos.

Abstract—The coronavirus disease, also called Covid19, identified in December 2019 and declared as a pandemic by the World Health Organization, has generated a great impact on the mental health of health personnel who are on the front line of care. Nevertheless, there are no evidence studies that reflect their experiences, feelings, and attitudes in this service, therefore the development of this study is important aimed at analyzing the nurses' experience in the face of the death of patients with Covid19 in the Intensive Care Unit. It is a qualitative and phenomenological study of an interpretive nature; a convenience sampling was carried out with 8 semi-structured interviews which were conducted with the ICU nurses of the province of Santo Domingo de Los Tsáchilas who work in the Covid19 area. From the axes of inquiry experience, feeling and coping, the following categories were obtained as a result: "difficult moment in front of the death of the Covid19 patients", "negative feelings after the death of the patient", "fear of contagion", "resilience in times of pandemic", "approach to God and professional support", "affective detachment with the patient", and finally "humanized and comprehensive care". As a conclusion of this study, it is highlighted that nurses experience difficult and chaotic moments in the face of the death of Covid19 patients. This experience generates negative feelings such as sadness, pain, despair, and fear. Furthermore, resilience, approaching God, professional support, and humanized and comprehensive care are coping techniques in this situation.

Keywords—Experiences, Nursing, Covid19 Patients, Intensive Care Unit.

INTRODUCCIÓN

El Covid19 es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2, según lo define la Organización Mundial de la Salud (OMS). Fue identificada en Wuhan, provincia de Hubei en China, tras presentarse varios casos graves de neumonía severa. Se presenta con una amplia gama

de manifestaciones clínicas en los pacientes que la adquieren, que va desde un simple resfriado hasta una neumonía, llegando a ocasionar daño multiorgánico y la muerte. Fue declarada pandemia el 11 de marzo del 2020 por la OMS por su fácil transmisibilidad, esparciéndose rápidamente por todo el mundo (OMS, 2019).

En Ecuador, el primer caso confirmado se dio a conocer el

29 de febrero de 2020 por el centro de operaciones de emergencia del Ecuador (COE), para agosto del 2022 se han registrado 995.147 casos confirmados y 35.832 muertes por Covid19 (Datos Macro, 2022). Durante el primer año, los controles ejercidos por las autoridades fueron ineficientes para evitar la propagación en todo el país, ocasionando una crisis en los distintos centros de salud pública en su intento por atender la mayoría de los casos. Entre las interrogantes que surgían por esta nueva enfermedad, el personal sanitario vivió momentos de incertidumbre y temor, afectando su salud mental, no solo por las vivencias obtenidas a diario, sino también por el alto número de pacientes fallecidos durante turnos extenuantes (Minchala et al., 2020).

Además, “la exposición a un ambiente rico en factores estresantes” contribuye al deterioro de la salud mental entre el personal médico debido a diversos factores como el miedo a propagar la enfermedad o no poder mitigarla (Vinueza et al., 2021). A causa de esto, se entiende que la Covid19 afecta de forma especial a quienes trabajan por cuidar y curar a quienes contraen la enfermedad. En Perú, una investigación demuestra cómo los enfermeros que atendían pacientes de Covid19 presentaron ansiedad, depresión y estrés (Obando et al., 2020).

El Consejo Internacional de Enfermería expone que más de 1000 enfermeras han fallecido en 44 países a través de esta crisis sanitaria, además de considerar a la Covid19 como enfermedad laboral (López & Majo, 2020), enfrentándose al miedo de contagiarse y/o contagiar a sus familias, al estigma social generado por el miedo de la población ante una enfermedad desconocida y al cambio en su modo de vida personal y laboral por el uso de equipos de protección personal (EPP) en largas jornadas de trabajo (Morales y Palencia, 2020).

Según una investigación fenomenológica sobre las vivencias y emociones del personal de Enfermería con pacientes Covid19 (Minchala et al., 2020), 12 enfermeras que tuvieron contacto directo con pacientes Covid19 presentaron reacciones negativas como miedo e incertidumbre, y positivas como la satisfacción del deber cumplido al ver la recuperación de los pacientes. De este estudio se destacan las siguientes frases significativas: “me encuentro aislada de mi familia, mis hijos, el traje te ahoga, te asfixia, no puedes salir al baño a realizar tus necesidades, te deshidratas por el sudor, la falta de líquidos, debes rotar cada seis horas en el turno”, “siento ansiedad al iniciar el turno, miedo de contagiarme y llevar la enfermedad a mi familia, me siento muy limitada en la relación enfermera-paciente” (p. 1).

Otro estudio sobre la experiencia del profesional de enfermería ante la muerte y el proceso de morir en unidades de cuidado intensivo (Valle et al., 2019) identificó procesos de afrontamiento eficaces como el alejamiento o distanciamiento emocional, la búsqueda de apoyo social en grupos religiosos, ayuda psicológica o grupos de tanatología ante la muerte de los pacientes en las enfermeras de las unidades de cuidados intensivos de una institución de segundo nivel, ya que habrían recibido capacitaciones en su preparación profesional sobre estas estrategias para afrontar la muerte.

Todas estas experiencias sentidas por el ser humano como resultado de su vida cotidiana pueden ser abordadas desde la fenomenología (Guerrero et al., 2019). Esta filosofía tiene como fin explicar la naturaleza de los fenómenos, su carácter descriptivo permite conocer y encontrar la verdad de las

cosas. Por lo tanto, estos procesos investigativos otorgan sentido a las experiencias vividas por las personas y convierte en necesario el estudio de fenómenos que involucren el proceso salud-enfermedad acontecido en los pacientes y en los profesionales a cargo de su cuidado (Expósito et al., 2019).

En la práctica clínica se ha evidenciado una mayor preocupación de los profesionales de enfermería en el cumplimiento de las funciones técnicas y administrativas, dejando de lado la relación enfermero-paciente, situación que reduce la oportunidad de poder discutir acerca de las emociones, sentimientos y experiencias que muchas veces no son verbalizadas, pero se ven reflejadas en las actitudes y conductas de estos profesionales durante su proceso de atención y cuidados (Expósito et al., 2019).

Garantizar una muerte digna en el final de la vida del paciente crítico es uno de los roles que cumple el personal de enfermería (Fernández, 2020). El tiempo que comparte, las vivencias, la formación profesional y las actitudes desarrolladas, hacen que esta experiencia se convierta en una de las más gratificantes o en una de las más difíciles, pero esto dependerá de la percepción de cada persona y de la capacidad de afrontamiento ante los sucesos de muerte. Dichos procesos pueden repercutir en el estado de ánimo del cuidador (Jiménez, 2022), creando sentimientos negativos e incluso síntomas físicos, lo que causaría un declive en el desempeño laboral y personal, y aquí radica la importancia de este estudio.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar las vivencias de los enfermeros ante la muerte de los pacientes con Covid19 en una Unidad de Cuidados Intensivos, abordando las experiencias y el impacto emocional que tienen los enfermeros durante su labor en la primera línea de atención frente al Covid19.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en un hospital público de segundo nivel de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador), durante el periodo enero-septiembre de 2021.

Diseño del muestreo

La investigación se realizó con enfoque cualitativo, diseño fenomenológico y de carácter interpretativo, es decir que el análisis de los datos se realiza con la finalidad de comprender el significado que las personas otorgan a sus experiencias. Este tipo de investigación se aplica con frecuencia en aquellos casos donde se desea conocer experiencias que tienen un significado especial, en acontecimientos no muy frecuentes pero que los participantes describen como una experiencia única (Duque y Díaz, 2019).

La población corresponde a los profesionales de enfermería de tercer y cuarto nivel que laboran en la UCI Covid de un hospital público de segundo nivel de atención y que atendieron pacientes que fallecieron por Covid19, además de aceptar participar en la investigación previa autorización con el consentimiento informado.

El tipo de muestreo seleccionado fue selectivo, de juicio o intencional, en donde la muestra se obtiene gradualmen-

te durante el proceso. Para ello, se escogió una semana para la ejecución de las entrevistas, encontrándose 10 profesionales de turno que cumplieron los criterios de elegibilidad. En la Tabla 1 se presentan todos los participantes seleccionados, identificados con seudónimos (signos del zodiaco) para mantener la confidencialidad de la información y sus características en relación al sexo, edad y experiencia en la UCI, de las entrevistas realizadas se seleccionaron 8 (se excluye aleatoriamente a virgo y a escorpio) por considerarse que se alcanzó la saturación teórica, la cual, según Conejero (2020), se alcanza cuando se recolecta la suficiente información con características similares.

Tabla 1: Caracterización de los enfermeros de la Unidad de Cuidados Intensivos de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador) que participaron en el estudio sobre vivencias ante la muerte de pacientes Covid19.

Seudónimo	Sexo	Edad	Experiencia UCI
Acuario	Femenino	26	1 año 4 meses
Géminis	Femenino	28	1 año 6 meses
Tauro	Femenino	30	3 años
Piscis	Femenino	28	3 años 8 meses
Libra	Femenino	30	3 años 8 meses
Cáncer	Femenino	39	6 años 6 meses
Leo	Femenino	31	3 años 6 meses
Aries	Femenino	28	1 año 6 meses
Virgo	Masculino	28	1 año 2 meses
Escorpio	Masculino	29	1 año 4 meses

Recopilación de la información

Para la recolección de los datos, se utilizó una entrevista individual semiestructurada, formada por tres partes. En la primera parte se realizó la presentación y se compartieron las instrucciones, en la segunda se formularon las siguientes interrogantes: “¿Vivenció alguna situación de muerte durante la prestación de cuidados a pacientes con Covid19? Hable sobre esta experiencia. A raíz de esta experiencia, ¿qué sentimientos y actitudes surgieron y cómo pudo afrontarlos?” Al final de la intervención de cada participante se dio paso al cierre y agradecimiento. Cada entrevista fue grabada (vídeo y audio) y posteriormente fueron transcritas. El contenido se dividió en ejes de indagación, utilizados también en un estudio previo (Andreu et al., 2020), logrando clasificar los resultados en tres categorías: vivencia, sentimiento y afrontamiento (Tabla 2).

Análisis de los datos

Se utilizó la técnica de teoría fundamentada, utilizada particularmente en los temas de las ciencias sociales para analizar y generar conocimiento de un fenómeno estudiado a partir de información cualitativa, basados en el análisis ordenado y la interpretación de datos obtenidos mediante entrevistas, además de conceder al investigador la habilidad de explicar un evento (Mercado et al., 2019). Siguiendo esta técnica, en una primera etapa se desarrolló la recolección de datos, tanto de la búsqueda de antecedentes bibliográficos como de las entrevistas. La siguiente etapa corresponde a la de microanálisis, en donde se estudiaron los datos y se identificó la infor-

Tabla 2: Conceptualización de los ejes de indagación para la clasificación de los resultados del estudio realizado en los enfermeros de la Unidad de Cuidados Intensivos de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador) que participaron en el estudio sobre vivencias ante la muerte de pacientes Covid19.

Ejes de indagación	Concepto
Vivencia	Es una experiencia individual con sentido colectivo, es el conjunto de agentes externos influyentes sobre los movimientos, voluntad y emociones, respondiendo de manera histórica y consciente a los hechos (Osorio et al., 2017).
Sentimiento	Es el resultado de una o varias emociones, en donde interviene la consciencia, permitiendo a voluntad de la persona la prolongación o acortamiento de la misma (González y Solano, 2017).
Afrontamiento	Técnica que surge como resultado de las experiencias, es la capacidad que tienen los individuos para enfrentar un problema y de las conductas que adoptan para solucionarlo (Barriga et al., 2020).

mación más relevante para el estudio. La etapa siguiente es la codificación abierta, en donde se identificaron significados para cada uno de los ejes de indagación (vivencia, sentimiento y afrontamiento), obteniendo como resultado una serie de códigos que al ser analizados se clasificaron como categorías (momento difícil, sentimientos negativos y resiliencia). Seguido a ello, se realizó el análisis mediante la codificación axial, identificando las relaciones entre las categorías obtenidas y las subcategorías (situación caótica, miedo al contagio, acercamiento a Dios y ayuda profesional, y cuidado humanizado e integral). Se continúa con el análisis de la codificación axial, pero con mayor nivel de abstracción, dando paso a la codificación selectiva y la etapa de integración, el objetivo es enunciar el fenómeno de estudio en una categoría principal (momento difícil), y que de ella se desprendan las demás categorías (sentimientos negativos y resiliencia). La última etapa corresponde a la creación de la teoría, definiendo también las teorías emergentes basadas en las experiencias de los participantes.

RESULTADOS

La codificación selectiva permitió la formulación de una categoría central en la cual se agrupan los elementos de las demás categorías. La categoría que refleja las vivencias de enfermeros ante la muerte de pacientes con Covid19 en la unidad de cuidados intensivos es “momento difícil”, con su subcategoría “situación caótica”, y de ella emergen las categorías “sentimientos negativos”, con la subcategoría “miedo al contagio”, y la categoría “resiliencia”, con las subcategorías “acercamiento a Dios y ayuda profesional” y “cuidado humanizado e integral”.

Categoría 1: Momento Difícil

Esta categoría es la principal del estudio, en ella se definen las vivencias de los enfermeros, que en sus testimonios lo describieron como un proceso nada sencillo, y que asimilaron el fenómeno de la muerte como una transición compleja, influenciada también por la tasa de mortalidad elevada durante la crisis sanitaria por la pandemia.

Los testimonios describen esta experiencia como: “Muy difícil, aterradora inicialmente, porque no se conocía cuál era el manejo de esta nueva enfermedad, de este virus, aparte los

pocos conocimientos que se tenía inicialmente”. Otro testimonio menciona: “Es un momento muy difícil, ya que el hecho de que tú estás trabajando para recuperar ese paciente, para sacarlo de la situación en la que se encuentra y que este paciente después de todo el proceso que se ha llevado llega a fallecer”. Además, narran la experiencia frente al proceso de muerte de un paciente como: “La primera vez que se te va un paciente creo que es lo más difícil porque esa se te queda pegada y grabada y no te puedes olvidar, te acuerdas de cómo era, quién era, en qué cama estaba, qué le pasó, cuántos minutos duró la reanimación, y que no salió”.

Subcategoría 1: Situación Caótica

Las entrevistas revelaron que, a diferencia de la muerte a causa de otras enfermedades, el Covid19 arrastró muchas vidas en poco tiempo y creó caos emocional al enfrentar esta situación desconocida. El personal de enfermería refiere en sus testimonios que: “Se evidenció demasiadas muertes debido a que no se tenía un plan terapéutico establecido y no se pudo en sí ayudar a todas las personas que recurrían”; “Se vivenció a diario que a inicios de la pandemia había mayor número de muertos, o sea, la tasa de mortalidad era súper alta”; “Todas nuestras compañeras han evidenciado mucho más la muerte en este tiempo, eso, eso es lo más caótico, que fue muy masivo”; y que, “Han tenido que pasar por mis turnos y por mis manos muchas personas que lamentablemente perdieron la batalla, las primeras muertes fueron bastante dolorosas emocionalmente”.

Categoría 2: Sentimientos Negativos

Los profesionales de enfermería no demostraron sentimientos positivos, al contrario, mencionaron sentimientos de tristeza y profundo dolor, que en ocasiones llevaron a problemas psicológicos que debieron ser tratados por un profesional. Los testimonios que describen esta experiencia son: “Se siente tristeza porque tú hiciste todo lo posible por tratar de ayudarlo y después de todo no se consiguió”. Otro testimonio refiere: “Es bastante doloroso también y mucho más cuando está en tu turno y le pasa algo a ese paciente con el que hablaste y conversaste y sabes de su vida”.

En los testimonios se ponen de manifiesto sentimientos expresados en frases como: “Desesperación, porque en realidad no sabíamos qué hacer para ayudar a los pacientes... y en ocasiones tristeza” y, “Lo que más me dolió fue la muerte de un paciente en especial... a mí en particular me dio depresión”.

Subcategoría 2: Miedo Al Contagio

Una de las emociones que se destacó en el personal de enfermería fue la percepción de peligro inminente, más que por sus vidas, por la de sus familias, ya que ellos batallaban a diario directamente con el virus de la Covid19, encontrando coincidencias en comentarios como: “Conjuntamente con el temor, por nuestras vidas, las vidas de los familiares, de los pacientes”; “Y sí era frustrante incluso a veces a uno se le iban las lágrimas, ... tenía mucho miedo de contagiarme”; “Teníamos temor a contaminarnos no solamente era por nosotros sino por contaminar a nuestra familia”; y “Yo tenía miedo, mucho, mucho miedo, porque no sabía qué hacer, no

sabía cómo reaccionar”.

Categoría 3: Resiliencia

La capacidad de adaptación de los enfermeros ante esta situación adversa permitió establecer al tiempo como un mecanismo de afrontamiento, evidenciadas en frases como: “Cada día haciendo mejor tu trabajo, por ejemplo: tratar de mejorar cada vez los cuidados de enfermería que uno presta a los pacientes”. El personal de enfermería menciona al tiempo como un factor importante en esta situación, algunos resaltan que: “Con el pasar del tiempo ya uno aprende a vivir con eso y ya es algo que ya estás acostumbrado”; y “Con el tiempo, se logra llevarlo de la mano, o sea, hacerlo llevadero porque si no vamos a volvernos locos”.

Subcategoría 3: Acercamiento A Dios y Ayuda Profesional

Un método de afrontamiento para desvincular la carga emocional que produce vivenciar muertes masivas de pacientes fue apegarse a Dios, esto se evidencia en testimonios como: “Mi pilar fundamental en cada turno ha sido Dios, pero esta vez fue como que me aferré más a él”; y “Cada vez que se me vaya a morir un paciente o que vea que ya está muy mal, tengo que decirle que se vaya con Dios y que sea la voluntad de él”. Algunos señalan que en esta situación fue importante también buscar ayuda en un profesional en el campo de la psicología, esto se pone de manifiesto en frases como: “Tuve sesiones de terapia con la psicóloga”; “Creo que todos nos aferramos a Dios y también hubo un tiempo de ayuda psicológica, bueno, en lo personal sí, se necesitó de alguien, de un profesional”.

Subcategoría 4: Cuidado Humanizado E Integral

A partir de vivenciar el fenómeno de la muerte en los pacientes, los profesionales de enfermería mencionan que mejorar el cuidado asistencial es una actitud que crea conciencia para dar lo mejor de sí, ejemplo de esto es un testimonio que menciona: “Cada día haciendo mejor tu trabajo, por ejemplo: tratar de mejorar cada vez los cuidados de enfermería que uno presta a los pacientes”.

DISCUSIÓN

Para Minchala et al. (2020), la crisis sanitaria ha creado impacto en la salud mental del personal de salud, sobre todo de aquellos que se encontraron en la primera línea de atención, siendo las vivencias diarias y el alto número de pacientes fallecidos durante turnos extenuantes, algunas de las razones. Estos datos corroboran la información obtenida en el presente estudio, en donde los participantes manifiestan que esta vivencia ha generado un gran impacto en su salud emocional, constituyéndose en una etapa difícil, convirtiéndolo en una situación caótica experimentada frente a la alta tasa de mortalidad producida por la Covid19, resultando en algunos casos cuadros de depresión y la necesidad de buscar ayuda psicológica, tal como lo mencionan algunos participantes en sus testimonios.

En este estudio se evidenció que durante la atención de enfermería ante la muerte del paciente Covid19, únicamente

se experimentaron sentimientos negativos como: dolor, tristeza, desesperación y miedo al contagio. Ejemplo de ello, un participante menciona el dolor sentido en un caso en especial, otros refieren la presencia de depresión y temor al contagio, no solo de ellos sino de también de sus familias. Esta información se relaciona con el artículo sobre las vivencias y emociones del personal de Enfermería con pacientes Covid19 elaborado por Minchala et al. (2020), en donde mencionan que los profesionales en contacto directo con pacientes Covid19 presentaron reacciones negativas como el miedo y la incertidumbre, sin embargo, también se refieren reacciones positivas como la satisfacción del deber cumplido al ver la recuperación de los pacientes, sentimientos que no se percibieron en este estudio.

Según Valle et al. (2019) en su estudio cualitativo se identificaron procesos de afrontamiento eficaces como el alejamiento o distanciamiento emocional, la búsqueda de apoyo social en grupos religiosos, ayuda psicológica o grupos de tanatología en las enfermeras de las unidades de cuidados intensivos ante la muerte de los pacientes, ya que habrían recibido capacitaciones sobre estas estrategias. Esta información se relaciona con el presente estudio, en donde se identificaron también algunas formas de afrontamiento como: la resiliencia, el acercamiento a Dios, la importancia de la ayuda psicológica, el desapego afectivo al paciente y el cuidado humanizado e integral. Como ejemplo de ello, dos profesionales coinciden en que el tiempo es un mecanismo de afrontamiento y que la convivencia diaria de esta situación hace que la transforme en una costumbre.

Marrero & García (2019) en su estudio de reflexión sobre las percepciones que tienen las enfermeras al cuidar a un ser humano en la etapa final de su vida, denotan que son cuidados enmarcados en una atención fría e inhumanizada y enfatiza la importancia de que el personal de enfermería sea escuchado, reciba atención y formación sobre los cuidados que se deben dar al final de la vida para brindar una atención integral. Del mismo modo en este estudio se obtuvieron categorías como: desapego afectivo al paciente y el cuidado humanizado e integral, en donde los profesionales de enfermería manifestaron la necesidad de desvincularse afectivamente del paciente para que no repercuta en su salud, hecho que las condujo a la reflexión de mejorar cada día sus cuidados, en búsqueda de una atención humanizada e integral, dando paso a la reflexión y concientización sobre los cuidados brindados a pacientes con Covid19 en el servicio de la UCI.

Según la investigación fenomenológica desarrollada en Colombia por Henao & Quiñonez (2019), las enfermeras utilizan estrategias de afrontamiento centradas en las emociones, usan la comunicación y oración con el paciente, así como el acompañamiento para aliviar el sufrimiento de la familia. Estos datos se relacionan con la información obtenida en este estudio, ya que se evidenció el acercamiento a Dios como técnica de afrontamiento frente a la vivencia de muerte de pacientes Covid19, lo cual les permitió canalizar sus sentimientos de pérdida y evitar que estos perjudiquen su salud, dicho hecho se evidenció en testimonios que mencionan a Dios como su pilar fundamental en cada turno, aferrándose cada vez más a él e incluso destinando la evolución en el paciente a la voluntad de él.

AGRADECIMIENTOS

A la planta docente y administrativa de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Santo Domingo de los Tsáchilas, así mismo agradecemos al personal de enfermería del Hospital Público de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, quienes en forma desinteresada compartieron sus conocimientos y aportaron de manera significativa en el desarrollo de esta investigación, gracias por su paciencia y experiencia.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Katherine González-Guambaña: KGG. Evelyn Buenaño-Arévalo: EBA.

FINANCIAMIENTO

El financiamiento fue de procedencia propia.

REFERENCIAS

- Andreu, D., Ochando, A & Limón, E. (2020). Experiencias de vida y soporte percibido por las enfermeras de las unidades de hemodiálisis hospitalaria durante la pandemia de COVID- 19 en España. *Enfermería Nefrológica*, 23(2), 148-159. Epub 05 de octubre de 2020.
- Barriga, C., Torres, V., Farías, J., & Reyes, L. (2020). Riesgos y daños en la salud mental del personal sanitario por la atención a pacientes con COVID-19. *Revista mexicana de urología*, 80(3), 1-9.
- Conejero, J. (2020). Una aproximación a la investigación cualitativa. *Neumología Pediátrica*, 15(1), 242–244.
- Datos Macro. (2022). Ecuador - COVID-19 - Crisis del coronavirus. *Datosmacro.com*.
- Duque, H., & Díaz, E. (2019). Análisis fenomenológico interpretativo. Una guía metodológica para su uso en la investigación cualitativa en psicología. *Pensando Psicología*, 15(25), 1-24.
- Expósito, M., Villarreal, E., Palmet, M., Borja, J., Segura, I., & Sánchez, F. (2019). La fenomenología, un método para el estudio del cuidado humanizado. *Revista Cubana de Enfermería*, 35(1).
- Fernández, M. (2020). Intervenciones enfermeras en el mantenimiento del paciente crítico para la donación de órganos. [Tesis de pregrado, Escuela Universitaria de Enfermería, Barcelona- España].
- González, J., & Solano, M. (2017). Poesía y cuidados: un instrumento para la gestión de emociones y sentimientos en enfermería. *Enfermería: Cuidados Humanizados*, 6(2), 33-48. E pub 01 de diciembre de 2017.
- Guerrero, R., Menezes, T., & do Prado, M. (2019). Fenomenologia na pesquisa em enfermagem: reflexão com base

- na hermenêutica de Heidegger. *Scielo*, 23(4), 1-7.
- Henao, Á., & Quiñonez, M. (2019). How nurses cope with death in the paediatric intensive care unit. *Enfermería Intensiva (English Ed.)*, 30(4), 163-169.
- Jiménez, A. (2022). Afrontamiento del personal de enfermería frente a la muerte de los pacientes oncológicos. [Tesis de pregrado, Universidad de la Laguna, España].
- López, M., & Majo, H. (2020). Situación de Enfermería en tiempos de COVID-19: Una mirada panorámica. *Journal of American Health*, 48-58.
- Marrero, C., & García, A. (2019). Vivencias de las enfermeras ante la muerte. Una revisión. *Revista ENE de enfermería*. 13(2), 1321. Epub 21 de octubre de 2019.
- Mercado, Kathya E., Pérez, Cynthia B., Castro, Luis A., & Macias, Adrian. (2019). Estudio Cualitativo del Comportamiento del Consumidor en Compras Online. *Información tecnológica*, 30 (1), 109-120.
- Minchala, R., Estrella, M., & Prieto, E. (2020). Vivencias y emociones del personal de Enfermería con pacientes Covid-19. Cuenca – Ecuador, 2020. *Ocronos. Revista médica y de Enfermería*, 3(August).
- Morales, B., & Palencia, J. (2020). Reflexiones del cuidado enfermero en tiempos de covid-19. *Enfermería Investiga*, 5(3), 71–78. ISSN 2550-6692.
- Obando, R., Arévalo, J., Aliaga, R., & Obando, M. (2020). Ansiedad, estrés y depresión en enfermeros de emergencia Covid-19. *Index de Enfermería*, 29 (4), 225-229. Epub 01 de noviembre de 2021.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Brote de enfermedad por coronavirus.
- Osorio, L., Acosta, M., Aguilera, M., Pozos, B., & Torres, T. (2017). Vivencias y experiencias de médicos residentes mexicanos durante su primer año de formación académica. *Investigación en educación médica*, 6(23), 169-179.
- Valle, M. Del C., García, J., Quintana, M., & García, Y. (2019). Experiencia del profesional de enfermería ante la muerte y el proceso de morir en unidades de cuidado intensivo. *Sanus*, (11), 19–31.
- Vinueza, A., Aldaz, N., Mera, C., Pino, D., Tapia, E., & Vinueza, M. (2021). Síndrome de Burnout en el personal ecuatoriano durante la pandemia de la COVID-19. *Correo Científico Médico*, 25(2).

Administración de ácido fólico en mujeres gestantes y factores sociodemográficos asociados

Folic acid administration in pregnant women and associated sociodemographic factors

José Eduardo González Estrella^{1,*}, Denny Caridad Ayora Apolo¹ y Maura Guzmán Cruz¹

¹ *Facultad de la Salud Humana, Carrera de Enfermería UNL-FSH, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, jose.e.gonzalez@unl.edu.ec, denny.ayora@unl.edu.ec, maura.guzman@unl.edu.ec*

* *Autor para correspondencia: jose.e.gonzalez@unl.edu.ec*

Fecha de recepción del manuscrito: 17/01/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 22/09/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—El ácido fólico es una vitamina parte del complejo B que ayuda al organismo a crear células nuevas, se considera un nutriente esencial, lo que significa que el ser humano no es capaz de sintetizarlo. Aunque este elemento es necesario para todas las personas, cumple un papel esencial en una etapa de la vida de la mujer que es el embarazo, en donde ejerce una influencia fundamental en el crecimiento y el desarrollo fetal. Un estado nutricional deficiente previo a la concepción y al comienzo del embarazo puede aumentar el riesgo de desenlaces adversos para el producto como el desarrollo de malformaciones congénitas. El objetivo principal de esta investigación fue establecer la asociación de la administración del ácido fólico en mujeres gestantes que acuden al Hospital Universitario de Motupe de la ciudad de Loja, con las condiciones sociodemográficas, durante el período octubre 2018 – abril 2019. El estudio es de corte transversal, descriptivo y cuantitativo, la muestra fue de 104 gestantes a las que se les aplicó una entrevista estructurada, los resultados obtenidos fueron ingresados y tabulados en el programa SPSS V. 26, llegando a la conclusión de que el 63,90% de las participantes se administran ácido fólico y evidencia, que las embarazadas que residen en el sector urbano tienen la probabilidad de 2,75 veces de recibir el micronutriente en comparación con las del sector rural.

Palabras clave—Complejo B, Gestantes, Desarrollo fetal, Estado nutricional deficiente, Malformaciones congénitas.

Abstract—Folic acid is a vitamin that is part of the B complex that helps the body create new cells. It is considered an essential nutrient, which means that humans are not capable of synthesizing it. Although this element is necessary for all people, it plays an essential role in a stage of a woman's life that is pregnancy, where it exerts a fundamental influence on fetal growth and development. Poor nutritional status prior to conception and in early pregnancy may increase the risk of adverse child outcomes such as the development of congenital malformations. The main objective of this research was to establish the association of the administration of folic acid in pregnant women who attend the Motupe University Hospital in the city of Loja, with sociodemographic conditions, during the period October 2018 - April 2019. The study is of cross-sectional, descriptive and quantitative, the sample was 104 pregnant women to whom a structured interview was applied, the results obtained were entered and tabulated in the SPSS V. 26 program, reaching the conclusion that 63.90% of the participants are administered folic acid and evidence that pregnant women residing in the urban sector have a 2.75 times probability of receiving the micronutrient compared to those in the rural sector.

Keywords—Complex B, Pregnant women, Fetal development, Poor nutritional status, Congenital malformations

INTRODUCCIÓN

El control prenatal es un conjunto de acciones que involucra una serie de visitas de parte de la embarazada a la institución de salud y la respectiva consulta médica, con el objetivo de vigilar la evolución del embarazo, detectar tempranamente riesgos, prevenir complicaciones y prepararla para el parto, la maternidad y la crianza. El seguimiento prenatal adecuado debe cumplir cinco atributos básicos a seguir: i) precocidad, ii) periodicidad, iii) completitud, iv) cobertura y v) gratuidad. Dichos controles se realizarán una

vez al mes durante los primeros seis meses del embarazo, cada dos semanas entre el séptimo y el octavo mes y una vez por semana, durante el último periodo de gestación y hasta el momento del parto. Adicionalmente, se instará por el cumplimiento adecuado de micronutrientes, entre los que se encuentran minerales como el hierro, calcio y ácido fólico, pues, varios estudios han mostrado que la deficiencia de estos micronutrientes, incrementan el riesgo de obesidad materna, diabetes gestacional, preeclampsia y otras patologías propias de la gestación humana. También se ha demostra-

do que el consumo de micronutrientes previo a y durante las primeras semanas de gestación, disminuye el riesgo de nacimiento con defectos del tubo neural (DTN), y otras complicaciones como prematuridad, asfixia, malformaciones congénitas, bajo peso al nacer y síndrome de dificultad respiratoria (Barrón et al., 2020; Ethelia López-Caudana et al., 2018; Holguín-Hernández & Orozco-Díaz, 2013; Navarro-Pérez et al., 2015).

El ácido fólico es una vitamina esencial para el crecimiento, ayuda al organismo a crear células nuevas, sobre todo durante el embarazo, que es un período especial en la que aumentan las necesidades de energía, proteínas, vitaminas y minerales, obtener suficiente ácido fólico antes y durante el embarazo puede prevenir defectos congénitos importantes en el cerebro y la columna vertebral del bebé (Plasencia, 2005; Original, 2018; Hernández Ugalde et al., 2019; Services, 1947). Es por ello, que la dieta materna tiene que aportar nutrientes energéticos y no energéticos, en cantidad suficiente para el desarrollo del feto y para mantener su metabolismo durante los nueve meses de gestación (Holguín-Hernández y Orozco-Díaz, 2013; Manjarrés et al., 2012). En ocasiones la dieta no es suficiente y es necesario recurrir a la utilización de suplementos, en este sentido, la Organización Mundial de la Salud recomienda que todas las mujeres, desde el momento en que comienzan a intentar quedarse embarazadas hasta las 12 semanas de la gestación, deben tomar suplementos de ácido fólico (400 μg ácido fólico al día), con el fin de prevenir malformaciones congénitas, especialmente defectos del tubo neural (González González y García Carballo, 2003; Suárez et al., 2020).

A nivel mundial, se estima que el producto de 260.000 embarazos presenta defectos del cierre del tubo neural, y de los nacidos vivos, al menos 75 % muere antes de los 5 años de edad. La mayoría de estos casos se produce por déficit de ácido fólico (Suárez et al., 2020).

Según la UNICEF-Ecuador, una ingesta adecuada de ácido fólico (folato) antes del embarazo y durante las primeras 12 semanas de gestación protege al embrión de padecer defectos del tubo neural, aproximadamente en un 72 % de los casos (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2014).

De acuerdo a los reportes del Sistema Integrado de Vigilancia Alimentaria Nutricional del Ministerio de Salud Pública, 105.240 mujeres embarazadas fueron suplementadas con hierro más ácido fólico en el 2014; en este mismo año, en la provincia de Loja 3.293 gestantes recibieron estos suplementos (MSP, 2014).

El embarazo, está frecuentemente asociado con una disminución de las reservas corporales de algunos nutrientes, especialmente en mujeres jóvenes, de nivel socioeconómico bajo, multíparas y de bajo consumo dietético, lo que puede conducir a deficiencias específicas de nutrientes, entre ellos el ácido fólico, el hierro y la vitamina B12. La importancia de estudiar el ácido fólico reside en que esta vitamina es un elemento esencial para la hematopoyesis durante el crecimiento corporal per se del organismo y durante el embarazo. Su deficiencia, como ya se expuso, causa defectos del tubo neural, tales como: espina bífida, anencefalia, encefalocefalia y sirenomelia. En Colombia, se evaluó la deficiencia de vitamina B12 en población de 5 a 12 años, encontrándose que el 18,10 % presenta riesgo de deficiencia y el 3,00 % tienen deficiencia de vitamina B12; sin embargo, no se encontraron

diferencias significativas por edad, sexo, etnia, área geográfica o región de procedencia (Perichart-Perera et al., 2020; Hernández, S. R., Castro Morales, L. G., & Maldona Arciniegas Paspuel, O. G., Álvarez Hedo Gudiño, C. W. (2021)).

Por otra parte, una investigación llevada a cabo en Brasil con la participación de 198 madres, en el servicio de consulta externa de pediatría del Hospital de Base de Sao José do Rio Preto, quienes llevaron a sus hijos para el cribado neonatal, reveló que el 81,30 % de las mujeres se habían administrado ácido fólico en la gestación; así mismo, cuatro de cada cinco mujeres en los tres primeros meses de embarazo, cuando se preguntó sobre la importancia del ácido fólico y de su acción, no supieron responder (Tavares et al., 2015).

La deficiencia nutricional de folato tiene una amplia distribución mundial con diferentes grados de severidad, siendo la forma subclínica la más prevalente en las mujeres embarazadas. Adicionalmente, se debe considerar la baja biodisponibilidad de esta vitamina en los alimentos, así como también, sus pérdidas que pueden alcanzar hasta un 50 % durante la preparación comercial o casera de los alimentos, específicamente por prácticas inadecuadas de cocción; con lo cual, no se pueden cubrir los requerimientos del embarazo. Esto favorece el desarrollo de deficiencia, comprometiendo seriamente la salud de la madre y el crecimiento del niño (Castaño et al., 2017).

La problemática en mención, proporcionó las directrices para la ejecución de la presente investigación, de corte transversal, cuyo objetivo fue establecer la relación entre la administración de ácido fólico en mujeres gestantes que acuden al Centro de Salud Universitario de Motupe de la ciudad de Loja, con las condiciones sociodemográficas, durante el período octubre 2018 – abril 2019 (Frey, 2018; Beddo & Kreuter, 2015). En este contexto, se plantea investigar la existencia o no de la relación entre los factores o condiciones sociodemográficas de las mujeres gestantes, que acuden al Centro de Salud Universitario de Motupe, con la administración de ácido fólico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio es de corte transversal, descriptivo y cuantitativo, la recolección de datos se realizó en un grupo específico, gestantes que acudieron al Centro de Salud Universitario de Motupe de la ciudad de Loja, se ejecutó durante el período octubre del 2018 - abril 2019. La investigación está referida a la administración de ácido fólico en gestantes, para ello, se utilizó la entrevista estructurada con preguntas cerradas de opción múltiple y una pregunta abierta.

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Salud Universitario de Motupe, localizado al norte de la ciudad de Loja a unos 7 km, en el barrio Motupe Bajo, perteneciente a la Parroquia San Juan del Valle. El sector es considerado urbano – marginal; las familias predominantes en la zona, de acuerdo a su composición, se corresponden a familias nucleares y extensas; las principales fuentes de ingresos económicos provienen de la comercialización de bovinos, ovinos, aves de corral y agricultura; las viviendas cuentan con servicios de agua potable, alcantarillado, luz eléctrica, teléfono, internet, recolección de basura, infocentro, escuela y colegio, campus universitario, microempresas, iglesia, instituciones financieras, canchas deportivas y el Centro de Salud Universitario,

que funciona en los predios de la Universidad Nacional de Loja. El área de influencia geográfica es de aproximadamente 10 Km², su población estimada es de 2.000 familias con 15.000 habitantes, una densidad poblacional de 820 habitantes por kilómetro cuadrado. Su dinámica poblacional, avanza con un incremento del 0,90%. Así mismo, es importante señalar que un 30,00% de las familias se encuentran en riesgo biológico, el 20,80% en riesgo sanitario y un 46,00% en riesgo socioeconómico.

La población objeto de estudio son 208 mujeres gestantes y puérperas de las cuales 143 son gestantes, obteniéndose una muestra correspondiente a 104 gestantes que acudieron al Centro de Salud Universitario de Motupe, que cumplieron los criterios de inclusión y exclusión, con las que se tomó la decisión de realizar el estudio presente, para ello se usó el software estadístico para epidemiología Epi Info 7.2, al 95% de nivel de confianza (Ususario, 2018).

Para el procesamiento de la información recopilada, se utilizó el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS v. 26). En lo referente al establecimiento de asociación entre la administración de ácido fólico y los factores sociodemográficos (número de hijos; el estado civil; procedencia, condición laboral; edad biológica; edad gestacional en tres grupos: I y II trimestre relacionada con III trimestre; I y III trimestre relacionada con II trimestre; y, I trimestre relacionada con II y III Trimestre), se construyeron tablas de contingencia entre variables, lográndose establecer mediante la prueba de chi cuadrado de aproximación (corrección de Yates) y la determinación del valor-p, que es el nivel de significación mínimo no arbitrario con el que podemos rechazar la hipótesis nula (H₀) dada una función de distribución y el estadístico de contraste, determinándose la relación estadística entre la administración de ácido fólico y los factores sociodemográficos en estudio.

De igual forma se calculó, la razón de ventajas, razón de oportunidades, razón de posibilidades u odds ratio (OR), por sus siglas en inglés, que deriva del cálculo de la posibilidad de los casos dividido entre la posibilidad de los controles, específicamente, en un estudio de casos y controles lo que se obtiene es la razón de posibilidades de la exposición en los casos y en los controles, lo cual nos permitirá interpretar si las variables en cuestión son factor de riesgo o protección (Salazar, 2018; Córdova Zamora, 2003).

RESULTADOS

La mayoría de mujeres que participaron en la investigación fueron mayores de edad, predominando el estado civil casadas, con un promedio de 2 hijos. Referente a la condición laboral, la mayor proporción de mujeres se dedica a los quehaceres domésticos y en menor proporción se encuentra estudiando. La edad promedio de las gestantes fue de 26,72 años. Con respecto al patrón cultural, la mayoría de las entrevistadas tienen un nivel de educación en la categoría secundaria, existiendo también un número significativo de mujeres que han estudiado primaria. Así mismo, del total de las participantes, la mayor proporción de mujeres gestantes proviene de la zona urbana y se encuentran en su último período, es decir, el tercer trimestre de gestación. Del total de la población participante e involucrada en el presente estudio solamente el 33,70% planificó su embarazo (Tabla 1).

Tabla 1: Caracterización de las gestantes de la zona de influencia del Centro de Salud Universitario de Motupe, período octubre 2018 – abril 2019.

Variable	Categoría	F	%
Condiciones sociodemográficas			
Edad	Menor de edad	16	15,40
	Mayor de edad	88	84,60
Procedencia	Rural	37	35,60
	Urbano	67	64,40
Condición laboral	Ama de casa	68	65,40
	Trabajadora	25	24,00
	Estudiante	11	10,60
Estado civil	Soltera	32	38,00
	Casada	45	43,30
	Unión Libre	27	18,30
Escolaridad	Primaria	37	35,60
	Secundaria	53	51,00
	Superior	14	13,50
Número de hijos	0	23	22,00
	1	26	25,10
	2	34	32,70
	3	18	17,30
	4	2	1,90
	5	1	1,00
Condición obstétrica			
Edad gestacional	Primer trimestre	18	17,30
	Segundo trimestre	39	37,50
	Tercer trimestre	47	45,20
Embarazo planificado	Sí	35	33,70
	No	69	66,30

En cuanto a la administración de ácido fólico en gestantes, que acuden al Centro de Salud Universitario de Motupe, la mayor proporción se ha administrado ácido fólico, aunque una proporción considerable de gestantes no lo ha hecho; de igual forma, para una proporción importante de mujeres consultadas, mencionan que, entre las razones para su no administración, es porque se les terminaron los comprimidos prescritos por el médico. De la proporción superior de usuarias que consumen ácido fólico, la mayoría se administra un comprimido al día; en este sentido, las gestantes entrevistadas manifestaron que fue el médico el profesional que les facilitó la información sobre la importancia de la administración de ácido fólico y en una menor proporción de las participantes en el estudio, se expresaron que la información la recibieron en el colegio, de amigos y por parte de su familia (Tabla 2).

En lo referente al establecimiento de asociación entre la administración de ácido fólico y los factores sociodemográficos en estudio, se determinó una relación estadística significativa con la procedencia de las embarazadas (p-valor = 0,03 < 0,05; OR = 3,77), en este caso, con las gestantes que residen en el sector urbano, las cuales tienen una probabilidad de 2,75 veces de recibir el micronutriente de ácido fólico en comparación con las mujeres embarazadas del sector rural; es importante mencionar que existen valores elevados de asociación con las variables número de hijos (OR = 2,51) y en el primer grupo de edad gestacional (OR = 1,81), sin embargo, estadísticamente no son significativas estas relaciones (Tabla 3).

Tabla 2: Administración de ácido fólico en gestantes de la zona de influencia del Centro de Salud Universitario de Motupe, período octubre 2018 – abril 2019.

Categorías	F	%
Administración de ácido fólico		
No ácido fólico	13	12,50
Sí ácido fólico	91	87,50
Total	104	100,00
Razones para no administración de ácido fólico		
Ninguna (sí administración de ácido fólico)	92	88,50
Se le terminó	3	2,90
El médico no le ha prescrito	3	2,90
Se administra otro micronutriente	3	2,90
Es su primera consulta prenatal	3	2,90
Total	104	100,00
Comprimidos de ácido fólico administrados por día		
No administración de ácido fólico	13	12,50
1 comprimido	84	80,80
2 comprimidos	6	5,80
3 comprimidos	1	1,00
Total	104	100,00
Quién le dio información sobre la importancia del ácido fólico		
Nadie	11	10,60
Médico	83	79,80
Colegio	2	1,90
Enfermera	3	2,90
Amigos	2	1,90
Familia	1	1,00
Autoeducación	2	1,90
Total	104	100,00

Tabla 3: Asociación administración de ácido fólico con los factores sociodemográficos en gestantes de la zona de influencia del Centro de Salud Universitario de Motupe, período octubre 2018 – abril 2019.

Variable	P - valor	OR	ICi 95% - ICs 95%
Número de hijos	0,20	2,51	0,80 - 7,85
Estado Civil	1,00	0,97	0,31 - 3,08
Procedencia	0,03	3,77	1,24 - 11,41
Escolaridad de las usuarias	1,00	1,11	0,22 - 5,48
Condición laboral de las usuarias	0,83	0,69	0,18 - 2,66
Edad de las usuarias	0,43	0,69	0,58 - 7,63
Edad Gestacional (I Grupo)	0,35	1,81	0,68 - 4,85
Edad Gestacional (II Grupo)	0,40	0,54	0,19 - 1,59
Edad Gestacional (III Grupo)	1,00	0,89	0,23 - 3,51

DISCUSIÓN

Los hallazgos en esta investigación muestran con respecto a las características sociodemográficas de las participantes e involucradas, un predominio de mujeres mayores de edad, con un promedio de 26,72 años, de estado civil casadas, dedicadas a los quehaceres domésticos y con un nivel educativo correspondiente a secundaria, con un promedio de 2 hijos, resultados que se corroboran con los obtenidos en el estudio “Embarazo y uso del ácido fólico como prevención de los defectos del tubo neural” (Rodríguez Domínguez & Collazo Cantero, 2013), en donde se hace una caracterización de 165 gestantes del policlínico José Jacinto Milanés del municipio Matanzas-Cuba, cuya edad promedio fue de 24,20 años, referente a la ocupación laboral, hubo predominio de trabajadoras con un nivel de escolaridad superior a la enseñanza primaria. La variación con la ocupación laboral se debe a que los lugares en los que se realizaron las investigaciones pertenecen a comunidades diferentes, así pues, el Centro de Salud Universitario de Motupe dentro de su área de influen-

cia acoge y/o registra mayoritariamente a población rural y urbano-marginal, no así, en el policlínico José Jacinto Milanés del Municipio de Matanzas que se encuentra en una ciudad urbana.

En este mismo estudio se observa predominio de gestaciones no previstas o no planificadas (66,30%). Los embarazos no deseados son especialmente comunes en adolescentes, mujeres solteras y mayores de 40 años; sin embargo, también se presentan en otros grupos de edad, su frecuencia parece ser mayor entre las mujeres de escasos recursos y limitado nivel educativo, sin embargo, este problema se presenta en todas las clases sociales. En América Latina y el Caribe, de los más de 18 millones de embarazos que se producen cada año, el 52% no son planeados (Morales Díaz *et al.*, 2013).

Respecto al suministro de ácido fólico, la investigación llevada a cabo con 800 mujeres puérperas internadas en la Cátedra de Ginecología y Obstetricia de la Facultad de Ciencias Médicas, Cruz Roja Paraguaya y Hospital San Pablo de Asunción al realizar la pregunta “ha oído hablar del ácido fólico”, un mínima proporción (8,2%) respondieron afirmativamente, de ésta proporción, el 75,60% de este subgrupo sabían que es una vitamina, el 59,1% que el ácido fólico es útil para prevenir los defectos del tubo neural y el 39,4% que se debe administrar desde antes de comenzar el embarazo (Ruoti Cosp *et al.*, 2016ñ Alfaro Pichilingue, 2018). El estudio presente, muestra resultados relacionados a la investigación citada anteriormente, al registrarse el 87,50% de las gestantes que se administran ácido fólico.

En el estudio desarrollado en Colombia, en mujeres jóvenes, de nivel socioeconómico bajo, específicamente de zonas rurales y urbano - marginales, multíparas y de bajo consumo dietético, se evaluó la deficiencia de vitamina B12, sin encontrarse diferencias significativas por edad, sexo, etnia, área geográfica o región de procedencia (Perichart-Perera *et al.*, 2020; rnández, S. R., Castro Morales, L. G., & MaldonaArciniegas Paspuel, O. G., Álvarez Heddo Gudiño, C. W. (2021)), contraponiéndose a los resultados alcanzados en la presente investigación en cuanto a la procedencia o área geográfica de las usuarias, siendo estadísticamente significativa, específicamente las gestantes que proceden de las zonas rurales.

CONCLUSIONES

Es importante destacar, que la población de gestantes que acude al Centro de Salud Universitario de Motupe, en superior proporción procede de los sectores rurales y urbano marginales, en su mayoría (87,50%) se les administra ácido fólico.

En lo referente a la asociación de las variables sociodemográficas con la administración de ácido fólico, evidencia que las embarazadas que residen en el sector urbano tienen una probabilidad de 2,75 veces de recibir el micronutriente de ácido fólico, en comparación con las mujeres embarazadas del sector rural.

En los procesos de fortalecimiento relacionados a la administración de este micronutriente (ácido fólico), se debe considerar aspectos y/o procesos, encaminados a la prevención y control en el período gestacional, acciones dirigidas con mayor énfasis a las mujeres del sector rural de la zona de influencia e intervención del Centro de Salud Universitario

de Motupe.

AGRADECIMIENTOS

A la carrera Enfermería de la Facultad de la Salud Humana, Universidad Nacional de Loja, a los profesionales externos de la Universidad Nacional de Loja por su participación e involucramiento.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: JEJE, DA, MG; Metodología: JEJE, DA, MG; Análisis formal: JEJE, DA, MG; Redacción — preparación del borrador original: JEJE; Redacción — revisión y edición: JEJE, DA, MG; supervisión: JEJE y DA. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

José Eduardo González Estrella (JEJE), Denny Caridad Ayora Apolo (DA) y Maura Guzmán Cruz (MG).

FINANCIAMIENTO

El presente estudio se ejecutó con financiamiento propio.

REFERENCIAS

- Alfaro Pichilingue, A. (2018). Nivel de conocimiento sobre la Vitamina B9 y el grado de consumo en las gestantes del Centro de Salud Carmen de la Legua, Callao, 2018. *Universidad César Vallejo*, 4(1), 22-28.
- Barrón, M., Eric, B., & Quintero, M. (2020). Aplicación Informática Para Pruebas Estadísticas De Bondad De Ajuste. Volumen 1(577).
- Beddo, V. C., & Kreuter, F. (2015). A Handbook of Statistical Analyses Using SPSS. *Journal of Statistical Software*.
- Castaño, E., Piñuñuri, R., Hirsch, S., & Ronco, A. M. (2017). Folatos y Embarazo, conceptos actuales. ¿Es necesaria una suplementación con Acido Fólico? *Revista Chilena de Pediatría*, 88(2), 199-206.
- Córdova Zamora, M. (2003). Estadística: Descriptiva e Inferencial Aplicaciones. August, 1-88.
- Ethelia López-Caudana, A., Romero-Pascual, I., Guadalupe Leyva-López, A., & Ever Zamorano-Andrés, A. (2018). Consumption of Supplements, Iron and Folic Acid in the Pre-gestational Stage and During Pregnancy in Mexican Women. *Medicina Familiar*, 20(1), 21-32.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2014). Embarazo.
- Frey, B. B. (2018). SPSS. En *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation*.
- González González, A. I., & García Carballo, M. M. (2003). Folic acid and neural tube defects in primary health care | Ácido fólico y defectos del tubo neural en atención primaria. *MEDIFAM - Revista de Medicina Familiar y Comunitaria*, 13(4), 305-310.
- Hernández Ugalde, F., Martínez Leyva, G., Rodríguez Acosta, Y., Hernández Suárez, D., Pérez García, A., & Almeida Campos, S. (2019). Ácido Fólico Y Embarazo, ¿Beneficio O Riesgo? *Revista Médica Electrónica*, 41(1), 142-155.
- Holguín-Hernández, E., & Orozco-Díaz, J. G. (2013). Administración de ácido fólico y otros micronutrientes en mujeres embarazadas de Colombia. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, 34(2), 99-106.
- Manjarrés, L. M., Parra, B. E., Díaz, A., Restrepo, S. L., & Mancilla, L. P. (2012). Ingesta de hierro y folatos durante el embarazo y su relación con indicadores bioquímicos maternos. *Iatreia*, 25(3), 194-202.
- Morales Díaz, E., Solanelles Rojas, A. M., Mora González, S. R., & Miranda Gómez, O. (2013). Unwanted pregnancy in university students. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 42(2), 153-163.
- MSP. (2014). Alimentación y nutrición de la madre en período de lactancia. En *Guía de Práctica Clínica* (Vol. 25, Número 14). www.salud.gob.ec
- Navarro-Pérez, C. F., González-Jiménez, E., Schmidt-Riovalle, J., Meneses-Echávez, J. F., Martínez-Torres, J., & Ramírez-Vélez, R. (2015). Factores sociodemográficos y seguimiento prenatal asociados a la mortalidad perinatal en gestantes de Colombia. *Nutricion Hospitalaria*, 32(3), 1091-1098.
- Original, T. (2018). *Nutrición Hospitalaria*. 0-4.
- Perichart-Perera, O., Rodríguez-Cano, A. M., & Gutiérrez-Castrellón, P. (2020). Relevance of nutritional supplements during pregnancy: Role of iron, folic acid, vitamin d, calcium and multiple micronutrients. *Gaceta Medica de Mexico*, 156(Supl 3), S1-S26.
- Plasencia, M. (2005). Ácido fólico. 24. rñández, S. R., Castro Morales, L. G., & MaldonaArciniegas Paspuel, O. G., Álvarez Hedo Gudiño, C. W. (2021). Inteligencia emocional en estudiantes de la Universidad Autónoma de Los Andes. *Revista Conrado*, 17(78), 127-133.
- (2021). Estrategia nacional para la prevención y control de las deficiencias de micronutrientes en Colombia 2014 – 2021. 6.
- Rodríguez Domínguez, P. L., & Collazo Cantero, I. (2013). Embarazo y uso del ácido fólico como prevención de los defectos del tubo neural. *Revista Médica Electrónica*, 35(2), 105-113.
- Ruoti Cosp, M., Ruoti, M., Rojas de Torres, G., Ontano, M., Rodríguez, S., & Ascurra, M. (2016). Knowledge of folic acid and its relationship with neural tube defects in postpartum women. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 14(1), 57-63.
- Salazar, C. (2018). *Fundamentos Básicos De Estadística*.
- Services, H. (1947). Folic Acid. *The Lancet*, 249(6458), 795-797.
- Suárez, D., Pereira, E., Cristóbal, K., Ugalde, F., López, A., & García, J. (2020). Factores asociados a hidrocefalia congénita Factors associated to congenital hydrocephaly. *Revista Médica Electrónica*, 42(1), 1684-1824.
- Tavares, B. B., Maria, A., Finochio, N., & Lima, J. C. (2015). Knowledge of supplemental folic acid during pregnancy. 31(3), 456-464.
- Usuario, E. info manual de. (2018). *Epi infoTM Manual de usuario Instrumento para el monitoreo rápido de la calidad en la vigilancia de la resistencia a los antibióticos*.

Meta-análisis: Eficacia y seguridad de apixabán frente a warfarina en pacientes con fibrilación auricular para profilaxis de eventos cardiovasculares adversos

Meta-analysis: Efficacy and safety of apixaban versus warfarin in patients with atrial fibrillation for prophylaxis of adverse cardiovascular events

Mariela Idrovo-Vallejo^{1,*} y Paula Blandin-Lituma²

¹ Carrera de Enfermería de la Facultad de la Salud Humana, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador, mariela.idrovo@unl.edu.ec

² Carrera de Biofarmacia de la Unidad Académica de Salud y Bienestar, Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador, pblandinl@ucacue.edu.ec

* Autor para correspondencia: mariela.idrovo@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 11/03/2022

Fecha de aceptación del manuscrito: 01/09/2022

Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—Los pacientes con fibrilación auricular (FA) requieren terapia anticoagulante para prevenir eventos cardiovasculares adversos. Un fármaco muy empleado es warfarina con beneficios variables e inconsistentes y mayor riesgo de hemorragia. Ante ello surgen nuevas alternativas terapéuticas que requieren ser evaluadas como apixabán, de ahí el propósito de realizar este meta-análisis. Se utilizaron las bases de datos de PubMed y Cochrane Library. El estudio incluyó 62.141 pacientes con FA de 6 ensayos clínicos aleatorios tipo ARISTOTLE. Se aplicó el test efectos fijos para los resultados agrupados y se probó la homogeneidad de los datos analizados. Se realizó el meta-análisis para evaluar las variables propuestas (eficacia y seguridad). La valoración de eficacia permitió establecer que apixabán al parecer es más eficaz que warfarina en la prevención de accidente cerebrovascular (OR = 0,81; LC 95 % = 0,74-0,90; p-valor <0,05) y en la muerte por todas las causas (OR = 0,90; LC 95 % = 0,84-0,95; p-valor <0,05). En la profilaxis de infarto del miocardio (OR = 0,91; LC 95 % = 0,7-1; p-valor >0,05) se determinó que no hay diferencia significativa con el uso de los dos medicamentos. En la valoración de seguridad se determinó que el riesgo de sangrado mayor (OR = 0,7; LC 95 % = 0,6-0,7; p-valor <0,05) es menor con apixabán en comparación con la warfarina. En conclusión, el uso de apixabán muestra mejores resultados que warfarina para prevenir eventos cardiovasculares adversos; sin embargo, se requiere de más estudios para verificar estos hallazgos.

Palabras clave—Apixabán, Warfarina, Fibrilación auricular, Profilaxis, Evento cardiovascular.

Abstract—Patients with atrial fibrillation (AF) require anticoagulant therapy to prevent adverse cardiovascular events. A widely used drug is warfarin with variable and inconsistent benefits and an increased risk of bleeding. Given this, new therapeutic alternatives are arising and need to be evaluated, such as apixaban, and that is the purpose of conducting this meta-analysis. PubMed and Cochrane Library databases were used. The study included 62,141 patients with AF from 6 ARISTOTLE-type randomized clinical trials. The fixed effect test was applied for the grouped results, and the homogeneity of the analyzed data was tested. The meta-analysis was performed to evaluate the proposed variables (efficacy and safety). The efficacy assessment established that apixaban appears to be more effective than warfarin in preventing stroke (OR = 0.81; LC 95 % = 0.74-0.90; p-value <0.05) and in death from all causes (OR = 0.90; LC 95 % = 0.84-0.95; p-value <0.05). In the prophylaxis of myocardial infarction (OR = 0.91; LC 95 % = 0.7-1; p-value >0.05) no significant difference between both drugs was found. In the safety assessment, it was determined that the risk of major bleeding (OR = 0.7; LC 95 % = 0.6-0.7; p-value <0.05) is lower with apixaban compared to warfarin. In conclusion, the use of apixaban shows better results than warfarin in preventing adverse cardiovascular events; however, more studies are required to verify these findings.

Keywords—Apixaban, Warfarin, Atrial fibrillation, Prophylaxis, Cardiovascular event.

INTRODUCCIÓN

La fibrilación auricular (FA) es la arritmia más común que se maneja en la práctica clínica (Vizzardi et al., 2014), alrededor de 33 millones de personas en el mundo la padecen y se estima que su prevalencia aumente a más del

doble en los próximos cuarenta años (Wijesurendra & Casadei, 2019). Su incidencia es mayor con la edad, afecta aproximadamente al 3 % de la población adulta, al 6 % de las personas mayores de 65 años y al 10 % de personas mayores de 80 años (Vizzardi et al., 2014; Margulescu & Mont, 2017).

Está asociada a otras enfermedades como hipertensión arterial, falla cardíaca, enfermedad valvular, diabetes mellitus, obesidad, apnea del sueño e insuficiencia renal crónica (Margulescu & Mont, 2017; Lau et al., 2017).

Las personas con FA tienen el doble de riesgo de mortalidad prematura y de padecer de eventos cardiovasculares adversos importantes, entre las más frecuentes se encuentran insuficiencia cardíaca, accidente cerebrovascular grave, infarto de miocardio, trombosis venosa profunda y embolia periférica (Bruins Slot & Berge, 2018; Wijesurendra & Casadei, 2019). La FA se atribuye a anomalías estructurales y electrofisiológicas que alteran el tejido auricular y promueven la formación y propagación de un impulso anormal (Ramírez-Barrera et al., 2016).

La FA es una arritmia progresiva producida fundamentalmente por disfunción de canales de calcio, anomalías en el manejo, remodelación estructural y desregulación neural autónoma (Andrade et al., 2014). Estas alteraciones provocan flujo sanguíneo reducido en el apéndice auricular izquierdo y en el atrio, lo que, combinado con la activación plaquetaria y la disfunción del endotelio, aumentan la actividad de la coagulación y contribuyen al riesgo de eventos adversos (Christersson et al., 2019).

El riesgo tromboembólico es de 3 a 7 veces mayor en pacientes con valvulopatía; por tanto, el manejo terapéutico debe incluir anticoagulación (Assiri et al., 2013). Desde 1950 se ha usado la warfarina, un antagonista de la vitamina K, con resultados positivos en el tratamiento de FA y el tromboembolismo venoso; sin embargo, entre sus limitantes está su rango terapéutico estrecho y múltiples interacciones con medicamentos y alimentos, lo que conlleva a un monitoreo frecuente para evitar reacciones adversas importantes (Almutairi et al., 2017).

Estos inconvenientes generaron la búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas, surgiendo el uso de nuevos anticoagulantes orales, como los inhibidores directos del factor Xa (FXa), entre estos el apixabán. Entre las ventajas presenta menos interacciones y no requiere monitoreo, entre sus limitantes está el costo y el riesgo de hemorragia (Almutairi et al., 2017). En varios ensayos clínicos apixabán fue superior a warfarina en la prevención de accidentes cerebrovasculares; sin embargo, existe un conocimiento limitado de los efectos del apixabán sobre la coagulación y los biomarcadores plaquetarios en la FA cuando se administra el tratamiento como prevención más que como tratamiento de un evento trombótico (Christersson et al., 2019).

En el presente estudio, planteamos como objetivo realizar una revisión sistemática y meta-análisis para evaluar la eficacia y seguridad de apixabán frente a warfarina en pacientes con FA como profilaxis de eventos cardiovasculares adversos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión sistemática y meta-análisis se realizó siguiendo las recomendaciones de la guía PRISMA (Page et al., 2021).

Estrategias de búsqueda

La búsqueda de la información se realizó en el mes de mayo del año 2021, en las bases científicas PubMed y Cochrane Library, utilizando las palabras claves “apixaban”, “eliquis”, “warfarina”, “fibrilación auricular”, “ensayo clínico”, “prevención”, “profilaxis” y “evento cardiovascular adverso” combinándolos con operadores booleanos AND y OR en las distintas búsquedas.

Criterios de selección

Los criterios establecidos para la selección de artículos fueron en primer lugar el tiempo de publicación, considerándose de los últimos diez años (2011-2021). Un segundo criterio fue que se incluyeran artículos con ensayos clínicos tipo ARISTOTLE, en pacientes con fibrilación auricular y al menos un factor de riesgo para accidente cerebrovascular, que emplearan apixabán y warfarina en el tratamiento profiláctico de eventos cardiovasculares adversos, y que compararan eficacia y seguridad con ambos tratamientos.

El ensayo ARISTOTLE es un estudio aleatorizado, doble ciego, que compara apixabán (a una dosis de 5 mg dos veces al día) con warfarina (INR 2,0-3,0) en 18.201 pacientes con FA y que al menos presenten un factor de riesgo para accidente cerebrovascular (ACV). La escala de riesgo CHADS2 (riesgo de accidente cerebrovascular en los próximos 12 meses) ha sido usada para guiar la terapia antitrombótica: asigna 1 punto si el paciente tiene insuficiencia cardíaca, hipertensión arterial, edad mayor o igual a 75 años o diabetes, y 2 puntos si hay antecedentes de ictus (Bassand, 2012).

Evaluación de la calidad metodológica

Para medir la calidad metodológica de los ensayos clínicos utilizamos la escala de Jadad. Esta escala valora si los ensayos clínicos describen el método de aleatorización, la forma de enmascaramiento y la descripción de pérdidas de seguimiento y abandonos, asignando un punto a cada parámetro. La escala va de 0 (débil) a 5 puntos (bueno), de manera que a mayor puntuación mejor calidad metodológica del ensayo clínico evaluado (Da Silva et al., 2013).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se ha utilizado el programa SIMFIT. En este metaanálisis se midieron dos variables: eficacia y seguridad de apixabán frente a warfarina en pacientes con FA según prevención u ocurrencia de eventos cardiovasculares adversos. Estas variables son dicotómicas, pues solo hay dos posibilidades de medición: en el caso de eficacia si previene o no un evento cardiovascular adverso (accidente cerebrovascular, infarto de miocardio y muerte por todas las causas) y para la seguridad si hay riesgo o no de hemorragia grave, en ambos casos considerando el número de eventos ocurridos en los participantes de los estudios. Al tratarse de variables cualitativas dicotómicas, se aplicó el test de heterogeneidad y se probó la homogeneidad de los estudios (p-valor de Q es mayor a 0,05). Posteriormente se realizó el test de efectos fijos y su correspondiente meta-análisis (Figura 1). Se calcularon los Odd Ratios (OR) con un límite de confianza (LC) del 95 % para cada resultado.

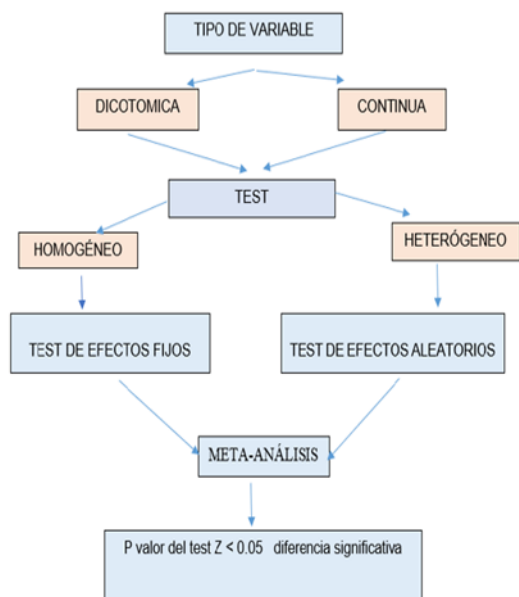


Fig. 1: Diagrama del procedimiento aplicado en el programa SIMFIT para el meta-análisis de apixabán y warfarina en eventos cardiovasculares adversos.

RESULTADOS

Selección de estudios

Se obtuvo un total de 4232 artículos en la búsqueda inicial en las bases de datos, que luego de la combinación de palabras clave y operadores booleanos se redujo a 20 y de estos se seleccionaron 6 estudios que cumplieron con los criterios de selección antes mencionados (Figura 2).

Evaluación de la calidad metodológica Los seis estudios seleccionados para este meta-análisis se consideran rigurosos pues todos cumplen con la descripción de procesos de aleatorización y enmascaramiento o doble ciego. Uno de ellos describe las pérdidas de seguimiento por lo que alcanza el puntaje más alto en la escala de valoración de Jadad (Tabla 1).

Caracterización de la población de estudio Los factores de riesgo de los participantes en los estudios seleccionados fueron: edad avanzada (80 años o más), disfuncionalidad renal ($Cr > 1,5$ mg/dl) y valvulopatías, entre los principales (Tabla 2).

Evaluación de heterogeneidad

El análisis de heterogeneidad (Tabla 3) confirma que los estudios ($n=6$) son homogéneos, pues el resultado del p-valor para el estadístico Q es de 0,73 ($p > 0,05$) y el I2 es igual a cero, lo que refleja una baja dispersión entre datos, es decir, homogeneidad en los datos analizados.

Se probó la homogeneidad de los estudios seleccionados para el meta-análisis considerando que las variables de estudio son las mismas en todos los estudios; es decir, se valoró eficacia y seguridad de apixabán frente a warfarina en pacientes con FA, cuyos participantes se caracterizan por presentar mayor riesgo basal (Edad > 80 años, PC < 60 Kg, Cr $> 1,5$ mg/dl).

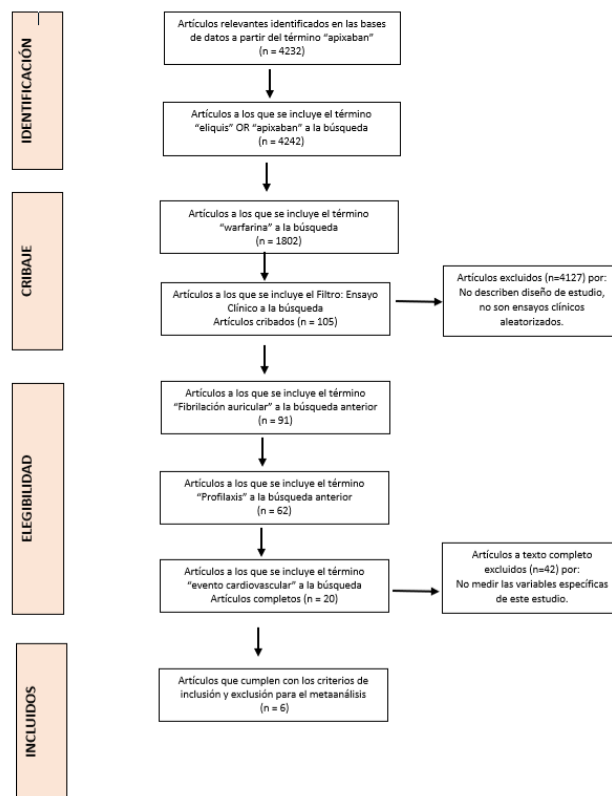


Fig. 2: Diagrama de flujo de la búsqueda avanzada y proceso de selección de estudios para el meta-análisis, según las directrices PRISMA.

Evaluación de eficacia

Los hallazgos del meta-análisis (Figura 3) muestran que el riesgo de accidente cerebrovascular / embolia sistémica con el uso de warfarina y apixabán fue diferente; en los estudios analizados ($n=6$), el valor del efecto combinado resultó a favor de warfarina (OR = 0,81; LC 95 % = 0,74-0,90; $p < 0,05$) lo que refleja que al parecer apixabán resulta ser más efectivo frente a warfarina en la profilaxis de este evento adverso.

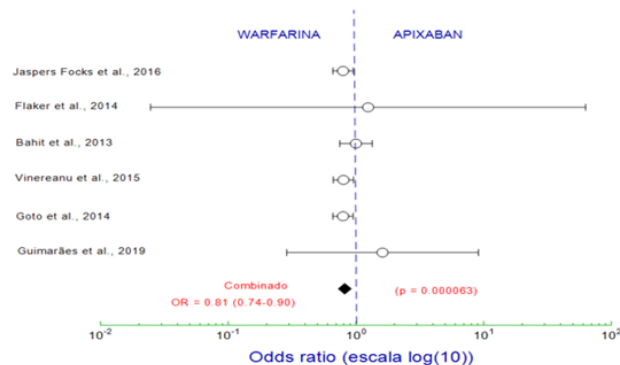


Fig. 3: Forest plot para el riesgo de accidente cerebrovascular o embolia sistémica en pacientes con fibrilación auricular, apixabán vs warfarina.

Para el infarto de miocardio, el meta-análisis (Figura 4) muestra valores (OR= 0,91; LC 95 %: = 0,7-1; $p > 0,05$) que evidencian que con el uso de apixabán y warfarina no hay diferencia significativa para la presencia o no del evento car-

Tabla 1: Puntuación de la escala de Jadad de cada estudio incluido para el meta-análisis de apixabán y warfarina en eventos cardiovasculares adversos.

Estudios	Randomización mencionada	Randomización apropiada	Ciego mencionado	Ciego apropiado	Abandonos/Retiradas mencionadas	Puntaje/Calidad de estudios (Jadad score)
Guimarães et al., 2019	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	No = 0	4
Goto et al., 2014	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	No = 0	4
Vinereanu et al., 2015	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	No = 0	4
Bahit et al., 2013	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	5
Flaker et al., 2014	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	No = 0	4
Jaspers Focks et al., 2016	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	Sí = 1	No = 0	4

Tabla 2: Caracterización de la población de los estudios seleccionados para el meta-análisis de apixabán y warfarina en eventos cardiovasculares adversos.

Estudios	Localización	No. de pacientes			Caracterización de la población
		Apixabán	Warfarina	Total	
Guimarães et al., 2019	No describe	87	69	156	Pacientes con fibrilación auricular y con antecedentes de reemplazo de válvula bioprotésica (VBP) y reparación de válvula nativa. Edad >= 80 años, PC <= 60 Kg, Cr >= 1,5 mg/dl
Goto et al., 2014	Asia oriental y no oriental	9120	9081	18201	Pacientes con fibrilación auricular no valvular. Edad >= 80 años, PC <= 60 Kg, Cr >= 1,5 mg/dl
Vinereanu et al., 2015	No describe	9120	9081	Total: 18201 Hombres: 11785 Mujers: 6416	Pacientes con fibrilación auricular o aleteo auricular y al menos un factor de riesgo CHADS2 de accidente cerebrovascular o embolia sistémica. Edad >= 80 años, PC <= 60 Kg, Cr >= 1,5 mg/dl
Bahit et al., 2013	América del norte, América Latina, Europa, Asia Pacífico.	No describe	No describe	6639	Pacientes con fibrilación auricular con enfermedades de las arterias coronarias previa. Edad >= 80 años, PC <= 60 Kg, Cr >= 1,5 mg/dl
Flaker et al., 2014	América del norte y Europa	331	412	743	Pacientes con fibrilación auricular en el momento del ensayo o con historia documentada de FA en 2 ocasiones dentro de los 12 meses anteriores a la inscripción. Edad >= 80 años, PC <60 Kg, Cr >1,5 mg/dl
Jaspers Focks et al., 2016	América del norte, América Latina, Europa y Asia	9120	9081	18201	Pacientes con fibrilación auricular o aleteo auricular y polifarmacia por sus comorbilidades. Edad >=80 años, PC <= 60 Kg, Cr >= 1,5 mg/dl.

PC=Peso corporal, Cr=Creatinina, CHADS2= riesgo de accidente cerebrovascular en los próximos 12 meses.

diovascular mencionado, es decir, podría producirse el evento con el uso de ambos medicamentos.

En lo que respecta al riesgo de muerte por todas las causas, los hallazgos del meta-análisis (Figura 5) muestran que el uso de warfarina y apixabán fue diferente (OR = 0,90; LC 95 % = 0,84-0,95; p <0,05), lo que refleja que al parecer apixabán es más eficaz que warfarina para la profilaxis de este evento adverso.

Evaluación de la seguridad

El meta-análisis (Figura 6) muestra valores (OR= 0,7; LC 95 % = 0,6-0,7; p <0,05) que evidencian que hay diferencia significativa en el uso de apixabán frente a warfarina para

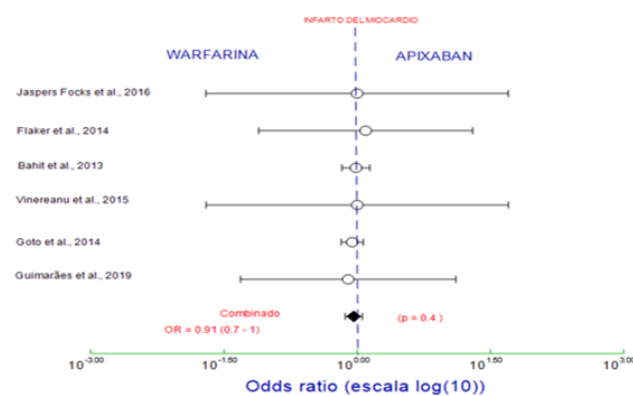


Fig. 4: Forest plot para el riesgo de infarto de miocardio en pacientes con fibrilación auricular, apixabán vs warfarina.

Tabla 3: Test de heterogeneidad de los estudios seleccionados para el meta-análisis de apixabán y warfarina en eventos cardiovasculares adversos.

Medidas	Resultados
Número de estudios	6
Medida	OR
Peso	Varianza inversa
Valor de Q	2,7678 E+00
P-valor para Q	7,3573 E -01
Tau2	0,0000 E+00
95 % Tau2 límite inferior	0,0000 E+00
95 % Tau2 límite superior	0,0000 E+00
Valor I2	0,0000 E+00
95 % I2 límite inferior	0,0000 E+00
95 % I2 límite superior	0,0000 E+00

OR=Odds ratio, Q= Test para verificar heterogeneidad, P- valor para $Q > 0.05$ = estudios homogéneos, I2 = índice de inconsistencia o proporción de variación entre los estudios, Valor de I2 = 0 % indica excelente homogeneidad, Tau2 = estima la varianza entre los tamaños de efecto de los estudios heterogéneos, Tau2 es igual a 0 en estudios homogéneos.

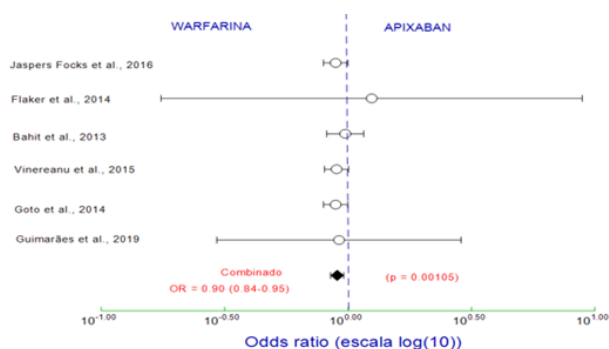


Fig. 5: Forest plot para el riesgo de muerte por todas las causas en pacientes con fibrilación auricular, apixabán vs. warfarina.

prevenir la hemorragia grave. En este sentido, podría afirmarse que warfarina es menos segura para la profilaxis de este evento adverso comparada con apixabán.

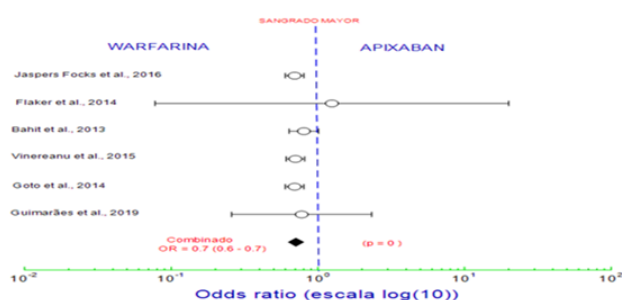


Fig. 6: Forest plot para el riesgo de sangrado mayor en pacientes con fibrilación auricular, apixabán vs. warfarina.

DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática y meta-análisis muestra hallazgos importantes en la comparación de apixabán frente a warfarina en el tratamiento profiláctico de eventos cardiovasculares adversos de pacientes con FA. Una de las fortalezas de este trabajo investigativo es que se incluyeron estudios del tipo de ensayos clínicos con alta calidad metodológica, minimizándose de esta manera el riesgo de sesgo.

Entre los resultados obtenidos, tenemos en primer lugar

que los resultados agrupados de los estudios muestran alta homogeneidad respecto a factores de riesgo que presentan los participantes del estudio. Uno de estos factores es la edad, donde la totalidad de participantes tuvo una edad de 80 años o más, confirmándose que la FA es más frecuente en adultos mayores. Así lo demuestran también los estudios de Vizzardí et al. (2014) y Margulescu & Mont (2017) en los que se destaca a la edad avanzada como un factor predisponente de esta patología. Otro factor de riesgo presente en los participantes de nuestro estudio fue el fallo renal, determinado por el incremento en los valores de creatinina sérica ($Cr > 1,5$ mg/dl), alteración asociada a una mayor incidencia y prevalencia de FA. Estos resultados son comparables con los de Lau et al. (2017) y Belmar Vega et al. (2017) en los que se establece que ambas patologías mantienen una estrecha interrelación, siendo la prevalencia de FA entre 10 a 20 veces superior en personas con enfermedad renal crónica que en la población general.

En cuanto a eficacia, los resultados de nuestro meta-análisis permitieron establecer que el uso de apixabán es superior frente a warfarina en el tratamiento de FA, pues previene dos eventos cardiovasculares adversos como el accidente cerebrovascular o embolia sistémica [OR = 0,81; LC 95%: (0,74-0,90)] y la muerte por todas las causas [OR = 0,90 (LC 95%: 0,84-0,95)], no así el infarto del miocardio [OR=0,91; LC 95%: (0,7 – 1)]; por lo tanto, se podría deducir que el riesgo de presentarse este evento es similar con ambos medicamentos. Respecto a seguridad, los resultados de apixabán muestran mejores resultados para la profilaxis del sangrado mayor [OR=0,7; LC 95%: (0,6 – 0,7)] frente a warfarina.

Estudios como el de Almutairi et al. (2017) reportó resultados similares, con apixabán disminuyó el riesgo para accidente cerebrovascular o embolia sistémica [OR=0,79 (0,66-0,95)], infarto de miocardio [OR=0,88 (0,66-1,17)] y muerte por todas las causas [OR=0,89 (0,80-0,99)] en comparación con warfarina en pacientes con FA. En seguridad, los resultados del uso de apixabán indican que existe menor riesgo de hemorragia [OR=0,69 (0,60-0,80)] frente a warfarina. Lo que difiere con nuestro estudio es que la población estudiada fue heterogénea, el rango de edad más amplio y se consideró tiempo de tratamiento y dosis administradas de los fármacos evaluados. Lo relevante de los hallazgos de este estudio es que ha permitido corroborar que el apixabán y otros fármacos pertenecientes a los denominados nuevos anticoagulantes orales directos (NOAC) son comparables o superiores a los anticoagulantes antagonistas de la vitamina K (AVK), grupo al que pertenece la warfarina; sin embargo, se recomienda individualizar la terapia con NOAC/AVK según los perfiles de beneficio/seguridad y las características del paciente.

En el estudio de López-López et al. (2017) también se demostró que el empleo de apixabán en FA redujo el riesgo de accidente cerebrovascular o embolia sistémica [OR= 0,79 (0,66-0,94)], infarto de miocardio [OR=0,87 (0,66-1,15)] y muerte por todas las causas [OR= 0,88 (0,79-0,98)] al compararlo con warfarina, y que es más seguro frente al riesgo de sangrado mayor [OR=0,71 (0,61-0,81)]. Este estudio introdujo una variable adicional, que fue el costo-efectividad de todos los fármacos. La importancia de incluir esta variable radica en evidenciar una limitación en el uso de apixabán y en general de todos los NOAC, pues a pesar de demostrar los beneficios en cuanto a eficacia y el perfil de seguridad de

estos fármacos, el costo es sustancialmente más alto que el de la warfarina. Para el caso específico de apixabán se compensa su costo más alto ya que se asocia con el mayor beneficio neto y años de vida ajustados por calidad (AVAC) en el análisis de costo-efectividad; por tanto, debería ser recomendado su uso, siendo los organismos estatales los encargados de garantizar su acceso a los pacientes que no puedan financiarse el tratamiento.

Según Liu et al. (2020), en una investigación en la que se incluyeron 17 estudios sobre el papel de los anticoagulantes orales directos (NOAC) en pacientes asiáticos con fibrilación auricular, se determinó mayor eficacia de apixabán frente a warfarina en la reducción del riesgo de accidente cerebrovascular o embolia sistémica [OR = 0,56 (0,49-0,65)] y muerte por todas las causas [OR = 0,35 (0,16-0,76)] como mayor seguridad para prevenir el sangrado mayor [OR = 0,49 (0,36-0,66)]. No se encontraron diferencias notables para prevenir infarto del miocardio con los dos medicamentos, resultados similares a los que se encontraron en nuestro estudio. Lo destacable de esta investigación fue demostrar que apixabán fue superior frente a otras NOAC para reducir la embolia sistémica, aunque su efectividad fue comparable con warfarina; sin embargo, la ventaja radica en su seguridad particularmente en pacientes asiáticos, partiendo del hecho de que los asiáticos debido a variaciones de los polimorfismos genéticos del metabolismo de la warfarina los hace más sensibles a este medicamento y más propensos al sangrado excesivo. En este sentido, el apixabán debería ser considerado fármaco de primera elección para FA en este grupo poblacional por su perfil de seguridad.

Otras investigaciones como la de Shen et al. (2020), en la que se trabajó con 32 estudios, concluyeron que los NOAC reducen significativamente el riesgo de accidente cerebrovascular o embolia sistémica [HR=0,87 (0,81-0,94)], muerte por todas las causas [HR=1,01 (0,92-1,11)], sangrado mayor [HR=0,87 (0,77-0,98)] e infarto del miocardio [HR=0,89 (0,79-0,99)] en pacientes ancianos con FA al ser comparados con AVK, hallazgos importantes a considerar pues la edad avanzada constituye un factor de riesgo para padecer eventos cardiovasculares adversos; por tanto, los NOAC, entre estos apixabán, constituyen una opción terapéutica eficaz para profilaxis de estos eventos en adultos mayores. Así mismo, Zhang et al. (2019) evidenció que, en el análisis de 16 estudios, de los NOAC analizados, apixabán fue superior al dabigatrán [HR= 0,39 (0,27-0,56)] en la reducción del riesgo de accidente cerebrovascular en pacientes con un alto riesgo de tromboembolismo, entre estos los de edad avanzada, demostrando el buen equilibrio de apixabán en la valoración de seguridad y eficacia, corroborándose una vez más los beneficios de este medicamento frente a la warfarina y a otros NOAC.

En la investigación de Lobraico-Fernandez et al. (2019), se estableció que se sigue prefiriendo el uso de apixabán o dabigatrán sobre rivaroxabán o warfarina debido al menor riesgo de sangrado en pacientes ancianos sobre todo en pacientes con factores contribuyentes como la edad avanzada o enfermedad renal, evidenciándose que apixabán fue el único de los NOAC que produjo una reducción importante del riesgo de sangrado. Así mismo, se confirmó en la investigación de Escobar et al. (2019) en la que se establece que con el apixabán (HR= 0,66; IC95 %, 0,55-0,80) y el dabigatrán (HR=

0,83; IC95 %, 0,70-0,97), el riesgo de hemorragia mayor se redujo significativamente frente a la warfarina por lo que se recomienda su uso en la práctica clínica.

CONCLUSIONES

En conclusión, el uso de apixabán frente a warfarina en el tratamiento profiláctico de eventos cardiovasculares adversos en pacientes con FA muestra mejores resultados para reducir el accidente cerebrovascular, la muerte por todas las causas y el sangrado mayor, no así para el infarto del miocardio; sin embargo, se requiere de más estudios para verificar estos hallazgos. En cuanto a las limitaciones de esta investigación se debe mencionar que las variables de eficacia y seguridad de los medicamentos analizados se midieron únicamente por la ocurrencia de ciertos eventos adversos cardiovasculares sin considerarlos a todos; por lo tanto, se requiere un análisis más exhaustivo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: MIV y PBL; Metodología: MIV; Análisis formal: MIV.; Investigación: MIV y PBL; Recursos: MIV y PBL; Curación de datos: MIV y PBL; Redacción — preparación del borrador original: MIV; Redacción — revisión y edición: MIV y PBL; Visualización: MIV; Supervisión: MIV y PBL. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Mariela Idrovo-Vallejo: MIV, Paula Blandin - Lituma: PBL.

REFERENCIAS

- Almutairi, A. R., Zhou, L., Gellad, W. F., Lee, J. K., Slack, M. K., & Martin, J. R. (2017). Effectiveness and Safety of Non – Vitamin K Antagonist Oral Anticoagulants for Atrial Fibrillation and Venous Thromboembolism: A Systematic Review and Meta-Analyses. *Clinical Therapeutics*, 1–59. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.05.358>
- Andrade, J., Khairy, P., Dobrev, D., & Nattel, S. (2014). The clinical profile and pathophysiology of atrial fibrillation: relationships among clinical features, epidemiology, and mechanisms. *Circulation Research*, 114(9), 1453–1468. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.114.303211>
- Assiri, A., Al-majzoub, O., Abir, O., Donovan, J. L., & Silva, M. (2013). Mixed Treatment Comparison Meta-Analysis of Aspirin, Warfarin, and New Anticoagulants for Stroke Prevention in Patients With Nonvalvular Atrial Fibrillation. *Clinical Therapeutics*, 35(7), 967-984.e2. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2013.05.011>
- Bahit, M. C., Lopes, R. D., Wojdyla, D. M., Hohnloser, S. H., Alexander, J. H., Lewis, B. S., Aylward, P. E., Verheugt, F. W. A., Keltai, M., Diaz, R., Hanna, M., Granger, C. B., & Wallentin, L. (2013). Apixaban in patients with atrial fibrillation and prior coronary artery disease: Insights from the ARISTOTLE trial. *International Journal of Cardiology*, 170(2), 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.10.062>

- Bassand, J.-P. (2012). Revisión de los ensayos clínicos de anticoagulantes orales y antiagregantes en fibrilación auricular. *Revista Uruguaya de Cardiología*, 27(2), 175–190.
- Belmar Vega, L., de Francisco, A., Bada da Silva, J., Galván Espinoza, L., & Fernández Fresnedo, G. (2017). New oral anticoagulants in patients with chronic kidney disease. *Nuevos anticoagulantes orales en pacientes con enfermedad renal crónica*. *Nefrología : publicación oficial de la Sociedad Española Nefrología*, 37(3), 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2016.08.006>.
- Bruins Slot, K. M., & Berge, E. (2018). Factor Xa inhibitors versus vitamin K antagonists for preventing cerebral or systemic embolism in patients with atrial fibrillation (Review). *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3(3 CD008980).
- Christersson, C., Wallentin, L., Andersson, U., Alexander, J. H., Alings, M., De Caterina, R., Gersh, B. J., Granger, C. B., Halvorsen, S., Hanna, M., Huber, K., Hylek, E. M., Lopes, R. D., Oh, B. H., & Siegbahn, A. (2019). Effect of apixaban compared with warfarin on coagulation markers in atrial fibrillation. *Heart*, 105(3), 235–242. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-313351>
- Da Silva, F. C., Arancibia, B. A. V., da Rosa Iop, R., Gutierrez Filho, P. J. B., & da Silva, R. (2013). Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 24(3), 295–312.
- Escobar, C., Martí-Almor, J., Pérez Cabeza, A., & Martínez-Zapata, M. J. (2019). Direct Oral Anticoagulants Versus Vitamin K Antagonists in Real-life Patients With Atrial Fibrillation. A Systematic Review and Meta-analysis. *Revista española de cardiología (English ed.)*, 72(4), 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2018.03.009>
- Flaker, G., Lopes, R. D., Al-Khatib, S. M., Hermosillo, A. G., Hohnloser, S. H., Tinga, B., Zhu, J., Mohan, P., García, D., Bartunek, J., Vinereanu, D., Husted, S., Harjola, V. P., Rosenqvist, M., Alexander, J. H., & Granger, C. B. (2014). Efficacy and safety of apixaban in patients after cardioversion for atrial fibrillation: Insights from the ARISTOTLE trial (Apixaban for Reduction in Stroke and Other Thromboembolic Events in Atrial Fibrillation). *Journal of the American College of Cardiology*, 63(11), 1082–1087. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.09.062>
- Goto, S., Zhu, J., Liu, L., Oh, B. H., Wojdyla, D. M., Aylward, P., Bahit, M. C., Gersh, B. J., Hanna, M., Horowitz, J., Lopes, R. D., Wallentin, L., Xavier, D., & Alexander, J. H. (2014). Efficacy and safety of apixaban compared with warfarin for stroke prevention in patients with atrial fibrillation from East Asia: A subanalysis of the apixaban for reduction in stroke and other thromboembolic events in atrial fibrillation (ARISTOTLE) trial. *American Heart Journal*, 168(3), 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.06.005>
- Guimarães, P. O., Pokorney, S. D., Lopes, R. D., Wojdyla, D. M., Gersh, B. J., Giczevska, A., Carnicelli, A., Lewis, B. S., Hanna, M., Wallentin, L., Vinereanu, D., Alexander, J. H., & Granger, C. B. (2019). Efficacy and safety of apixaban vs warfarin in patients with atrial fibrillation and prior bioprosthetic valve replacement or valve repair: Insights from the ARISTOTLE trial. *Clinical Cardiology*, 42(5), 568–571. <https://doi.org/10.1002/clc.23178>
- Jaspers Focks, J., Brouwer, M. A., Wojdyla, D. M., Thomas, L., Lopes, R. D., Washam, J. B., Lanus, F., Xavier, D., Husted, S., Wallentin, L., Alexander, J. H., Granger, C. B., & Verheugt, F. W. A. (2016). Polypharmacy and effects of apixaban versus warfarin in patients with atrial fibrillation: post hoc analysis of the ARISTOTLE trial. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 353, i2868. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2868>
- Lau, D. H., Nattel, S., Kalman, J. M., & Sanders, P. (2017). Modifiable Risk Factors and Atrial Fibrillation. *Circulation*, 136(6), 583–596. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023163>
- Liu, X., Huang, M., Ye, C., Zeng, J., Zeng, C., & Ma, J. (2020). The role of non-vitamin K antagonist oral anticoagulants in Asian patients with atrial fibrillation: A PRISMA-compliant article. *Medicine*, 99(27), e21025. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000021025>
- Lobraico-Fernandez, J., Baksh, S., & Nemeč, E. (2019). Elderly Bleeding Risk of Direct Oral Anticoagulants in Nonvalvular Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Drugs in R and D*, 19(3), 235–245. <https://doi.org/10.1007/s40268-019-0275-y>
- López-López, J. A., Sterne, J. A. C., Thom, H. H. Z., Higgins, J. P. T., Hingorani, A. D., Okoli, G. N., Davies, P. A., Bodalia, P. N., Bryden, P. A., Welton, N. J., Hollingworth, W., Caldwell, D. M., Savović, J., Dias, S., Salisbury, C., Eaton, D., Stephens-boal, A., & Sofat, R. (2017). Oral anticoagulants for prevention of stroke in atrial fibrillation: systematic review, network meta-analysis, and cost effectiveness analysis. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 359(j5058). <https://doi.org/10.1136/bmj.j5058>
- Margulescu, A. D., & Mont, L. (2017). Persistent atrial fibrillation vs paroxysmal atrial fibrillation: differences in management. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, 15(8), 601–618. <https://doi.org/10.1080/14779072.2017.1355237>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas*. *Revista española de cardiología (English ed.)*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2021.07.010>
- Ramírez-Barrera, J. D., Agudelo-Urbe, J. F., Correa-Velásquez, R., & González-Rivera, E. (2016). Fisiopatología de la fibrilación auricular. *Revista Colombiana de Cardiología*, 23(S5), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2016.10.004>
- Shen, N.-N., Wu, Y., Wang, N., Kong, L.-C., Zhang, C., Wang, J.-L., Gu, Z.-C., & Chen, J. (2020). Direct Oral Anticoagulants vs. Vitamin-K Antagonists in the El-

derly With Atrial Fibrillation: A Systematic Review Comparing Benefits and Harms Between Observational Studies and Randomized Controlled Trials. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 7(September), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.00132>

- Vinereanu, D., Stevens, S. R., Alexander, J. H., Al-Khatib, S. M., Avezum, A., Bahit, M. C., Granger, C. B., Lopes, R. D., Halvorsen, S., Hanna, M., Husted, S., Hylek, E. M., Mrgulescu, A. D., Wallentin, L., & Atar, D. (2015). Clinical outcomes in patients with atrial fibrillation according to sex during anticoagulation with apixaban or warfarin: A secondary analysis of a randomized controlled trial. *European Heart Journal*, 36(46), 3268–3275. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv447>
- Vizzardi, E., Curnis, A., Latini, M. G., Salghetti, F., Rocco, E., Lupi, L., Rovetta, R., Quinzani, F., Bonadei, I., Bon-tempi, L., D'Aloia, A., & Dei Cas, L. (2014). Risk factors for atrial fibrillation recurrence: A literature review. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 15(3), 235–253. <https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e328358554b>
- Wijesurendra, R. S., & Casadei, B. (2019). Mechanisms of atrial fibrillation. *Heart*, 1–8. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-314267>
- Zhang, J., Tang, J., Cui, X., Wang, B., Bu, M., Bai, Y., Wang, K., Guo, J., Shen, D., & Zhang, J. (2019). Indirect comparison of novel Oral anticoagulants among Asians with non-Valvular atrial fibrillation in the real world setting: A network meta-analysis. *BMC Cardiovascular Disorders*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12872-019-1165-5>

Epiploitis aguda supurativa, tratamiento quirúrgico: reporte de un caso

Acute suppurative Epiploitis, surgical treatment: case report

Wilmer Oscar Sarango Peláez^{1*,2}, José Manuel Cumbicos Ortega³, Danny Marcelo Vargas Ulloa¹,
Mayra Alejandra Romero Feijó⁴, Nancy Carolina Muñoz Cabrera¹ y Ezequiel Francisco Jiménez
Jiménez⁵

¹ Hospital General Julius Doepfner, Zamora Chinchipe, Ecuador

² Carrera de Medicina, Facultad de la Salud Humana, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

³ Centro de Salud Lauro Guerrero, Paltas, Loja, Ecuador

⁴ SOLCA, Zamora Chinchipe, Ecuador

⁵ Gobierno Autónomo Descentralizado de Espíndola, Espíndola, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: sarangoscar2@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 07/04/2022

Fecha de aceptación del manuscrito: 15/12/2022

Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—La Epiploitis aguda se trata de una nosología clínica sumamente rara, que aparentemente es provocada por una torsión o trombosis del pedículo vascular de un apéndice epiploico; dando como resultado, un infarto isquémico de la grasa acompañado de irritación peritoneal, originando un cuadro de dolor abdominal agudo, similar al de apendicitis aguda o diverticulitis y conducir de este modo a una intervención quirúrgica innecesaria. A continuación, se presenta un caso de epiploitis aguda supurativa de un paciente joven de sexo masculino, presentando síntomas clínicos de abdomen agudo, que después de haber corroborado con los resultados de los exámenes complementarios se cataloga como un abdomen agudo inflamatorio, con peritonitis localizada con datos de laboratorio alterados, el cual se tuvo que intervenir quirúrgicamente previo a una laparoscopia diagnóstica, encontrándose una masa inflamatoria necrosada con fibrina en la cara anterior de epiplón derecho, adherido a borde antimesentérico de colon derecho a 10 cm de la válvula ileocecal, donde se decide realizar bajo criterio de cirugía un clipaje de la base del apéndice epiploico y resección de omento adherido. Se decide realizar un histopatológico del tejido extraído obteniéndose resultado de una epiploitis aguda supurativa. Se concluye, ante un abdomen agudo localizado, sobre todo en paciente joven afebril que presenta alteraciones analíticas; leucocitosis con desviación a la izquierda, confirmando diagnóstico con ecografía y/o tomografía, y de esta manera evitamos iniciar terapia antibiótica o intervenciones quirúrgicas innecesarias. El tratamiento es conservador con analgésicos orales, reservando la cirugía para los casos complicados o con mala evolución clínica.

Palabras clave—Apéndice epiploico, Dolor abdominal agudo.

Abstract—Acute epiploitis is an extremely rare clinical nosology, which is apparently caused by torsion or thrombosis of the vascular pedicle of an epiploic appendix; resulting in an ischemic infarction of the fat accompanied by peritoneal irritation, causing a picture of acute abdominal pain, similar to that of acute appendicitis or diverticulitis and thus leading to unnecessary surgical intervention. Next, a case of acute suppurative epiploitis is presented in a young male patient, presenting clinical symptoms of an acute abdomen, which, after corroborating the results of the complementary tests, is classified as an acute inflammatory abdomen, with localized peritonitis with altered laboratory data, which required surgical intervention prior to a diagnostic laparoscopy, finding a necrotic inflammatory mass with fibrin on the anterior side of the right omentum, adhered to the antimesenteric edge of the right colon 10 cm from the ileocecal valve, where He decides to perform, under surgical criteria, a clipping of the base of the epiploic appendix and resection of the attached omentum. It is decided to carry out a histopathology of the extracted tissue, obtaining the result of an acute suppurative epiploitis. It is concluded, before a localized acute abdomen, especially in afebrile young patient who presents analytical alterations; leukocytosis with a shift to the left, confirming the diagnosis with ultrasound and/or tomography, and in this way we avoid starting antibiotic therapy or unnecessary surgical interventions. Treatment is conservative with oral analgesics, reserving surgery for complicated cases or with poor clinical evolution.

Keywords—Epiploic appendix, Acute abdomen.

INTRODUCCIÓN

La epiploitis aguda o apendicitis epiploica, según refiere Núñez et al., (2006) es una patología benigna y auto-

limitada, secundaria a la torsión o trombosis espontánea de las venas de drenaje de los apéndices epiploicos que puede simular un abdomen agudo quirúrgico. Los apéndices epiploicos, mencionados la primera vez por Vesalius en 1543,

son pequeños sacos constituidos de estructuras pedunculadas del tejido adiposo, que protruyen del borde antimesentérico del colon y están dispuestos en 2 filas longitudinales que se extienden desde el ciego hasta la unión recto-sigmoidea (Madrazo *et al.*, 2008). Existen de 100 a 150, y su longitud varía entre 0,5 y 5 cm., conteniendo únicamente tejido adiposo y estructuras vasculares. La vascularización es terminal y la extrema movilidad de estas pequeñas estructuras pedunculadas hacen posible su torsión, que representa su patología más frecuente (Herrera *et al.*, 2018). Como consecuencia, se produce un infarto isquémico de la grasa con irritación peritoneal, ocasionando un abdomen agudo, que en ocasiones simula un cuadro quirúrgico (Roldan, *et al.*, 2016)

La epiploitis fue descrita por primera vez en 1956 por Lynn y cols.; se presenta de forma más frecuente de la cuarta a la quinta década de la vida, con una tasa de incidencia entre hombres y mujeres de 1:3 (Roldan, *et al.*, 2016). Su localización más habitual es en los cuadrantes inferiores, es decir las adyacentes al colon sigmoideas y ciego. Cabe señalar que puede simular un cuadro quirúrgico que rara vez se sospecha clínicamente y que suele ser un hallazgo radiológico o quirúrgico (Martínez, *et al.* 2010). Desde este punto de vista, existe la necesidad de conocer esta entidad infrecuente en la que el papel del radiólogo es esencial para evitar errores diagnósticos, ingresos hospitalarios y cirugías innecesarias (Valdés, *et al.*, 2022). Aunque es una afección benigna y, a menudo, autolimitada, la capacidad de EA para imitar otros procesos patológicos hace que sea una consideración importante en pacientes que presentan síntomas abdominales agudos (Patel, *et al.*, 2007).

La localización es variable; sin embargo, predomina en fosa ilíaca izquierda, donde los apéndices epiploicos son de mayor número y tamaño simulando una diverticulitis, o la fosa ilíaca derecha. imitando una apendicitis aguda o disponerse en cualquier otra localización (Madrazo, *et al.*, 2008). Se debe tener en cuenta que las pruebas analíticas no suelen mostrar alteraciones destacables o generalmente discreta leucocitosis y/o desviación izquierda y/o incremento de la PCR ni aumento significativo de la VSG. (Núñez *et al.*, 2006). En general no hay defensa abdominal; aunque sí existe Blumberg localizado, palpándose en ocasiones una masa subparietal. Respecto a las técnicas de imagen, la radiografía simple carece de utilidad (Núñez, *et al.*, 2006). Recientemente se han descrito hallazgos ultrasonográficos de esta patología, refiriéndola como una masa oval, hiperecoica no compresible y en ocasiones con un halo periférico hipoeoico. esta masa se adhiere a la pared abdominal anterior, y permanece fija durante la inspiración profunda (Solórzano, *et al.*, 2016). El estudio histopatológico mostrará signos de inflamación e infarto hemorrágico, con necrosis grasa y exudado fibrino leucocitario (Martínez, *et al.*, 2010).

CASO CLÍNICO

Paciente masculino, de 29 años de edad, soltero; sin antecedentes patológicos de importancia, que acude a la emergencia por dolor abdominal agudo, localizado en flanco derecho, de inicio insidioso y progresivo de tres días de evolución que cede parcialmente con analgésicos y exacerba hace una hora. Al examen físico, signos vitales estables, IMC: 28. Abdomen suave depresible, doloroso a la palpación superfi-

cial y profundo en flanco derecho, con signos de irritación peritoneal. Analítica: la biometría hemática revela leucocitosis leve con desviación a la izquierda, PCR aumentada. La ecografía revela colecistitis aguda alitásica. Se cataloga como abdomen agudo inflamatorio, se decide realizar laparoscopia diagnóstica y terapéutica encontrándose una vesícula distendida por el ayuno prolongado y una masa inflamatoria necrosada con fibrina de 10 x12 cm adherido a borde antimesentérico de colon derecho a 10 cm de la válvula íleocecal, se realiza clipaje de base de apéndice epiploico y resección de omento adherido, con evolución favorable. El estudio histopatológico reveló una epiploitis aguda supurativa.

DISCUSIÓN

La apendicitis epiploica primaria. es una enfermedad causada por la inflamación del apéndice epiploico, tejido adiposo subseroso a lo largo del colon (Legome, *et al.*, 2002) lo cual sucedió en nuestro caso; puede ocurrir a cualquier edad, incluida la infancia, con un pico de incidencia en el quinto década, con una ligera preponderancia masculina (Jain, *et al.*, 2008), debido a que nuestro paciente tuvo 29 años no se sospechó en este diagnóstico.

La epiploitis es una causa de dolor abdominal agudo, diagnosticada en raras ocasiones y caracterizada por dolor intenso, permanente, sin o con signos de irritación peritoneal, que muchas veces contrasta con el buen estado general del paciente (Herrera, *et al.* 2018). Es de suma importancia realizar el diagnóstico diferencial con patologías más frecuentes como: la apendicitis, colecistitis, diverticulitis o el infarto omental (Martínez, *et al.* 2010).

En el presente caso, la ecografía reportó colecistitis aguda; por su parte, la tomografía es un estudio de imagen limitado en el hospital donde se presentó el caso, por lo cual se decidió realizar una laparoscopia diagnóstica, observándose una masa inflamatoria (plastrón) con fibrina en el borde antimesentérico de colon derecho a 10 cm de la válvula íleocecal. (Figura 1), Bajo este contexto, se resolvió el caso por vía laparoscópica, con exéresis de plastrón incluyendo el apéndice epiploica comprometida, obteniéndose la muestra como se ve parte de epiplon necrosado (Figura 2). El estudio histopatológico revela epiploitis aguda supurativa. El reconocimiento de los signos de la apendicitis epiploica primaria en la tomografía debería permitir un diagnóstico seguro y evitar una cirugía innecesaria (Sin *et al.*, 2006), sin embargo en centros donde se carece de tomógrafo no se puede realizar

En comparación con un estudio la última actualización de epiploitis en UptoDate, por (Gelrud, *et al.*, 2022), describen en su trabajo los hallazgos principales para diagnosticar mediante TAC: 1) lesión ovoide con densidad de tejido graso en borde antimesentérico del colon; 2) "Signo del anillo hiperdenso" que representa al peritoneo visceral inflamado rodeando al apéndice epiploico; y 3) "Signo del punto central" que se manifiesta como una imagen puntiforme o línea hiperdenso en el centro de la lesión, que representa los casos centrales engrosados o trombosados. En cuanto al estudio realizado por (Tronco, *et al.*, 2012), indica las características de la apendicitis epiploica por tomografía computarizada (TC) son bastante típicas y están bien descritas. Por lo tanto, los médicos deben considerar el papel diagnóstico de la tomografía en esta desafiante enfermedad infradiagnosticada; en el reporte

de este caso el método para llegar al diagnóstico no fue posible por tomografía (por carecer esta casa de salud), y además por los signos de irritación peritoneal, el diagnóstico se realizó por medio de una laparoscopia diagnóstica y sirvió para la resolución definitiva.

En el estudio realizado por Núñez et al., (2006), indica que las pruebas analíticas no suelen mostrar alteraciones destacables o generalmente discreta leucocitosis y/o desviación izquierda, el cual coincide con los resultados de este paciente al valorar la biometría solicitada en primera instancia.



Fig. 1: Visión laparoscópica del plastrón provocado por la epiploitis aguda supurativa



Fig. 2: Visión macroscópica del espécimen extraído (plastrón por epiploitis aguda)

El tratamiento resulta controvertido, aunque la actitud habitualmente recomendada consiste en un manejo conservador con antiinflamatorios no esteroideos y analgésicos orales durante 7 - 10 días, reservando la cirugía para los casos complicados o con mala evolución clínica (Roldan et al., 2016). Algunos autores hasta la fecha confirman la eficacia del tratamiento no quirúrgico con tasas de éxito del 97–100 %, que

posibilita el alta precoz (1 – 4 días) e incluso un manejo exclusivamente ambulatorio.

Reyna y Rondón, (2017), en su caso, manifiesta que la laparoscopia mostró dos estructuras redondeadas, edematosas e hiperemias en la pared anterior del ciego que fueron extirpadas y el laboratorio confirmó el diagnóstico. Es por eso, que se considera la opción de realizar tratamiento quirúrgico, en caso de un cuadro abdominal agudo con signos peritoneales con el objetivo de resolver el proceso patológico de forma definitiva.

CONCLUSIONES

La epiploitis aguda es una enfermedad muy rara, pero autolimitada, y los síntomas y signos son inespecíficos, lo que a menudo resulta en un diagnóstico clínico erróneo (Yang et al. 2019). Esto también sucedió en nuestro caso haciendo difícil el diagnóstico, de ahí se recomienda apoyarse en estudios de imagen. Clínicamente se caracteriza por la presencia de dolor abdominal intenso, permanente y muy localizado (Solórzano et al., 2016). La localización es variable; sin embargo, predomina en fosa ilíaca izquierda, donde los apéndices epiploicos son de mayor número y tamaño simulando una diverticulitis, o la fosa ilíaca derecha, imitando una apendicitis aguda o disponerse en cualquier otra localización (Madrazo et al., 2008).

Entonces, ante un abdomen agudo, sobre todo en paciente joven afebril que presenta alteraciones analíticas; leucocitosis con desviación a la izquierda, está indicado realizar una ecografía y/o tomografía, para confirmar diagnóstico. Los hallazgos clínico-imagenológicos de apendicitis epiploica, una entidad poco conocida que puede simular un abdomen agudo quirúrgico (Dornes et al., (2022).

Una vez diagnosticado, el tratamiento es puramente médico con antiinflamatorios orales (Martínez et al., 2010), reservando el tratamiento quirúrgico en el caso de clínica florida de peritonitis localizada, analítica positiva, a pesar del examen de imagen (ecografía) no hayan sido concluyente como en el presente caso; así como manifiesta Pereira et al.,(2004), que el diagnóstico no invasivo correcto es importante porque los enfoques de tratamiento para estas afecciones van desde la monitorización hasta la cirugía.



REFERENCIAS

- Dornes R. et al., (2022). Apendagitis epiploica en paciente con la COVID-19. *Revista Cubana de Medicina*, 61(2)1-8.
- Gelrud, A. et al., (2022). Epiploic appendagitis. *UptoDate*. Obtenido de <https://www.uptodate.com/contents/epiploic-appendagitis>
- Herrera, R. et al., (2018). Apendagitis aguda: Caso clínico radiológico, presentación de un caso. *Facultad de Medicina de la UNAM*, 61(4), 3.
- Jain T. et al., (2008). Case of the season: primary epiploic appendagitis: radiological diagnosis can avoid surgery. *Semin Roentgenol.* , 43:4-6.
- Legome, E. et al., (2020). Epiploic appendagitis: the emergency department presentation. *J Emerg Med*, 22:9–13.

- Madrazo, Z. et al., (2008) Apendicitis Epiploica. *Cir. Esp.* 86(6) 383-385.
- Martínez, M. et al., (2010). Apendicitis epiploica primaria: una causa de abdomen agudo no quirúrgico. Elseiver, 3. doi:10.1016/j.ciresp.2010.03.043
- Núñez, T. et al., (2006). Epiploitis aguda: una causa inusual de abdomen agudo médico. *An. Med. Interna (Madrid)*, 23(10), 507-508.
- Patel, V. et al., (2007). Caecal epiploic appendagitis. a diagnostic andtherapeutic dilemma. *Am Surg.* , 73(8) 28–30.
- Pereira, J. et al., (2004). Disproportionate fat stranding: a helpful CT sign in patients with acute abdominal pain. *RadioGraphics.* , 24:703-15.
- Reyna, E. y Rondón, M. (2017). Apendagitis epiploica primaria simulando apendicitis aguda. *Avances en Biomedicina*, 6(3) 249-252.
- Roldan, J. et al., (2016). Abdomen agudo por apendagitis epiploica: Indicaciones para el tratamiento quirúrgico. *RAPD ONLINE*, 39(3), 3.
- Sin K. et al., (2006). CT Features of primary epiploic appendagitis. *Eur J Radiol.* , 59(2):284-8.
- Solórzano, S. et al., (2016). Apendicitis epiploica. Causa poco común de abdomen agudo en niños. Presentación de un caso y revisión de la literatura. *Acta pediatri. México.* 37(2).
- Tronco, G. et al., (2012). Epiploic Appendagitis a challenging imaging diagnosis. *European Journal of General Medicine- Case Report*, 9(4), 3.
- Valdés, R., (2022). Dolor abdominal en fosa ilíaca derecha en paciente de 79 años. *Sanid. Mil.* 77(4).
- Yang, L. et al., (2019). Primary epiploic appendagitis as an unusual cause of acute abdominal pain in a middle-aged male. *Medicine Baltimore.* 98(33)

Chatbot basado en una versión ligera del modelo BERT para resolver inquietudes relacionadas con matrículas y homologaciones en la Universidad Nacional de Loja

Chatbot based on a light version of the BERT model to resolve concerns related to enrollment and approvals at the Universidad Nacional de Loja

Leonardo Paredes-Rivas ^{1,*} y Roberth Figueroa-Díaz ¹

¹ Carrera de Ingeniería en Sistemas/Computación, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: leonardo.v.paredes@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 07/11/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 13/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—En este artículo se presenta el desarrollo de un chatbot utilizando como red neuronal una versión ligera del modelo BERT denominado DistilBERT, que ayude a estudiantes o profesionales a solventar inquietudes con respecto a matrículas y homologaciones para los estudios de cuarto nivel o posgrados en la Universidad Nacional de Loja (UNL). En este contexto, el proyecto se dividió en dos etapas: en la primera, se hizo una búsqueda bibliográfica en artículos científicos sobre las tecnologías y herramientas compatibles para realizar el ajuste del modelo BERT mediante un entrenamiento en la tarea de preguntas y respuestas; en la segunda etapa, se llevó a cabo el desarrollo del chatbot siguiendo la metodología de Programación Extrema (XP) dividida en cuatro fases: planeación, diseño, codificación y pruebas. En la fase de planeación, se llevó a cabo el entrenamiento del modelo, requisito necesario para la implementación del chatbot. En esta fase se especificaron los parámetros para el entrenamiento modelo y la descripción de forma general del funcionamiento del agente conversacional mediante historias de usuario. En la segunda fase se diseñó la arquitectura, en la que se muestran todos los elementos que formaron parte del chatbot. En la tercera fase se llevó a cabo la programación utilizando los lenguajes de programación Python, JavaScript, Css, Html y el microframework Flask. Finalmente, en la última fase se ejecutaron pruebas de rendimiento, carga y estrés para ver el comportamiento del chatbot al ser sometido a una carga considerable de peticiones.

Palabras clave—Agente conversacional, Inteligencia artificial, Chatbot, BERT, NLP, Metodología XP.

Abstract—This article presents the development of a chatbot using a light version of the BERT model called DistilBERT as a neural network, which helps students or professionals to solve concerns regarding enrollment and homologation for fourth level or postgraduate studies at the National University of Loja (UNL). In this context, the project was divided into two stages: in the first, a bibliographic search was carried out in scientific articles on compatible technologies and tools to adjust the BERT model through training in the question and answer task; In the second stage, the development of the chatbot was carried out following the Extreme Programming (XP) methodology divided into four phases: planning, design, coding and testing. In the planning phase, the necessary requirements for the implementation of the chatbot were described, where the parameters for model training and the general description of the operation of the conversational agent through user stories were specified. In the second phase, the architecture was designed, in which all the elements that were part of the chatbot are shown. In the third phase, programming was carried out using the programming languages Python, JavaScript, Css, Html and the Flask microframework. Finally, in the last phase, performance, load and stress tests were carried out to see the behavior of the chatbot when subjected to a considerable load of requests.

Keywords—Conversational agent, Artificial intelligence, Chatbot, BERT, NLP, XP methodology.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el uso de los chatbots o agentes conversacionales está tomando mayor importancia debido a la capacidad que tienen para establecer una comunicación de forma natural y automatizada entre máquina-humano gracias al Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP) (Bathija *et al.*, 2020). Muchas empresas están implementándolos en

diferentes campos para que los usuarios puedan acceder a la información de manera más rápida y efectiva en cualquier momento del día.

Las instituciones educativas como las universidades, han comenzado a hacer uso de los chatbots para que los estudiantes puedan obtener información sobre diversos temas, como ofertas académicas, requisitos de matriculación, proce-

sos de homologaciones, calendarios académicos, entre otros, que normalmente se suelen obtener de forma presencial en la institución. A través del chatbot los estudiantes pueden hacer preguntas sobre un tema en específico para que este procese la consulta y genere una respuesta en cuestión de segundos (Patel *et al.*, 2019).

Actualmente, existen redes neuronales muy eficientes y entrenadas con el propósito de ser utilizadas en la tarea de preguntas y respuestas y por ende ser acopladas en páginas web o plataformas de mensajería como Telegram, Facebook o WhatsApp para que actúen como agentes conversacionales. Una de estas redes neuronales es el modelo de lenguaje BERT cuyas siglas significan, “Representación de codificadores bidireccionales de transformadores” (Devlin *et al.*, 2018), donde su arquitectura se basa en una pila de codificadores situados uno encima de otro que forman parte de un Transformer (Vaswani *et al.*, 2017), que procesa como entrada un contexto y una pregunta, que son transformados en vectores numéricos, los cuales pasan por las diferentes capas del modelo hasta llegar a la última, donde se arrojan dos valores que corresponden al inicio y final de la respuesta que se extrae del contexto ingresado al modelo. En este artículo, se propone el desarrollo de un chatbot o agente conversacional, que brinda información sobre preguntas frecuentes relacionadas con los estudios de posgrado en materia de matrículas y homologaciones en la UNL. Para llevar a cabo el proceso de responder preguntas, el chatbot utiliza como red neuronal una versión ligera del modelo de lenguaje BERT, denominado DistilBERT, entrenado previamente en un corpus en español y ajustado con el conjunto de datos SQuAD-v2 traducido al castellano y que posteriormente se lo volvió ajustar con un dataset creado a partir de la información obtenida de los artículos del Reglamento de Régimen Académico de la UNL.

A continuación, se describen las secciones en las que se dividió el presente trabajo. En la primera sección, materiales y métodos, se mencionan todos los recursos utilizados, tanto para la investigación como para el desarrollo del chatbot. En la sección de resultados, se muestran las evidencias que se obtuvieron en el proyecto. En la sección de discusión se hace la interpretación de los resultados obtenidos. Finalmente, en la última sección, se emiten las conclusiones a las que se llegó después de haber culminado el trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda Bibliográfica

A través de la búsqueda bibliográfica, se pudo realizar una investigación en artículos, libros, revistas y bases de datos científicas confiables, donde se obtuvieron los conocimientos teóricos para el desarrollo del agente conversacional. Gracias a esta técnica se conocieron las tecnologías y herramientas necesarias para ajustar el modelo BERT con un conjunto de datos personalizado, que se creó tomando la información de los artículos del Reglamento de Régimen Académico de la UNL, con respecto a los estudios de posgrado en materia de matrículas y homologaciones.

Metodología XP

Esta metodología permitió desarrollar el chatbot de forma muy flexible a los contratiempos y cambios que se pueden

producir en todo el proyecto, la cual permitió realizar de manera rápida el análisis, diseño, desarrollo y las pruebas del chatbot. La metodología usada se dividió en 4 fases:

- Planeación. Fase donde se identificó todo lo necesario para la implementación del agente conversacional.
- Diseño. Etapa que permitió desarrollar una arquitectura general del agente conversacional y la interacción de todos los elementos que van a intervenir.
- Codificación. Fase donde se realizó la programación del chatbot empleando las tecnologías Python, JavaScript, HTML, CSS y Flask.
- Pruebas. Etapa final empleada para realizar las pruebas de rendimiento, carga y estrés al agente conversacional.

RESULTADOS

Tecnologías y herramienta para el ajuste de la red neuronal

En este apartado se llevó a cabo una revisión bibliográfica y para ello se planteó la siguiente pregunta de investigación: “¿Qué tecnologías y herramientas se pueden usar para el ajuste del modelo BERT en la tarea de preguntas y respuestas?”.

Los artículos que se obtuvieron para dar respuesta a la pregunta de investigación, se buscaron en bases de datos científicas (IEEE Xplore, ACM Digital Library, Scopus, y arXiv) que, tras pasar por unos criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron aquellos que estaban relacionados con el objeto de estudio. De esta forma los resultados de la revisión se presentan en la Tabla 1.

Desarrollo del chatbot

En el proceso de desarrollo del chatbot se emplearon la metodología XP, la cual se ejecutó mediante un proceso ordenado de 4 fases.

Planeación

En esta fase se especificaron los requisitos para el desarrollo del chatbot, por un lado los parámetros necesarios para el entrenamiento del modelo y por otro la creación de las historias de usuario.

Entrenamiento del Modelo. El modelo escogido para el entrenamiento tiene un peso de 417 MB, denominado “mrm8488/distilbert-base-spanish-wwm-cased-finetuned-spa-squad2-es”, el cual se encuentra entrenado previamente en un corpus en español y ajustado con un conjunto de datos llamado SQuAD en su versión 2 también traducido al castellano para la tarea de preguntas y respuestas. Esta red neuronal es un modelo DistilBERT, más rápido, más pequeño y más ligero que la versión original de BERT. Según Sanh *et al.* (2019), DistilBERT tiene la misma arquitectura de BERT (específicamente BERT_{base} con 110 millones de parámetros y 12 codificadores) (Devlin *et al.*, 2019), de la cual se conserva el 97% del rendimiento con un 40% menos de parámetros (66 millones de parámetros y 6 codificadores) y un 60% más rápido que la versión original.

Tabla 1: Resultados de la búsqueda bibliográfica

Código	Título	Tecnologías
AC01	BERT-CoQAC: BERT-Based Conversational Question Answering in Context. (Zaib <i>et al.</i> , 2021).	TensorFlow Optimizador Adam RAM 16 GB GPU NVIDIA Tesla P100 Biblioteca de Transformers
AC02	Efficient Fine-Tuning of BERT Models on the Edge. (Vucetic <i>et al.</i> , 2022).	PyTorch Python Biblioteca de Transformers RAM 16 GB GPU NVIDIA Tesla V100 Volta
AC03	BERT with history answer embedding for conversational question answering (Qu <i>et al.</i> , 2019).	Python TensorFlow Optimizador Adam
AC04	Evaluating BERT-based Rewards for Question Generation with Reinforcement Learning (Zhu y Hauff, 2021).	Python PyTorch Biblioteca de Transformers
AC05	Automatic Numerical Question Answering on Table using BERT-GNN (Bagwe y George, 2020).	Python PyTorch
AC06	A Recurrent BERT-based Model for Question Generation (Chan y Fan, 2019).	Python PyTorch Optimizador Adam RAM 24 GB GPU TITAN RTX
AC07	BERT for Conversational Question Answering Systems Using Semantic Similarity Estimation (Al-Besher <i>et al.</i> , 2022).	PyTorch Biblioteca de Transformers Optimizador Adam
AC09	Infusing Disease Knowledge Into BERT for Health Question Answering, Medical Inference and Disease Name Recognition (He <i>et al.</i> , 2020).	PyTorch Optimizador Adam RAM 16 GB GPU NVIDIA V100
AC10	Pre-training BERT on Resources for Short Answer Grading (Sung <i>et al.</i> , 2019).	TensorFlow Python
AC11	Predicting Subjective Features from Questions on QA Websites Using BERT (Annamoradnejad <i>et al.</i> , 2020).	TensorFlow Python Biblioteca de Transformers RAM 16 GB CPU 2.00GHz. Intel(R) Xeon(R)
AC12	Questions and Answers on Legal Texts Based on BERT-BiGRU (Zhang y Xing, 2021).	PyTorch Python Biblioteca de Transformers RAM 16 GB GPU GTX-1080Ti
AC13	Two-stage Semantic Answer Type Prediction for Question Answering Using BERT and Class-specificity Rewarding (Nikas <i>et al.</i> , 2020).	PyTorch Google Colab RAM 24 GB GPU Nvidia Tesla K80

El modelo escogido se lo entrenó con la ayuda de la herramienta Google Colab, usando una GPU NVIDIA T4 con memoria RAM de 16 GB. El conjunto de datos para el entrenamiento se lo creó, tomando como información los artículos del Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, el cual está compuesto de 173 artículos, de los que se seleccionaron solo aquellos que estaban relacionados con los temas de matrículas y homologaciones para los estudios de posgrado. En la Tabla 2 se presentan los resultados para la ejecución de varios entrenamientos, donde se han ido modificando los parámetros de entrenamiento (tamaño de lote, épocas y tasa de aprendizaje), para obtener diferentes resultados y en base a ello, mediante una evaluación escoger el modelo con mejor precisión para implementarlo en el desarrollo de un agente conversacional. De esta forma, se puede apreciar que el mejor resultado obtenido fue de 0,8066 (en un rango de 0 a 1) que equivale al 81 % el cual se obtuvo al establecer un tamaño de lote (batch size) de 3, con un número de épocas (epoch) de 7 y una tasa de aprendizaje (lr) de 3e-5.

Tabla 2: Resultados del entrenamiento

Tamaño de lote	Épocas	Tasa de aprendizaje	Pérdida	Precisión	Tiempo de ejecución
4	5	2e-5	0,016	0,7857	38 s
8	8	5e-5	0,002	0,6406	56 s
6	7	5e-5	0,005	0,7416	49 s
5	5	4e-5	0,056	0,6888	40 s
5	1	4e-5	1,66	0,6388	8 s
1	8	2e-5	0,026	0,6428	107 s
3	7	3e-5	0,007	0,8066	63 s
1	7	3e-5	0,468	0,6010	91 s
10	10	5e-5	0,145 0,7781	72 s	
20	10	5e-5	0,096	0,7812	70 s
20	19	4e-5	0,004	0,7686	140 s

Historias de usuario. Describen de forma general el funcionamiento del chatbot. Los elementos más destacados que conformaron las historias de usuario son las siguientes:

- Código. Identificador único de la historia de usuario.
- Usuario. Parte beneficiaria que hará uso del sistema.
- Título. Nombre que da una pequeña descripción de la historia de usuario.
- Prioridad. Determina el orden en el que las historias de usuario deben ser implementadas.
- Puntos de estimación. Tiempo estimado para la elaboración del desarrollo de la historia de usuario.

Tabla 3: Historia de usuario 1: Visualización del agente conversacional

Historia de Usuario	Código: HU01
Usuario: Usuario Final	
Título: Visualización del agente conversacional	
Prioridad: Alta (Alta/Media/Baja)	Puntos estimados: 1
Desarrollador encargado: Leonardo Paredes	
Descripción: Al ingresar a la página web, el Usuario podrá visualizar el agente conversacional, el cual estará disponible en cualquier momento del día.	
Observaciones: Ninguno	

Tabla 4: Historia de usuario 2: Saludo Inicial

Historia de Usuario	Código: HU02
Usuario: Usuario Final	
Título: Saludo Inicial	
Prioridad: Alta (Alta/Media/Baja)	Puntos estimados: 1
Desarrollador encargado: Leonardo Paredes	
Descripción: El agente conversacional debe realizar un saludo inicial y hacer una presentación donde explique brevemente el tipo de preguntas que se le puede hacer basado en los temas que fue programado.	
Observaciones: Ninguno	

Tabla 5: Historia de usuario 3: Diálogo con el agente conversacional

Historia de Usuario	Código: HU03
Usuario: Usuario Final	
Título: Diálogo con el Agente Conversacional	
Prioridad: Alta (Alta/Media/Baja)	Puntos estimados: 1
Desarrollador encargado: Leonardo Paredes	
Descripción: El agente conversacional debe realizar una interacción con el usuario, donde debe responder cada una de las preguntas de manera natural.	
Observaciones: El usuario debe escribir la pregunta en la caja de texto del agente conversacional y pulsar el botón de envío. El agente conversacional debe responder en el menor tiempo posible, adicional a ello el chatbot proporcionará el nombre del artículo, donde el usuario podrá consultar la información más detallada de la respuesta. El agente debe notificar al usuario en caso de que no pueda proporcionar una respuesta.	

Tabla 6: Historia de Usuario 4: Diálogo de despedida

Historia de Usuario	Código: HU04
Usuario: Usuario Final	
Título: Diálogo de Despedida	
Prioridad: Alta (Alta/Media/Baja)	Puntos estimados: 1
Desarrollador encargado: Leonardo Paredes	
Descripción: Para finalizar el diálogo, el usuario puede despedirse del agente conversacional, el cual debe responder al mensaje de despedida.	
Observaciones: Ninguno	

Diseño

En esta fase, se presenta la arquitectura del agente conversacional, donde se muestra la interacción de todos sus componentes (Figura 1). Los elementos que se pueden observar en la arquitectura son los siguientes:

- El usuario final. Representa cualquier persona, que puede realizar preguntas al bot a través de un navegador con acceso a internet.
- La interfaz gráfica. Es el entorno visual que se puede ver mediante un navegador, por el cual el usuario realizará las preguntas pertinentes al agente conversacional y visualizará las respuestas dadas por el mismo. En el desarrollo de la interfaz se utilizaron las tecnologías de HTML, JavaScript y CSS.
- La interfaz gráfica. Es el entorno visual que se puede ver mediante un navegador, por el cual el usuario realizará las preguntas pertinentes al agente conversacional y visualizará las respuestas dadas por el mismo. En el desarrollo de la interfaz se utilizaron las tecnologías de HTML, JavaScript y CSS.
- Flask. Es un microframework que se usó para montar un servidor web con Python.

- Digital Ocean. Es una plataforma en la nube, donde se pudo desplegar la aplicación web (el agente conversacional) para que diferentes usuarios puedan tener acceso.
- Modelo DistilBERT. Red neuronal que emplearon para la creación del agente conversacional. El modelo se encarga de interpretar las preguntas del usuario y generar una respuesta en base a la misma pregunta y un contexto.
- Base de conocimientos. Se creó basándose en el Reglamento de Régimen Académico de la UNL, a la cual se debe acceder y extraer los contextos que el modelo DistilBERT necesita, para dar una respuesta a las preguntas hechas por el usuario.

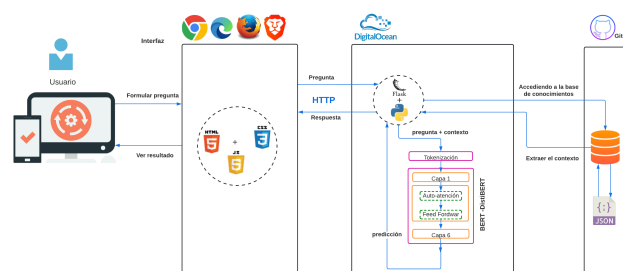


Fig. 1: Arquitectura del agente conversacional

Codificación.

En esta etapa, se utilizaron las tecnologías Flask, Python, JavaScript, Html y Css las cuales se emplearon para la programación del agente conversacional, logrando desplegar la aplicación en un entorno web, para acceder desde cualquier dispositivo. En la Figura 2 se presentan todos los archivos y carpetas que conforman la estructura de la aplicación web (Chatbot).

```

> BERT-Preguntas-Respuestas-Posgrados
> proyecto
  > static
    > css
      JS app.js
      # styles.css
    > images
  > templates
    <> index.html
  > app.py
  > chat.py
    
```

Fig. 2: Estructura del Chatbot

A través del lenguaje de programación Python, se define la forma en como el modelo debe realizar la predicción de la

respuesta, al ingresar como entrada a la red neuronal, la pregunta hecha por el usuario y el contexto extraído de la base, conocimientos. En la Figura 3 se observa el código utilizado para que el modelo haga la predicción.

```
#librerías
from transformers import BertForQuestionAnswering, BertTokenizerFast
import torch
import requests
import json
import re
from flask import request
# Importar el modelo
modelo= 'BERT-Preguntas-Respuestas-Posgrados'
#se carga el modelo entrenado para la predicción
model_preentrenado = BertForQuestionAnswering.from_pretrained(modelo)
#transforma las entradas en tokens numéricos
tokenizador = BertTokenizerFast.from_pretrained(modelo)
#establece si se trabaja con CPU o GPU
device = torch.device('cuda') if torch.cuda.is_available() else torch.device('cpu')
model_preentrenado = model_preentrenado.to(device)
def get_prediction(contexto, pregunta):
    #se tokeniza las preguntas y el contexto
    entradas = tokenizador.encode_plus(pregunta, contexto, return_tensors='pt').to(device)
    salida = model_preentrenado(**entradas)
    #se calcula el inicio y final de la respuesta que el modelo predice
    inicio_respuesta = torch.argmax(salida[0])
    final_respuesta = torch.argmax(salida[1]) + 1
    #almacena el inicio-final de la respuesta que el modelo predice
    t=entradas['input_ids'][0][inicio_respuesta:final_respuesta]
    respuesta = tokenizador.convert_tokens_to_string(tokenizador.convert_ids_to_tokens(t))
    return respuesta
```

Fig. 3: Predicción de la Respuesta Mediante la Red Neuronal

Para acceder al contexto dentro de la base de conocimientos alojada en GitHub, se hace uso de palabras clave que se extraen de la pregunta realizada por el usuario, las cuales se comparan con las palabras clave ingresadas en la base de conocimientos. La regla que se estableció para acceder a un contexto, es que haya como mínimo dos palabras claves en la pregunta. En la Figura 4 se muestra el proceso para acceder al contexto de la base de conocimientos.

```
url3 = 'https://raw.githubusercontent.com/Leo646/TrabajoTitulacion/main/Base_Conocimientos/Base_Conocimientos2'
resp = requests.get(url3)
datos = json.loads(resp.text)
# accediendo al contexto
for data in enumerate(datos['data']):
    for clave in enumerate(data['palabras_clave']):
        if clave in arreglo:
            t=t+1
            for parrafo in enumerate(data['parrafo']):
                frase=parrafo['contexto']
                art=parrafo['articulo']
                maximo=t
                maximo1=t
if maximo==2:
    contexto.append(frase)
    articulo.append(art)
    p.append(maximo)
    maximo=0
if t==3:
    contexto.append(frase)
    articulo.append(art)
    p.append(t)
if maximo1>=4:
    contexto.append(frase)
    articulo.append(art)
    p.append(maximo1)
    maximo1=0
t=0
```

Fig. 4: Accediendo a los Contextos de la Base de Conocimientos

Con en Lenguaje JavaScript se realizaron efectos dinámicos a la interfaz web, como por ejemplo, al pulsar un botón, se debe mostrar o desaparecer el chatbot en la página web. Sin embargo, lo más importante que se hizo con JavaScript, fue rescatar la pregunta que el usuario realiza a través de la caja de texto del agente conversacional, para posteriormente ingresar dicha pregunta al modelo BERT. En la Figura 5 se muestra que, mediante una solicitud POST se rescata la

pregunta, la cual se la convierte en una cadena en formato JSON, que sería consumida mediante código Python.

```
//proceso de interacion entre el chatbot, el usuario y la red neuronal
onSendButton(chatbox) {
    //permite acceder a la caja de texto donde el usuario hace la pregunta
    var textField = chatbox.querySelector('input');
    //extrae el valor(pregunta) ingresada por el usuario
    let text1 = textField.value
    if (text1 === "") {
        return;
    }
    //se identifica que la persona que ingresa la pregunta es el usuario
    let msg1 = { name: "Usuario", message: text1 }
    this.messages.push(msg1);
    //se envia la pregunta con la solicitud POST
    fetch('http://127.0.0.1:5050/predict', {
        method: 'POST',
        body: JSON.stringify({ message: text1 }),
        mode: 'cors',
        headers: {
            'Content-Type': 'application/json'
        },
    },
```

Fig. 5: Obtener la Pregunta del Usuario desde el Chatbot

Finalmente, se desarrolla la página principal donde interviene el microframework Flask el cual se encarga de crear el servicio web para que la aplicación se ejecute y se pueda visualizar (Figura 6).

```
@app.post("/predict")
def predict():
    while True:
        text= request.get_json().get("message").lower()
        response=get_response(text)
        #el chat responde a una pregunta
        message={"answer":response}
        return jsonify(message)
#dirección donde se ejecuta la aplicación
if __name__ == '__main__':
    port = int(os.environ.get("PORT", 5050))
    app.run(host='0.0.0.0', port=port)
```

Fig. 6: Ejecución de la Aplicación

Pruebas

Para las pruebas de carga, estrés y rendimiento se usó la herramienta de ApacheJMeter, ya que esta permite medir el desempeño de las aplicaciones con respecto al rendimiento en cuanto a recursos dinámicos y estáticos (Objetos Java, base de datos, lenguajes de programación, protocolos, entre otros). La herramienta permite simular una cantidad de usuarios (grupo de hilos) para comprobar la respuesta del chatbot a una carga simultánea de peticiones. En base a ello, para las pruebas se decidió subir el agente conversacional en la plataforma Digital Ocean, un servicio que permite el alojamiento de aplicaciones en la nube y que ofrece diferentes tipos de recursos, tanto hardware como software dependiendo de las necesidades de los usuarios. En las pruebas se realizaron peticiones HTTP mediante los métodos GET y POST. A través del método GET se realizaron peticiones para recuperar los datos que conforman la interfaz gráfica del agente conversacional, es decir, la estructura, las imágenes y los estilos que forman parte del aplicativo. Con el método POST se llevó a cabo el envío de datos, representando las preguntas que los interesados hacen a través del chatbot. En la Tabla 7 se presentan los datos

ingresados en la herramienta ApacheJMeter para las pruebas de carga y rendimiento mediante el método GET.

Tabla 7: Ingreso de datos para las pruebas de carga en ApacheJMeter mediante el método GET

Número de Hilos	100 usuarios
Tiempo de ejecución de todos los hilos	5 segundos
Número de repeticiones	1 ciclo
Protocolo	http
Dirección de la aplicación web	http://146.190.216.73
Puerto	80
Rutas	/ /static/css/styles.css /static/css/app.js /static/images/logo.png /static/images/burbuja.png /static/images/send.png

La Tabla 8 muestra que la página web fue capaz de soportar 600 peticiones de solicitud-respuesta a través del método GET, en un tiempo de ejecución de 5 segundos, con un rendimiento total de 87,1 segundos, indicando que es capaz de procesar 87,1 peticiones por segundo. Además, se puede observar que la mayoría de peticiones fueron atendidas en un tiempo promedio de 224 milisegundos, siendo el tiempo más pequeño de 15 ms y el más elevado de 4,265 ms. El porcentaje de error fue del 0 % indicando que las peticiones realizadas por los 100 usuarios, de forma simultánea, se ejecutaron en su totalidad sin ningún problema.

Tabla 8: Reporte resumen de las pruebas de carga con el método GET

Etiqueta	#Muestra	Media	Min	Max	%Error	Rendimiento
/	100	220	37	1369	0,00%	17,8/sec
/static/css/styles.css	100	270	16	4365	0,00%	15,7/sec
/static/css/app.js	100	197	16	3033	0,00%	14,4/sec
/static/images/logo.png	100	300	16	3087	0,00%	13,4/sec
/static/images/burbuja.png	100	187	15	3041	0,00%	13,7/sec
/static/images/send.png	100	173	17	1354	0,00%	12,1/sec
Total	600	224	15	4265	0,00%	87,1/sec

En las pruebas de estrés, se incrementó el número de usuarios y de repeticiones (ver Tabla 9) para determinar los límites del agente conversacional y ver el comportamiento que tiene ante esta situación extrema.

Los resultados presentados en Tabla 10, muestran que el chatbot procesó 4.800 peticiones en 4 iteraciones, con un tiempo promedio de 707 ms. El tiempo mínimo empleado para responder las peticiones fue de 14 ms y el máximo de 63.860 ms. También se tuvo un rendimiento total de 79,3 peticiones por segundo y se puede evidenciar un porcentaje mínimo de error de 0.08 %, señalando que el bot no fue capaz de responder a ciertas peticiones cuando este se sometió a bastante estrés, sin embargo, continuó funcionando sin ningún inconveniente.

Con el método POST, se pudo realizar pruebas en donde se hacían peticiones, simulando una conversación entre el chatbot y el usuario final, para determinar los tiempos que tardaba el agente conversacional en procesar el texto y dar una respuesta. En las pruebas de carga y rendimiento para

Tabla 9: Ingreso de datos para las pruebas de estrés en ApacheJMeter mediante el método GET

Número de Hilos	200 usuarios
Tiempo de ejecución de todos los hilos	5 segundos
Número de repeticiones	4 ciclo
Protocolo	http
Dirección de la aplicación web	http://146.190.216.73
Puerto	80
Rutas	/ /static/css/styles.css /static/css/app.js /static/images/logo.png /static/images/burbuja.png /static/images/send.png

Tabla 10: Reporte resumen de las pruebas de estrés con el método GET

Etiqueta	#Muestra	Media	Min	Max	%Error	Rendimiento
/	800	473	35	15457	0,00%	11,8/sec
/static/css/styles.css	800	198	16	63860	0,13%	13,7/sec
/static/css/app.js	800	227	16	13123	0,00%	14,4/sec
/static/images/logo.png	800	172	15	56218	0,13%	13,4/sec
/static/images/burbuja.png	800	135	14	62330	0,13%	13,9/sec
/static/images/send.png	800	159	15	59825	0,13%	12,1/sec
Total	4800	707	14	63860	0,08%	79,3/sec

este método se emplearon los mismos datos de la Tabla 7, obteniendo como resultado lo que se observa en la Tabla 11.

Tabla 11: Reporte resumen de las pruebas de carga con el método POST

Etiqueta	#Muestra	Media	Min	Max	%Error	Rendimiento
/predict	100	37798	15553	70346	0,00%	46,0/min
Total	100	37798	15553	70346	0,00%	46,0/min

Los resultados indican que el agente conversacional pudo responder las 100 peticiones realizadas por los usuarios, con un tiempo promedio de 37,798 ms. El tiempo mínimo de respuesta fue de 15,553 ms y el máximo de 70,346, con un rendimiento de 46 peticiones por minuto y un porcentaje de error del 0 %. Los tiempos de respuesta de las peticiones son más elevados a través del método POST. Esto se debe a que al momento de que un usuario realiza una pregunta al agente conversacional, el modelo DistilBERT consume bastante memoria y CPU para analizar un texto completo y dar una respuesta en base al mismo, haciendo que los tiempos también se incrementen, sin embargo, a pesar de todo ello, el agente fue capaz de responder a las peticiones sin ningún error, mostrando que puede manejar 100 peticiones simultáneas durante un ciclo. Al incrementar las repeticiones a 4 ciclos generando un estrés en chatbot lo que se observa en la Tabla 12.

Tabla 12: Reporte resumen de las pruebas de estrés con el método POST

Etiqueta	#Muestra	Media	Min	Max	%Error	Rendimiento
/	400	4374	12587	81366	78,00%	45,0/min
Total	400	4374	12587	81366	78,00%	45,0/min

De acuerdo a los resultados, se generó un 78 % de errores al atender 400 peticiones de forma concurrente, esto quiere decir que la mayor parte de las solicitudes realizadas por los

usuarios no fueron atendidas, ya que el aplicativo estuvo sometido a bastante estrés provocando que el servidor donde se alojaba llegara a reiniciarse. En las figuras 7 - 10, se puede observar la interfaz gráfica del agente conversacional vista desde un navegador a la cual se puede acceder mediante el siguiente enlace <http://146.190.216.73/>.

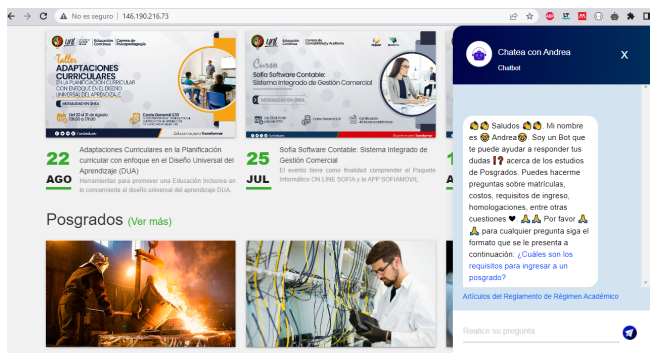


Fig. 7: Presentación del chatbot

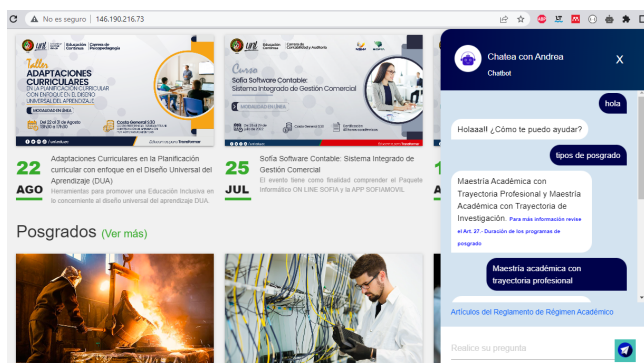


Fig. 8: Interacción con el chatbot. Ejemplo 1

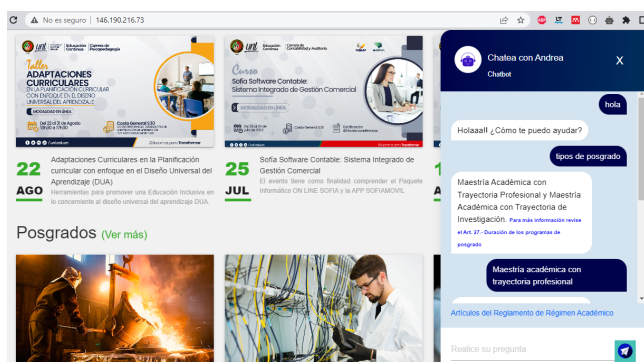


Fig. 9: Interacción con el chatbot. Ejemplo 2

DISCUSIÓN

La búsqueda bibliográfica permitió conocer las tecnologías y herramientas que se pueden usar para ajustar el modelo de lenguaje BERT, misma que fueron usadas para la versión ligera que se seleccionó para este artículo. A través de la investigación y después de pasar por unos filtros de inclusión y exclusión, se encontraron 13 artículos científicos que dieron información para responder a la pregunta de investigación planteada inicialmente. En la mayoría de los artículos se menciona que el lenguaje de programación para el ajuste del modelo es Python junto con las bibliotecas PyTorch y



Fig. 10: Interacción con el chatbot. Ejemplo 3

Transformers. Además, como recursos mínimos en cuanto a hardware se han empleado GPUs con memoria RAM de 16 y 24 GB.

Con la información que se obtuvo, se pudo llevar el desarrollo del agente conversacional siguiendo la metodología XP dividida en cuatro fases. Inicialmente, en la primera fase se llevó a cabo el entrenamiento del modelo BERT, donde se escogió una versión ligera denominada DistilBERT, la cual tiene la misma arquitectura que el modelo original, pero es un 60% más rápido y un 40% más pequeño. Para el entrenamiento se usó la herramienta Google Colab, la cual tiene a disposición recursos de hardware gratuitos como GPUs que permitieron realizar el entrenamiento mucho más rápido (con intervalos de tiempo de 8 segundos a 140 segundos), además de trabajar con el lenguaje de programación Python. El conjunto de datos para el entrenamiento se lo creo con información del Reglamento del Régimen Académico de la UNL con los temas de matrícula y homologaciones para los estudios de posgrados. El entrenamiento del modelo se lo realizó con una GPU NVIDIA T4 con capacidad de memoria RAM de 16 GB, que fue proporcionado por Google Colab. Se llevaron a cabo 5 ejecuciones de entrenamiento donde se modificaron los parámetros para entrenar el modelo (tamaño del lote, número de épocas y la tasa de aprendizaje), dándoles valores diferentes para obtener diversos resultados y en base a ello, escoger un modelo con una precisión alta. De acuerdo a los resultados, el valor más alto que se consiguió fue de 0,8066 (81%), dicho valor se lo consiguió al establecer el tamaño de lote en 3, el número de épocas en 7 y la tasa de aprendizaje en $3e-5$. Una vez entrenada la red neuronal, se llevó a cabo la creación de 4 historias de usuario donde se describió de forma general el funcionamiento del chatbot. En la segunda fase, se diseñó una arquitectura en la que se muestran todos los elementos que se usaron para la implementación. En la tercera fase se llevó a cabo el proceso de codificación, donde se utilizaron los lenguajes de programación, Python, para codificar la forma en como el modelo debe realizar la predicción de las respuestas en base a las preguntas realizadas por los usuarios; HTML, para construir la estructura de la interfaz gráfica del agente conversacional, CSS, para dar estilos visuales; JavaScript, para generar efectos y rescatar las preguntas generadas por los interesados a través de la interfaz gráfica del bot; y Flask para levantar un servicio web y ejecutar la aplicación.

Como paso final se realizaron las pruebas de rendimiento, carga y estrés, utilizando la herramienta ApacheJMeter. A través de esta herramienta se hicieron simulaciones, de peti-

ciones http mediante los métodos GET y POST. Con el método GET se observó que el agente conversacional fue capaz de soportar 100 usuarios de forma simultánea, atendiendo un total de 600 peticiones sin ningún tipo de error durante una sola ejecución y tomándole un tiempo promedio, para atender la mayoría de peticiones de 224 ms con un rendimiento de 81,1 solicitudes por segundo. Sin embargo, al aumentar la cantidad de usuarios a 200 y el número de repeticiones a 4 ciclos, atendiendo en total 4.800 peticiones, se evidenció un error del 0,08%, señalando que el chatbot no fue capaz de responder a ciertas peticiones, pero continuó funcionando sin ningún inconveniente debido a que fue un porcentaje muy pequeño. Con el método POST se inició la simulación ingresando 100 usuarios para 100 peticiones y se observó que no hubo ningún tipo de error, los tiempos promedios para atender las peticiones fueron de 37.798 ms, con un rendimiento de 46 peticiones por minuto. Al aumentar el número de repeticiones a 4 ciclos para llegar a atender 400 peticiones, se produjo un error del 78% indicando que la mayoría de solicitudes no tuvieron respuesta por parte de agente conversacional, e incluso llegando a que el servidor donde estaba alojada la aplicación se reiniciara.

CONCLUSIONES

La búsqueda bibliográfica es una técnica muy efectiva, ya que a través de esta se pudieron obtener 13 artículos científicos donde se mencionaban las tecnologías y herramientas que se podían usar para realizar el ajuste del modelo BERT y por ende ser también usadas para la versión ligera que se escogió DistilBERT. Se pudo conocer, que el lenguaje principal utilizado para llevar a cabo el ajuste es Python, junto con las librerías de PyTorch y Transformers. Además, de que se debe usar como recurso mínimo una GPU con memoria RAM de 16 GB.

Seguir la metodología XP para el desarrollo del agente conversacional fue muy importante, ya que esta permitió dividir el proyecto en diferentes fases, siendo la primera la más esencial, pues es donde se llevó a cabo el entrenamiento de la red neuronal que se utilizaron para el desarrollo del chatbot además de crear las historias de usuario sobre el funcionamiento del mismo, y a partir de ello ejecutar las fases restantes de la metodología.

Las pruebas realizadas con la herramienta ApacheJMeter permitieron conocer las limitaciones del agente conversacional, donde se pudo observar que es capaz de atender hasta 4.800 peticiones de forma simultánea mediante el método GET con un porcentaje muy pequeño de errores (0,08%) permitiendo que siga funcionando sin problemas. Sin embargo, al usar el método POST y someter el bot a una cantidad constante de 400 peticiones se produjo un error del 78%, ya que existió un consumo de memoria y CPU muy elevado, provocando que el chatbot y el servidor que contenía la aplicación deje de funcionar por un periodo corto de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería en Sistemas/Computación, por su colaboración en el presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Leonardo Paredes-Rivas: LPR, Roberth Figueroa-Díaz.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por sus autores.

REFERENCIAS

- Al-Besher, A., Kumar, K., Sangeetha, M., y Butsa, T. (2022). BERT for Conversational Question Answering Systems Using Semantic Similarity Estimation. *Computers, Materials and Continua*, 70(3), 4763–4780. doi: 10.32604/cmc.2022.021033
- Annamoradnejad, I., Fazli, M., y Habibi, J. (2020). Predicting Subjective Features from Questions on QA Websites Using BERT. *2020 6th International Conference on Web Research, ICWR 2020*, 240–244. doi: 10.1109/ICWR49608.2020.9122318
- Bagwe, R., y George, K. (2020). Automatic Numerical Question Answering on Table using BERT-GNN. *2020 11th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference, UEMCON 2020*, 118–124. doi: 10.1109/UEMCON51285.2020.9298028
- Bathija, R., Agarwal, P., Somanna, R., y Pallavi, G. (2020). Guided Interactive Learning through Chatbot using Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT). *2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications, ICIMIA 2020 - Conference Proceedings(Icimia)*, 82–87. doi: 10.1109/ICIMIA48430.2020.9074905
- Chan, Y., y Fan, Y. (2019). A Recurrent BERT-based Model for Question Generation. *MRQA@EMNLP 2019 - Proceedings of the 2nd Workshop on Machine Reading for Question Answering*, 154–162. doi: 10.18653/v1/d19-5821
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., y Toutanova, K. (2018). *Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding*. arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.1810.04805
- He, Y., Zhu, Z., Zhang, Y., Chen, Q., y Caverlee, J. (2020). Infusing Disease Knowledge Into BERT for Health Question Answering, Medical Inference and Disease Name Recognition. *EMNLP 2020 - 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 4604–4614. doi: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.372
- Nikas, C., Fafalios, P., y Tzitzikas, Y. (2020). Two-stage Semantic Answer Type Prediction for Question Answering Using BERT and Class-specificity Rewarding. *CEUR Workshop Proceedings*, 2774, 19–28.

- Patel, N., Parikh, D., Patel, D., y Patel, R. (2019). AI and Web-Based Human-Like Interactive University Chatbot (UNIBOT). *Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics and Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019*, 148–150. doi: 10.1109/ICECA.2019.8822176
- Qu, C., Yang, L., Qiu, M., Croft, B., Zhang, Y., y Iyyer, M. (2019). BERT with history answer embedding for conversational question answering. *SIGIR 2019 - Proceedings of the 42nd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 1133–1136. doi: 10.1145/3331184.3331341
- Sung, C., Ma, T., Dhamecha, T., Reddy, V., Saha, S., y Aroara, R. (2019). Pre-training BERT on Domain Resources for Short Answer Grading. *EMNLP-IJCNLP 2019 - 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 6071–6075. doi: 10.18653/v1/d19-1628
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... Polosukhin, I. (2017). *Attention is all you need*. arXiv. Descargado de <https://arxiv.org/abs/1706.03762> doi: 10.48550/ARXIV.1706.03762
- Vucetic, D., Tayanarian, M., Ziaefard, M., Clark, J., Meyer, B., y Gross, W. (2022). Efficient Fine-Tuning of BERT Models on the Edge. Descargado de <http://arxiv.org/abs/2205.01541>
- Zaib, M., Tran, D., Sagar, S., Mahmood, A., Zhang, W., y Sheng, Q. (2021). BERT-CoQAC: BERT-Based Conversational Question Answering in Context. *Communications in Computer and Information Science, 1362*, 47–57. doi: 10.1007/978-981-16-0010-4_5
- Zhang, N., y Xing, Y. (2021). Questions and Answers on Legal Texts Based on BERT-BiGRU. *Journal of Physics: Conference Series, 1828*(1). doi: 10.1088/1742-6596/1828/1/012035
- Zhu, P., y Hauff, C. (2021). *Evaluating BERT-based Rewards for Question Generation with Reinforcement Learning* (Vol. 1) (n.º 1). Association for Computing Machinery. doi: 10.1145/3471158.3472240

Modelo de programación lineal de operación y multiárea de un sistema eléctrico de potencia

Linear Programming model of operation and Multi-Area of an electrical power system

Juan Chunchu-Morocho^{1,*}, Raúl Chávez-Romero² y Fernando Ramírez-Cabrera²

¹ Carrera de Electricidad, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; juan.chuncho@unl.edu.ec

² Carrera de Electromecánica, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador; raul.a.chavez@unl.edu.ec, fernando.ramirez@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: juan.chuncho@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 20/09/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 31/10/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—El modelo de programación lineal de operación (PLO) considera desde el suministro de energía hasta los consumidores finales. Al resolver el PLO de un sistema eléctrico de potencia (SEP), el objetivo es encontrar la asignación óptima o despacho económico (DE) de la potencia de salida entre las tecnologías de generación convencional y la generación de energía renovable (específicamente la eólica) para cubrir carga del sistema a un mínimo costo operacional. En el modelo propuesto se ha empleado un enfoque determinista-lineal con relaciones matemáticas que utilizan variables como: estado de operación de la unidad de generación en función del tiempo, despacho de potencia de centrales eólicas y convencionales, déficit eléctrico, transferencia de potencia entre las barras, pérdidas en las líneas de transmisión. Adicionalmente, se incluyen factores y ecuaciones matemáticas para enfrentar la variabilidad del viento. Se presenta un caso de estudio didáctico para explicar la estructura propuesta.

Palabras clave—Despacho económico, Programación lineal, Sistemas eléctricos de potencia, Generación distribuida, Energías renovables.

Abstract—The linear programming model of operation (LPO) considers from energy supply to final customer. In resolving the LPO of an electrical power system (EPS), the goal is to find the optimal allocation or economic dispatch (ED) of output power among the conventional generation technologies and and renewable power generation (specifically wind) to meet system load at a minimum operational cost. In the proposed model, it has been used using a deterministic-linear approach with mathematical expressions that use variables such as: status operation of generation units as a function of time, power dispatch from wind and conventional units, electricity deficit, power transfer between the bars, losses in the transmission lines. Additionally, factors and mathematical equations are included to deal with the wind variability. A didactic case study is presented to explain the proposed structure.

Keywords—Economic Dispatch, Linear Programming, Electrical Power Systems, Distributed Generation, Renewable Energy.

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales como el viento se consideran fundamentales para la producción de energía y en la actualidad es esencial para la operación en los SEP (Lopes *et al.*, 2007). Las fuentes de energías renovables han mostrado una creciente participación en el sector eléctrico en los últimos años (Romero *et al.*, 2012). De acuerdo con Energy Information Administration, se proyecta un aumento de casi el 50% en el uso mundial de energía para 2050, liderado por el crecimiento en Asia (ari kahan, 2020). Por lo tanto, la planificación y desarrollo de los recursos naturales han llamado la atención en los últimos años (Sharpley, 2000).

En los SEP el objetivo principal es brindar seguridad, reducción de costos operacionales, confiabilidad y calidad del servicio eléctrico. Una forma de lograr este objetivo es implementar la Generación Distribuida (GD), que se define como generación de energía eléctrica a pequeña escala, insta-

lada cerca de las poblaciones consumidoras de energía, para poder reducir pérdidas en la red debido a la transmisión y distribución de la energía eléctrica y por otra parte contar con una variedad de opciones de generación, enfatizando en la diversificación de fuentes de energía, incluyendo principalmente las fuentes renovables (Zhu *et al.*, 2008; Ackermann *et al.*, 2001). Además, debido a la intermitencia en la generación con fuentes renovables, se debe contar con tecnologías de almacenamiento de energía para acumular el excedente de generación en horas de bajo consumo y luego inyectar esta energía de respaldo a la red en horas de consumo de hora punta (Suberu *et al.*, 2014). Todo esto para satisfacer la demanda en función del nivel de consumo (Ibitoye y Adenikinju, 2007), es decir generar solamente lo necesario, lo que mejora la calidad de suministro, reduce pérdidas, reduce los gases de efecto invernadero (GEI) ya que prioriza la energía proveniente de fuentes renovables, y en consecuencia eleva

la eficiencia energética de los SEPs. (Lorente de la Rubia, 2011)

Para la integración de la GD en los segmentos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se han desarrollado modelos matemáticos de programación lineal para determinar el despacho económico (DE), cuyo fin es asignar de manera óptima la salida de potencia de uno o varios sistemas de generación disponibles a la carga (demanda) (Zheng *et al.*, 2015). Una vez más entran aquí, al igual que en la GD, las energías convencionales y las energías renovables, siendo éstas últimas las que tienen más prioridad (Hetzer *et al.*, 2008).

Por otro lado, las energías renovables, presentan la ventaja de producir energía sin emisiones de CO_2 , por lo que son una alternativa eficiente para descarbonizar el sector eléctrico (Goldemberg, 2012; Joskow, 2020). Además, permiten el desarrollo armónico entre los sectores energético, económico y ambiental, algo que es una responsabilidad inevitable para la sociedad moderna (Maheshwari *et al.*, 2013).

En cuanto al desarrollo tecnológico de generación de las energías renovables destaca la energía eólica. A nivel mundial en el año 2019 la capacidad de generación con energía eólica instalada fue alrededor de 650GW (Sun *et al.*, 2020). Sin embargo, como se mencionó anteriormente uno de sus inconvenientes es la intermitencia en cuanto a la generación, debido a la dificultad en la predicción de la disponibilidad de los recursos naturales. Por esta razón, aún se utilizan sistemas de generación tradicionales que permiten satisfacer la demanda, sobre todo en horas punta. Es así que los modelos de DE son clave, ya que analizan las condiciones operacionales del sistema para presentar una propuesta de los sistemas de generación y poder solventar la demanda necesaria en un instante dado, tomando en cuenta aquellos que presentan un bajo costo operacional para proveer el suministro eléctrico, lo que facilita la toma de decisiones. Claro que la generación necesaria en función de la demanda no es la única solución para elevar la eficiencia del sistema, también se pueden implementar medidas para reducir la demanda, aplanando la curva de consumo, reduciendo el consumo en horas punta: utilizando técnicas de mercadeo de energía, aplicando discriminación horaria; campañas para mejorar los hábitos de consumo de los usuarios; instalar equipos como medidores inteligentes que permitan conocer el consumo de los usuarios en tiempo real, gestionándolo de manera bidireccional; reemplazando elementos antiguos con tecnología actual más eficiente, entre otras (Sun *et al.*, 2020; Sovacool, 2009).

Referente al modelo PLO, para determinar el DE se analizan algunas variables relacionadas a la secuencia de operaciones de las centrales de generación y valores de los recursos disponibles, de manera que los costos de producción de energía eléctrica de todas las unidades de generación sean minimizados, presentando así las mejores opciones para satisfacer la demanda en un instante dado, lo que facilita la toma de decisiones en la central de operaciones (Cui y Yan, 2012).

En este contexto, este documento propone un modelo operacional horario de un sistema eléctrico de potencia utilizando un enfoque determinista-lineal. Las variables de decisión en el modelo incluyen el despacho económico óptimo, transmisión energética óptima, considerado como un modelo de transporte de energía. El modelo propuesto considera distin-

tas tecnologías de generación, recursos disponibles de fuentes renovables y una demanda esperada. Las principales contribuciones de este trabajo son:

- Despacho económico óptimo considerando fuentes de generación eólica.
- Cumplimiento de la demanda esperada del sistema.
- Transferencia de potencia entre las barras.
- Pérdidas en las líneas de transmisión del sistema eléctrico de potencia

El documento está organizado de la siguiente manera: La formulación propuesta del modelo PLO se describe en las Secciones Materiales y Métodos. La Sección de los Experimentos Computacionales se describe la aplicación del modelo PLO propuesto a un sistema de tres nodos. Finalmente, la Sección de Resultados presenta los resultados de la aplicación del modelo de PLO al sistema de electricidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Nomenclatura

Índices y conjuntos

- t Horas de operación
- l Líneas de transmisión operativas
- l Horas de operación
- z Zonas de las plantas de generación eléctrica
- A^{Ele} Conjunto de zonas de generación eólica
- G Conjunto de unidades de generación eléctrica.
- L_{tc} Conjunto de líneas de transmisión eléctrica

Parámetros

- σ_l^E Pérdidas porcentuales de línea l
- D_t Demanda eléctrica en el tiempo t
- G_g^{max} Potencia máxima del generador g
- G_g^{min} Potencia mínima del generador g
- R_g^{up} Rampa de subida del generador g
- R_g^{dw} Rampa de bajada del generador g
- C_g Costo variable de generación eléctrica de la unidad g
- C_z^W Capacidad de potencia máxima de la unidad eólica w
- C_e^{uns} Costo de carga eléctrica no servida en las zonas z
- G_t^W Disponibilidad de energía eólica del aerogenerador w en el tiempo t

Variables

- $I_{g,t}$ Estado de operación de la unidad de generación g en el tiempo t
- $G_{g,t}$ Despacho de potencia de la unidad g
- $G_{w,t}^W$ Despacho de potencia de centrales eólicas en zona de carga w
- $G_{w,t}^{W,L}$ Energía eólica reducida en zona de carga w
- $f_{z,t}^E$ Flujo de energía entre zonas z a z'
- $d_{z,t}^E$ Déficit eléctrico (corte de carga) en la zona z

Formulación matemática de la operación horaria del sistema eléctrico de potencia

Costo operacional

Con el fin de minimizar el costo operacional de un sistema eléctrico, el modelo puede ser representado como:

$$\min_G = \sum_{t \in T} \sum_{g \in G} \left[\left(G_{g,t} C_g + \sum_{z \in A^{Ele}} C_e^{uns} d_{z,t}^E \right) \right] \quad (1)$$

El primer término corresponde al costo de generación de cada una de las unidades y el segundo término representa el costo de la energía no aprovechada.

Restricción de despacho eléctrico

La ecuación de balance entre la oferta y la demanda de energía se presenta en la ecuación (2)

$$\sum_{g \in G_z} G_{g,t} + \sum_{z' \in V_z} \left(\sigma_l^E f_{z,t}^E - f_{z,t}^E \right) + d_{z,t}^E = D_t - G_{w,t}^W \quad z \in A^{Ele} \quad (2)$$

Restricciones adicionales que incluyen en el modelo: (3) establece la potencia máxima y mínima de las unidades de generación con la reserva de las máquinas, disponibilidad de generación renovable (4),(5) restricciones de rampa (6),(7) y restricciones de potencia utilizando un modelo de transporte de red (8). Las siguientes restricciones se aplican para todo $t \in T$ y $g \in G$.

$$G_g^{min} I_{g,t} \leq G_{g,t} \leq G_g^{max} I_{g,t} \quad (3)$$

$$G_{w,t}^W \leq G_t^W C_w^W \quad z \in A^{Ele} \quad (4)$$

$$G_{w,t}^{W,L} = G_t^W C_w^W - G_{w,t}^W \quad z \in A^{Ele} \quad (5)$$

$$G_{g,t} - G_{g,t-1} \leq R_g^{up} I_{g,t} \quad (6)$$

$$G_{g,t-1} - G_{g,t} \leq R_g^{dw} I_{g,t} \quad (7)$$

$$f_{z,t}^E \leq \sum_{l \in L_{tc}} (\bar{F}_l^E(z, z')) \quad (8)$$

Algunas características técnico-económicas de las unidades convencionales y sus áreas conectadas se muestra en las Tabla 1 y 2. (Soroudi, 2017).

Tabla 1: Características de operación de tecnologías de generación.

Barras	Nombre	Min [MW]	Max [MW]
A	Hidroeléctrica	28	200
B	Gas	20	290
C	Carbón	30	190

Tabla 2: Características de operación de interconexión del sistema eléctrico de potencia

Nombres líneas	Barras (Zonas)		Capacidad [MW]
	Desde	Hacia	
Línea L1	A	B	400
Línea L2	A	C	400
Línea L2	C	B	400

Es importante mencionar que en la programación algorítmica se consideran características operacionales de las distintas tecnologías conectadas en el SEP. Por ejemplo, las restricciones de capacidad de rampa de las unidades eléctricas se toman en cuenta en condición de operación normal (Svoboda *et al.*, 1997). En relación a la operación de la unidad eólica, representada por las ecuaciones (4) y (5) corresponden a la cantidad de energía eólica disponible y el rango de potencia mínima y máxima que puede producir la central eólica, considerando los parámetros de capacidad y disponibilidad de viento (Larrahondo *et al.*, 2021).

Experimentos Computacionales

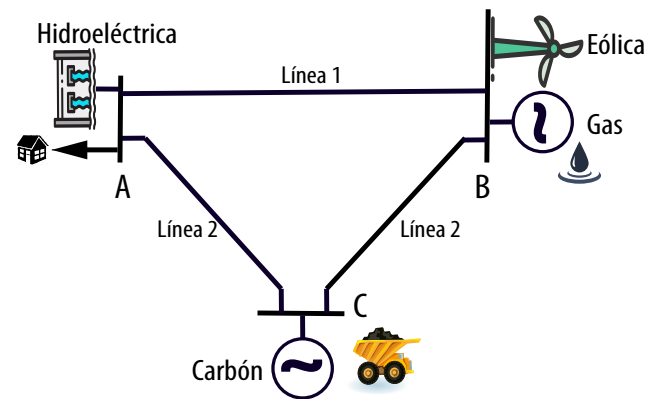


Fig. 1: Sistema eléctrico de 3 barras

El modelo propuesto se prueba en un sistema simple de 3 barras, como se ilustra en la Figura 1. Las centrales de generación suministran energía a cada una de las demandas que se encuentran en cada barra A, B y C. El modelo considera operación horaria, donde se analiza en un periodo de 24 horas. En la Figura 2. se muestra el perfil de 24 escenarios correspondientes a la demanda de energía eléctrica (Soroudi, 2017). Los experimentos computacionales se realizaron utilizando un computador MacBook, 16 GB 2400 MHz DDR4, con 2,6 GHz 6-Core Intel Core i7, usando solver Gurobi con el lenguaje y módulos de programación Python-Pyomo.

Para poder abordar el DE considerando la producción eólica, se necesita caracterizar la variabilidad del recurso del

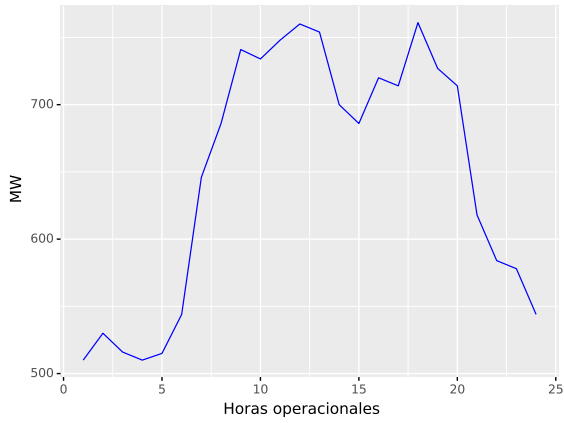


Fig. 2: Demanda esperada por el sistema eléctrico

viento. Algunos trabajos realizados consideran el factor de capacidad de viento, frecuencia de viento, velocidades de viento, entre otros (Liu *et al.*, 2020; Cassola *et al.*, 2008). En este estudio, para modelar la producción eólica se considera el perfil de la disponibilidad de energía eólica del aerogenerador (Larrañondo *et al.*, 2021), como se observa en la Figura 3.

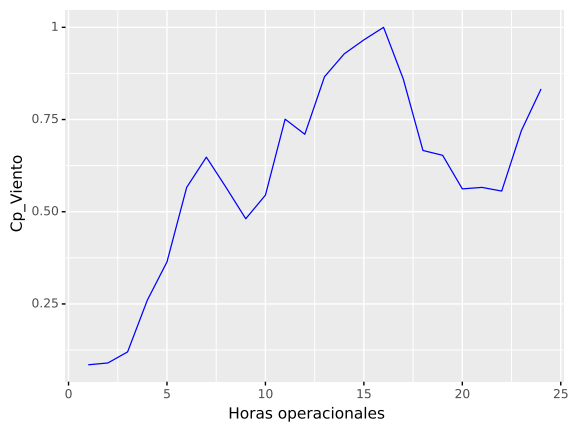


Fig. 3: Perfil de la disponibilidad de energía eólica del aerogenerador

RESULTADOS

Caso de estudio: Sistemas de 3 barras

En la Figura 4, se aprecia la carga neta (perfil de color rojo línea continua) y el perfil de demanda esperada (perfil de color azul línea punteada) del sistema. Además, se observa que se generan rampas pronunciadas tanto de subida como de bajada, este fenómeno operacional se debe a la variabilidad del recurso del viento.

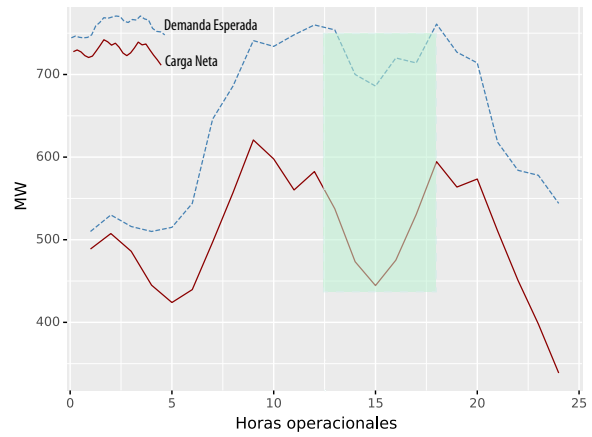


Fig. 4: Carga neta

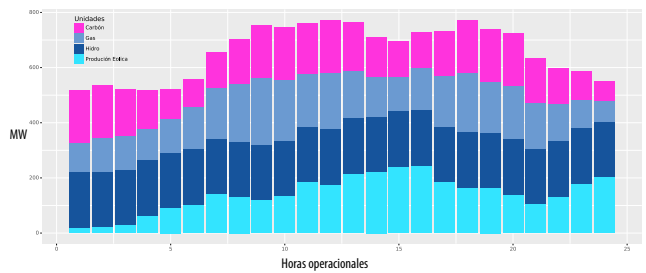


Fig. 5: Partitipación de las unidades eléctricas

En la Figura 5. se muestra la participación de generación de electricidad por tecnología en todas las horas operacionales en el SEP. En particular, se observa que las unidades convencionales operan como plantas de carga base, con una producción de generación mucho más estable, a diferencia de la unidad de generación eólica. El despacho o participación conjunta puede satisfacer las necesidad de la demanda esperada.

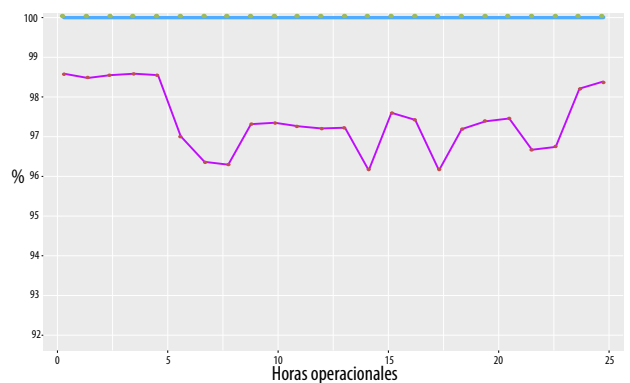


Fig. 6: Pérdidas en las líneas

En la Figura 6. se muestran las pérdidas de línea a lo largo de las horas de operación. Se observa que mientras la demanda sea creciente en períodos específicos, existen pérdidas. Es decir, existe un porcentaje de pérdidas conforme exista un salto en la de demanda y las unidades tienden a operar en su máxima capacidad. Por lo tanto, las capacidad de las líneas se satura, se generan más pérdidas y el costo operacional del sistema aumenta significativamente.

Tabla 3: Energía por tecnología.

Nombre	[kWh]
Hidroeléctrica	4,8
Gas	3,8
Carbón	3,7

DISCUSIÓN

Muchos modelos han sido propuestos para enfrentar la variabilidad de producción energética del aerogenerador, basados en criterios estocásticos (Chen *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2014; Jordehi *et al.*, 2022; Loukatou *et al.*, 2018; Aliari y Haghani, 2016). Algunos de ellos modelan la variabilidad del viento combinando con unidades térmicas y sistemas de bombeo hidráulico (Vespucci *et al.*, 2012; Pappala *et al.*, 2009). Particularmente, en (Chowdhury *et al.*, 2011) modelan sistemas de almacenamiento de energía, lo que se hace es guardar energía para luego aprovechar en operaciones de contingencia (por ejemplo generación de rampas en la demanda). Por el contrario, en Bitaraf y Rahman (2017) introducen un análisis de la respuesta a la demanda, es decir, servicio de flexibilidad de la demanda. El modelo de PLO para establecer el DE y hacer frente a la variabilidad del recurso de viento, se centra en el segmento de generación por medio de la capacidad de rampa de las unidades convencionales y es representado por las ecuaciones matemáticas (6) y (7). Estas ecuaciones aseguran que las rampas que se generen en la demanda sean tomadas en todas las horas de operación. Por ejemplo, en la zona sombreada de color verde específicamente entre la hora 13 y 15 existe un decrecimiento de 754 a 686 MW en la demanda esperada (perfil de color azul línea punteada). Mientras que, en la carga neta (perfil de color rojo línea continua) en ese mismo periodo el salto es 537,5 a 444,5 MW como se observa en la Figura 5. En el primer caso la rampa tiene un decrecimiento de 9,91 % y para el segundo es de 20,92 %. Esto significa que, mientras exista mayor porcentaje o cuotas de integración de generación distribuida (energías renovable) al SEP, como las unidades eólicas, las rampas son mayores y más frecuentes.

Adicionalmente, los clásicos factores de un modelo de DE, las unidades eólicas se consideran como demanda o carga al sistema por lo que la generación distribuida (unidades eólicas) se conecta a la red de distribución y no al segmento de generación (Tyagi, 2015). Esto se plantea en la ecuación (2) de oferta y demanda que se describe previamente. En este marco, en la Figura 4, se puede observar la carga neta obtenida entre la diferencia de la demanda esperada y el perfil de la disponibilidad de energía eólica del aerogenerador. Por ejemplo, en la hora 15 se puede observar que se necesita satisfacer cerca de 444,5 MW de potencia en la carga neta; no obstante, en la misma hora, en la Figura 5, que muestra la participación de la unidades eléctricas existe un despacho de 695 MW. La diferencia 695-444,5 MW es precisamente la potencia que aporta la unidad eólica.

Así mismo, en la Figura 5, se observa, cada unidad de generación tiene distinto despacho de potencia, se debe principalmente a la capacidad de rampa y su máxima capacidad de potencia. En relación a la capacidad de rampa, se puede caracterizar operacionalmente por el tiempo de encendido-

apagado y condición de operación normal (Svoboda *et al.*, 1997). Este último, se ha considerado en función de la capacidad instalada de 200, 290 y 190 MW para las centrales Hidroeléctrica, Gas y Carbón, respectivamente. En este sentido, la energía entregada por tecnología es de 4.8, 3.8, 3.7 kWh como se muestra en la Tabla 3. Esto señala que existe un mayor aporte de la unidad hidroeléctrica, debido que su capacidad de rampa es superior frente a las otras unidades disponibles. Por lo tanto, el rol operacional de esta unidad es cíclico y el resto de unidades proporcionan energía de carga base. Esto muestra, la importancia de tener capacidad de rampa en las centrales convencionales.

La transferencia de potencia entre las líneas se puede caracterizar con el análisis de flujo corriente directa (DC) como lo realizan en Arboleña *et al.* (2012). Al contrario, Trodden *et al.* (2013) desarrolla una aproximación lineal por partes de flujo corriente alterna (AC). Este documento lo plantea por medio de flujo de potencia utilizando un modelo de transporte de red; en otras palabras, cuánta potencia es transportada desde la barra A hasta la barra B, de B a C y C a A y es representada en la expresión matemática (2) en el segundo término del lado izquierdo. En tal sentido, en un estado de operación normal el sistema operaría con una eficiencia del 100 %. Sin embargo, los resultados muestran una pérdida total en las líneas de 2,65 % en todo el horizonte de operación. Esto se justifica por las pérdidas porcentuales en la líneas es de 0,98 %.

CONCLUSIONES

El modelo operacional propuesto permite el despacho económico de un SEP, las distintas tecnologías de generación eléctrica participan en la cobertura de la demanda de manera óptima en todas las horas de operación del SEP, incluyendo la central eólica cuya fuente de generación es intermitente, además, se cumple con las restricciones de despacho eléctrico a un mínimo costo. Respecto a la generación con energías convencionales y renovables, se puede observar en la Figura 5, que las primeras unidades que participan su operación es de carga base (unidades de carbón y gas) y cíclica (hidráulica) a diferencia de la unidad eólica, esto debido a la intermitencia en cuanto al recurso eólico (dirección, velocidad, densidad, presión, temperatura de viento), por lo que una alternativa para reducir esta desventaja podría ser aprovechar la energía eólica en horas de demanda valle (horas de baja demanda) para generar energía que se pueda almacenar mediante tecnologías como los sistemas de aire comprimido, sistemas de hidrógeno, baterías de flujo, con el objetivo de que, en horas de alta demanda, se pueda conectar la energía almacenada a la red y cubrir las horas punta.

Finalmente, dada la variabilidad del viento y los efectos operacionales que causan principalmente en la carga neta los SEP deben ser lo suficientemente flexibles para integrar una mayor cuota de energías renovables. Por lo tanto, es importante que las unidades convencionales entreguen flexibilidad al SEP.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja

por el espacio brindado para la elaboración de este documento.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Juan Chunchu-Morocho: JCM. Raúl Chavez-Romero: RCR. Fernando Ramírez Cabrera: FRC.

FINANCIAMIENTO

El presente trabajo no contó con ninguna fuente de financiamiento formal.

REFERENCIAS

- Ackermann, T., Andersson, G., y Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric power systems research*, 57(3), 195–204.
- Aliari, Y., y Haghani, A. (2016). Planning for integration of wind power capacity in power generation using stochastic optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 907–919.
- Arbolea, P., Diaz, G., y Coto, M. (2012). Unified ac/dc power flow for traction systems: A new concept. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 61(6), 2421–2430.
- ari kahan. (2020). *International energy outlook 2021 (ieo2021)* (Inf. Téc.). www.eia.gov.
- Bitaraf, H., y Rahman, S. (2017). Reducing curtailed wind energy through energy storage and demand response. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(1), 228–236.
- Cassola, F., Burlando, M., Antonelli, M., y Ratto, C. F. (2008). Optimization of the regional spatial distribution of wind power plants to minimize the variability of wind energy input into power supply systems. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(12), 3099–3116.
- Chen, P., Siano, P., Bak-Jensen, B., y Chen, Z. (2010). Stochastic optimization of wind turbine power factor using stochastic model of wind power. *IEEE transactions on Sustainable Energy*, 1(1), 19–29.
- Chowdhury, M. M., Haque, M. E., Aktarujjaman, M., Negenyitsky, M., y Gargoom, A. (2011). Grid integration impacts and energy storage systems for wind energy applications—a review. En *2011 IEEE power and energy society general meeting* (pp. 1–8).
- Cui, X., y Yan, Y. (2012). Economic dispatching problem with group and resource considerations. En *2012 24th chinese control and decision conference (ccdc)* (pp. 4114–4117).
- Goldemberg, J. (2012). The case for renewable energies. En *Renewable energy* (pp. 31–42). Routledge.
- Hetzer, J., David, C. Y., y Bhattarai, K. (2008). An economic dispatch model incorporating wind power. *IEEE Transactions on energy conversion*, 23(2), 603–611.
- Ibitoye, F. I., y Adenikinju, A. (2007). Future demand for electricity in nigeria. *Applied Energy*, 84(5), 492–504.
- Jordehi, A. R., Tabar, V. S., y Jirdehi, M. A. (2022). A two-stage stochastic model for security-constrained market clearing with wind power plants, storage systems and elastic demands. *Journal of Energy Storage*, 51, 104550.
- Joskow, P. L. (2020). Transmission capacity expansion is needed to decarbonize the electricity sector efficiently. *Joule*, 4(1), 1–3.
- Larrahondo, D., Moreno, R., Chamorro, H. R., y Gonzalez-Longatt, F. (2021). Comparative performance of multi-period acopf and multi-period dcopf under high integration of wind power. *Energies*, 14(15), 4540.
- Liu, L., Wang, Z., Wang, Y., Wang, J., Chang, R., He, G., ... others (2020). Optimizing wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in china. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110151.
- Lopes, J. P., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., y Jenkins, N. (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities. *Electric power systems research*, 77(9), 1189–1203.
- Lorente de la Rubia, J. (2011). *Estudio sobre el estado actual de las "smart grids"* (B.S. thesis).
- Loukatou, A., Howell, S., Johnson, P., y Duck, P. (2018). Stochastic wind speed modelling for estimation of expected wind power output. *Applied energy*, 228, 1328–1340.
- Maheshwari, N., Chandrasekaran, M., y Babu, R. D. (2013). Optimization of electrical power using solar and wind energy systems. En *2013 7th international conference on intelligent systems and control (isco)* (pp. 172–175).
- Pappala, V. S., Erlich, I., Rohrig, K., y Dobschinski, J. (2009). A stochastic model for the optimal operation of a wind-thermal power system. *IEEE transactions on Power Systems*, 24(2), 940–950.
- Romero, S. R., Santos, A. C., y Gil, M. A. C. (2012). Eu plans for renewable energy. an application to the spanish case. *Renewable Energy*, 43, 322–330.
- Sharpley, R. (2000). Tourism and sustainable development: Exploring the theoretical divide. *Journal of Sustainable tourism*, 8(1), 1–19.
- Soroudi, A. (2017). *Power system optimization modeling in games* (Vol. 78). Springer.
- Sovacool, B. K. (2009). The intermittency of wind, solar, and renewable electricity generators: Technical barrier or rhetorical excuse? *Utilities Policy*, 17(3-4), 288–296.
- Suberu, M. Y., Mustafa, M. W., y Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 499–514.
- Sun, D., Li, X., Yang, S., Zhao, L., Wang, Y., Yang, B., ... Sun, Y. (2020). Integrated generation-grid-load economic dispatch considering demand response. En *2020 IEEE/IAS industrial and commercial power system asia (i&cps asia)* (pp. 375–379).
- Svoboda, A. J., Tseng, C.-L., Li, C.-a., y Johnson, R. B. (1997). Short-term resource scheduling with ramp constraints [power generation scheduling]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12(1), 77–83.
- Trodden, P. A., Bukhsh, W. A., Grothey, A., y McKinnon, K. I. (2013). Optimization-based islanding of power networks using piecewise linear ac power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(3), 1212–1220.

- Tyagi, R. (2015). *Integrating renewables in electricity markets*. JSTOR.
- Vespucci, M. T., Maggioni, F., Bertocchi, M. I., y Innorta, M. (2012). A stochastic model for the daily coordination of pumped storage hydro plants and wind power plants. *Annals of operations research*, 193(1), 91–105.
- Wu, W., Wang, K., Li, G., y Hu, Y. (2014). A stochastic model for power system transient stability with wind power. En *2014 IEEE PES General Meeting Conference & Exposition* (pp. 1–5).
- Zheng, W., Wu, W., Zhang, B., Li, Z., y Liu, Y. (2015). Fully distributed multi-area economic dispatch method for active distribution networks. *IET generation, transmission & distribution*, 9(12), 1341–1351.
- Zhu, J., Xiong, X., Lou, S., Liu, M., Yin, Z., Sun, B., y Lin, C. (2008). Two stage approach for economic power dispatch. En *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century* (pp. 1–5).

Optimización de sistemas fotovoltaicos para la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano

Optimization of photovoltaic systems for the Yuwints community in eastern Ecuador

Iván Coronel^{1,*}, Julio Gómez¹ y Cristian Ortega²

¹ Carrera de Electromecánica, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, ivan.coronel@unl.edu.ec, julio.r.gomez@unl.edu.ec, cristian.ortega@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: ivan.coronel@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 22/09/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 27/11/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—El acceso a la electricidad para las comunidades aisladas del oriente de la república del Ecuador se ha vuelto un hito, por lo que las entidades gubernamentales buscan alternativas para su electrificación siendo la más viable la electrificación mediante SFV, es por ello que las empresas de distribución de energía eléctrica entre ellas la CENTROSUR con el programa Yantsa li Etsari que significa luz de nuestro sol, han realizado proyectos de electrificación mediante SFV aislados a diferentes comunidades de su área de concesión, estos sistemas sirven como base de análisis y de referencia por lo que se ha tomado como caso de estudio a la comunidad rural de Yuwints en el oriente ecuatoriano. La investigación contempla un estudio de la demanda de energía eléctrica de las viviendas de la comunidad en base a una encuesta realizada in-situ. La tabulación de la encuesta muestra la información energética, la distribución geográfica de las viviendas y otros resultados como la topología del lugar que lleva a agrupar (clusters) a las viviendas en cinco grupos. El algoritmo usa la herramienta de optimización lineal entera (LIP, por sus siglas en inglés) que incluye datos de demanda de energía y ubicación. A cada grupo como resultado de la optimización se halla el centro de masa y caída de tensión, ubicando de esta manera el lugar de emplazamiento de las Microrredes, en el caso que el algoritmo no realice alguna agrupación significa que la vivienda debe ser energizada por un sistema individual o puede mantener el existente.

Palabras clave—Sistemas fotovoltaicos, Microrredes, Optimización, Demanda de energía.

Abstract—Access to electricity for isolated communities in the east of the Republic of Ecuador has become a milestone, so government entities are looking for alternatives for electrification being the most viable electrification through SFV, which is why electricity distribution companies including CENTROSUR with the Yantsa li Etsari program that means light of our sun, have developed electrification projects by means of isolated SFV too some communities far from their concession areas. These systems serve as a basis for analysis and reference, which is why the rural community of Yuwints in eastern Ecuador has been taken as a case study. The research includes a study of the demand for electricity in the community's homes based on an on-site survey. The tabulation of the survey shows the energy information, the geographic distribution of the houses and other results such as the topology of the site that leads to (clusters) grouping the houses in five groups. The algorithm uses the linear integer optimization (LIP) tool that includes energy demand and location data. As a result of the optimization, the center of mass and voltage drop is found for each cluster, thus locating the location of the microgrids. If the algorithm does not perform any clustering, it means that the house must be energized by an individual system or it can keep the existing one.

Keywords—Photovoltaic systems, Microgrids, Optimization, Energy demand.

INTRODUCCIÓN

El continuo avance tecnológico ha permitido la masificación del uso de la electricidad en diversas áreas, una de ellas es la domiciliaria, la cual se emplea en diversos artefactos eléctricos (Tabla 1), los mismos que han permitido mejorar la calidad de vida de las personas (Dolors, 2019). La cobertura eléctrica en el Ecuador pasó de 94,2 % en 2009 a 97,1 % en 2019, lo que representa un aumento de 3,1 % en el 2020, la energía eléctrica proveniente de otras fuentes renovables ha presentando un incremento de 1,3 % (MEM, 2020).

Para mejorar la cobertura eléctrica, la ampliación de la red nacional ha sido la principal estrategia para proporcionar acceso a la electricidad pero, en zonas con topografía irregulares, accidentadas con comunidades o centros de población remotos, la expansión de la red de distribución nacional puede resultar inviable (AIE, 2017); La industrialización masiva, además de ser un motor de las economías globalizadas, constituye una amenaza para el ecosistema debido a la emisión de gases de efecto invernadero (Bárcena *et al.*, s.f.). Entre los efectos de los gases invernadero, se encuentra el aumento de

la temperatura en la Tierra (Andrade *et al.*, s.f.), ocasionado por algunos gases como el CO_2 . Por lo tanto, se consideran diferentes alternativas tecnológicas para la generación de energía eléctrica que permitan disminuir estas emisiones y utilizar los recursos energéticos renovables (G de Brito *et al.*, 2012).

Entre las fuentes alternativas, la energía fotovoltaica se considera actualmente como la fuente de energía natural más útil, ya que es libre, abundante, limpia, distribuida sobre la Tierra y participa como un factor primario de todos los procesos de producción de energía en la Tierra, (Dursun y Aykut, 2019).

En el Ecuador las comunidades de la región amazónica presentan un desafío al acceso de la energía eléctrica actual ya que se encuentran dispersas en la selva lo que conlleva que la electrificación con la red eléctrica pública convencional sea inviable por los altos costos y la topología remota de las comunidades (Domenech *et al.*, 2022). El estudio parte del análisis de energía eléctrica de la comunidad rural de Yuwints en el oriente ecuatoriano, la comunidad se encuentra electrificada mediante sistemas fotovoltaicos fijo (SFV), el cual está conformado por dos paneles fotovoltaicos, una batería que cumplen la función de almacenar y suministrar la electricidad hacia cada vivienda a través de un inversor para corriente alterna (Flores, 2015). Por lo tanto, la motivación de este estudio es mejorar el sistema, para ello se plantea optimizar la captación fotovoltaica realizando la agrupación de las viviendas que posean características similares de demanda energética.

Los datos solares utilizados en el estudio se tomaron del atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) para el año 2020 (Scinergy, 2020).

Ubicación y electrificación de la comunidad de Yuwints.

La comunidad de Yuwints se encuentra en la provincia de Morona Santiago perteneciente al cantón Taisha, parroquia Macuma, la vía de acceso a la comunidad es a pie o por medio de avioneta. Yuwints se encuentra a una latitud de -2.165159° y longitud de -77.577592° a 16 km de la parroquia de Macuma, en la figura 1 se muestra la ubicación de la comunidad.



Fig. 1: Colocalización de la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano. (Earth, 2022; GAD, 2022).

El suministro de energía eléctrica de Yuwints es mediante paneles fotovoltaicos fijos instalados por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur (CENTROSUR), la comunidad está conformada por treinta y cuatro viviendas, una pista de avioneta, una escuela, un subcentro de salud y una cancha de uso múltiple para la práctica de deporte (Agustín y Apolo, 2017). La figura 2 muestra un mapa con la ubicación de la comunidad de Yuwints, el área de concesión de la CENTROSUR y los diferentes proyectos fotovoltaicos autónomos instalados por la Centrosur en la Amazonía ecuatoriana.



Fig. 2: Localización de la comunidad de Yuwints en el oriente ecuatoriano (CENTROSUR, 2020)

El programa de electrificación mediante SFV, implementados en las comunidades aisladas de la red eléctrica pública en el oriente ecuatoriano y en el área de concesión de la CENTROSUR, parte de los recursos provenientes del estado fondo de electrificación rural y urbano marginal (FERUM) (CONELEC, 2009) y es de responsabilidad de la empresa Centrosur la formulación, ejecución y operación de los proyectos (Greene y Mendoza, 2020). Los beneficiarios de este proyecto fueron directamente los habitantes de las comunidades entre ellas Yuwints y su uso es básicamente residencial pero el programa abarca también casas comunales, escuelas y centros de salud (Flores, 2015).

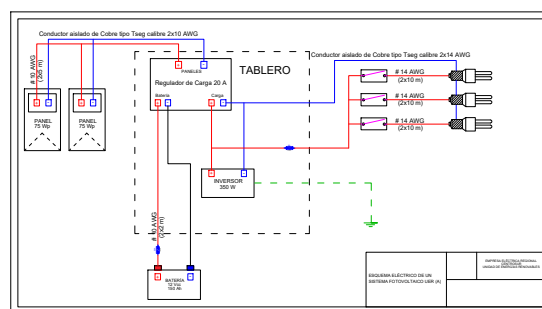


Fig. 3: Diagrama del circuito básico del SFV del programa Yantsa li Etsari (Quituisaca, 2015)

Los SFV son unifamiliares y pueden brindar el servicio de iluminación y consumo de un artefacto menor por un período de 3 a 4 días aún en ausencia de radiación solar, la figura 3 muestra el diagrama del circuito básico implementado en el programa Yantsa li Etsari implementado por la Centrosur (Quituisaca, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de este estudio consiste en recopilar información de las necesidades de energía eléctrica actual de cada vivienda de la comunidad Yuwints, mediante la aplicación de una encuesta in situ. Con esta información se realiza un programa de optimización en el software de MATLAB, usando programación lineal entera con la finalidad de agrupar a las viviendas que poseen características similares tanto en demanda de energía y considerando la distancia. Con los resultados de la optimización se realiza el cálculo de la ubicación de los SFV para las viviendas seleccionadas.

Con la ubicación del sitio de emplazamiento de los SFV seleccionados por el programa de optimización, se realiza el cálculo de la caída de tensión (%DV), desde el SFV hasta cada una de las viviendas, mismas que no deben sobrepasar el 5% según la National Electric Code (NEC); (Holt, 2020). La figura 4 muestra un diagrama de flujo del algoritmo de optimización realizado.

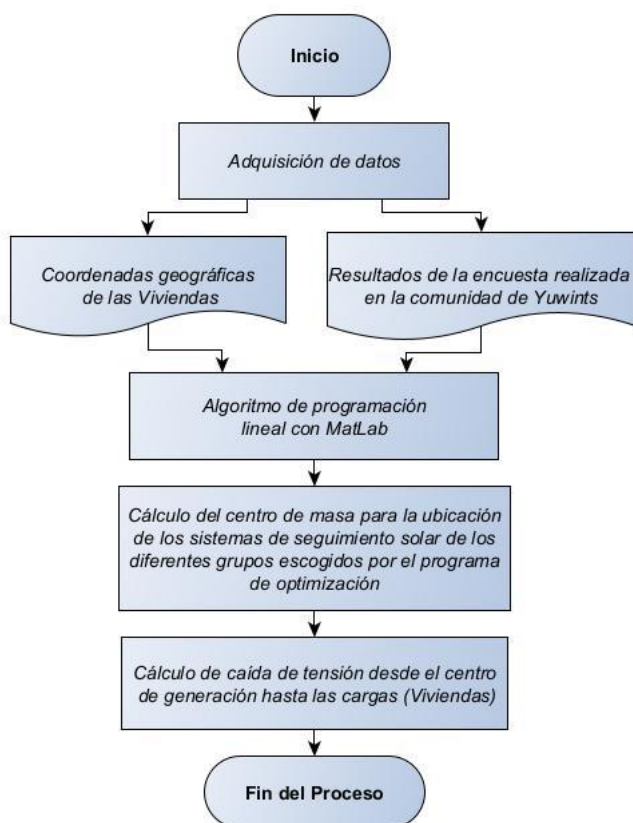


Fig. 4: Diagrama de flujo del algoritmo de optimización. Fuente: Autor.

La programación lineal con sus siglas en inglés (LP) constituye un gran campo de la optimización, ya que muchos de los problemas de investigación se los puede resolver o planear con LP.

Las técnicas de optimización se usan para encontrar un conjunto de parámetros de diseño que de alguna manera pueden ser definidos como óptimos (Ploskas y Samaras, 2017). Cuando las funciones del objetivo y la restricción son todos afines, el problema es resuelto mediante técnicas de LP. El objetivo de la optimización es el de encontrar la mejor solución frente a las múltiples soluciones.

- La función objetivo es la siguiente:

$$Z_{\max} = X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

- Sujeto a la restricción:

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n \leq 600$$

En el optimization toolbox de MATLAB se encuentran disponibles varias funciones de optimización, para este caso se hizo uso de Intlinprog que utiliza una estrategia básica para resolver programas lineales de enteros mixtos. Intlinprog puede resolver el problema en cualquiera de las etapas. Si resuelve el problema en una etapa, intlinprog no ejecuta las etapas posteriores (Ploskas y Samaras, 2017).

1. Reduce el tamaño del problema mediante el preprocesamiento de programación lineal.
2. Resuelve el problema inicial relajado (no entero) utilizando la programación lineal.
3. Realiza el preprocesamiento del programa Mixed-Integer para ajustar la relajación LP del problema de entero mixto.
4. Trata de cortar la generación para aumentar aún más la relajación LP del problema de números enteros mixtos.
5. Intenta encontrar soluciones enteras viables usando heurística.
6. Utiliza un algoritmo Branch and Bound para buscar sistemáticamente la solución óptima. Este algoritmo resuelve relajaciones LP con rangos restringidos de valores posibles de las variables enteras. Intenta generar una secuencia de límites actualizados sobre el valor objetivo óptimo de la función.

La figura 5 muestra la distribución de las viviendas de la comunidad con su respectiva identificación, para la aplicación del algoritmo de optimización, se realiza agrupaciones de las viviendas en grupos, esta agrupación se realiza por la ubicación geográfica de cada vivienda para tomar una adecuada selección de las mismas en base a la optimización realizada en el programa. A continuación, la figura 5 indica la agrupación realizada para los distintos grupos de la comunidad para la aplicación del algoritmo.

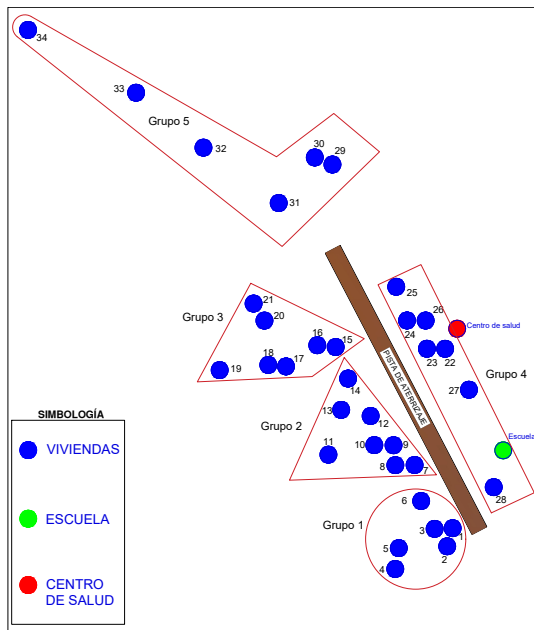


Fig. 5: Distribución de las viviendas en base a las coordenadas geográficas y distribución de los grupos para la aplicación del programa de optimización. Fuente: Autor.

Para abordar el problema de la agrupación, se realiza un menú en el programa de optimización realizado, el cual permite seleccionar un grupo para optimizarlo, el flujoograma del algoritmo con el menú se muestra en la figura 6.

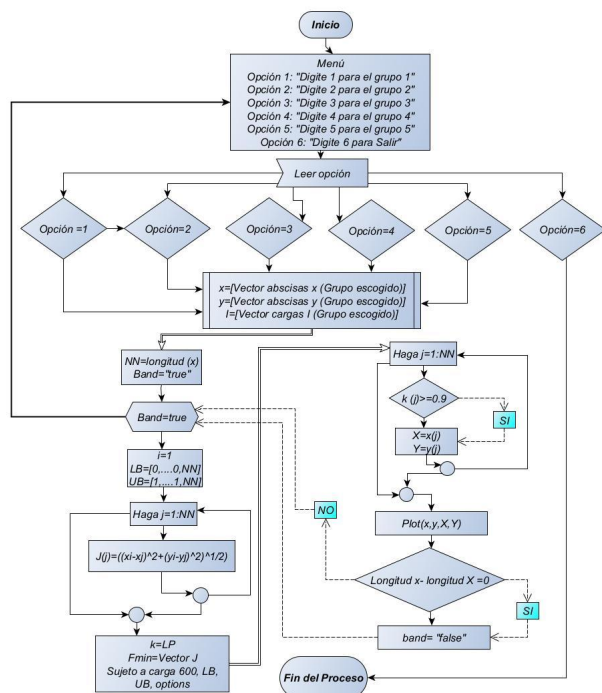


Fig. 6: Flujoograma del algoritmo realizado en MATLAB para la optimización. Fuente: Autor.

La %DV viene determinada por la ecuación 1 (Julián Rodríguez et al., 2014) La ecuación que representa la parábola

es:

$$\%DV = \frac{2PL}{S\gamma V} \tag{1}$$

- %DV = caída de tensión máxima admisible en voltios.
- S = sección calculada según el criterio de la caída de tensión máxima admisible en [mm²].
- V = tensión de servicio de la línea.
- γ = conductividad del conductor en [m/Ω.mm²].
- P = potencia activa para la línea prevista en [W].
- L = longitud de la línea en [m].
- La conductividad a 20°C para el cobre es de 56 y para el aluminio de 35 [m/Ω.mm²].

RESULTADOS

De la tabulación de las encuestas se obtiene la curva de carga de la comunidad, la curva está compuesta de cargas tanto de AC y DC, la Figura 7 muestra la curva de carga de la comunidad de Yuwints elaborada en intervalos de 15 minutos, la curva presenta tres picos pronunciados de demanda de energía, en la mañana, en la tarde y un pico más pronunciado en horas de la noche Arrow (1931).

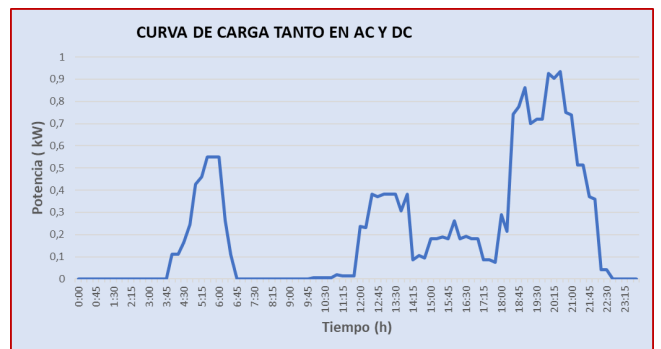


Fig. 7: Curva de carga en AC y DC de la comunidad de Yuwints. Fuente: Autor

Tabla 1: Muestra los artefactos eléctricos de mayor uso identificados en la encuesta realizada a la comunidad.

Artefactos Eléctricos Típicos de la Comunidad		
Item	Descripción	Potencia (W)
1	Lámpara (LFC)	11
2	Radio	10-20
3	Televisión	65-85
4	DVD	15-20
5	Computador	65-150
6	Cargador de teléfono celular	5
7	Teléfono satelital	10

Los datos de mayor interés para este estudio son los datos de la energía diaria que necesita cada vivienda. La Figura 8 muestra la energía necesaria en Wh/día para cada vivienda según la encuesta realizada en la comunidad, la imagen muestra que la vivienda con mayor requerimiento energético presenta una demanda de 362,9 Wh/día, en cambio la vivienda con menor requerimiento energético presenta una demanda de 23,65 Wh/día.

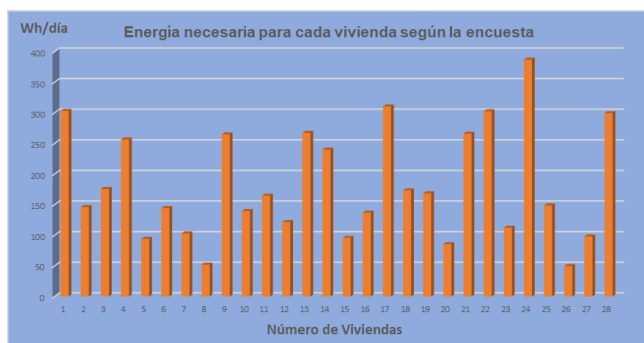


Fig. 8: Energía necesaria para cada vivienda de un día según la encuesta. Fuente: Autor

Al seleccionar en el menú del programa de optimización a un grupo, el programa realiza una selección de las viviendas que se encuentran dentro de las restricciones establecidas dentro del programa y las agrupa. La Figura 9 muestra la primera iteración del programa realizado con la selección en el menú del grupo 2, los círculos de color azul muestran la ubicación de las viviendas y los círculos azules con una x roja representa la agrupación de las viviendas seleccionadas.

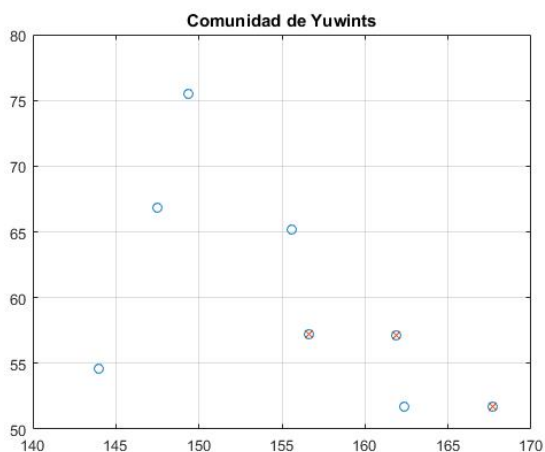


Fig. 9: Primera iteración del programa realizado para el grupo dos en MATLAB, donde se agrupan tres viviendas. Fuente Autor.

Cuando ya se tienen las viviendas seleccionadas mediante el programa de optimización, se realiza la ubicación de los SFV optimizados para cada agrupación, el lugar de emplazamiento se encuentra con la ubicación del centro de masa de las viviendas agrupadas por el programa de MATLAB, con lo que se garantiza una correcta distribución de energía hacia las viviendas respetando el límite de la %DV en corriente alterna establecido por la NEC, la Figura 10 muestra los lugares seleccionados para los SFV optimizados para cada agrupación.

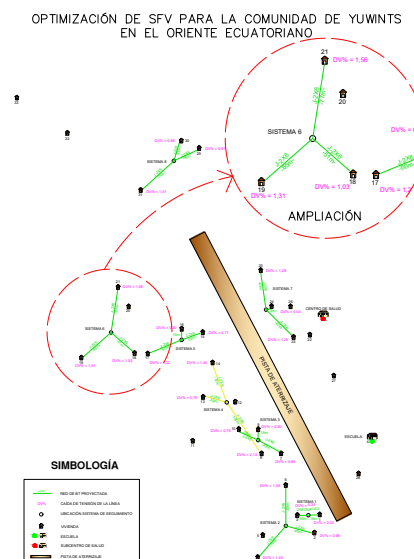


Fig. 10: Ubicación del lugar de los SFV optimizados, en base a las agrupaciones realizadas y caída de tensión de los sistemas.

Con el empleo de la ecuación 1 y la selección del conductor se realiza la caída de tensión de los SFV, la Figura 10 muestra la caída de tensión de los SFV optimizados hacia cada una de las viviendas de la agrupación y la Tabla 2 muestra los grupos de viviendas seleccionados por el programa de optimización y la demanda de energía de los SFV, donde se observa que el sistema de mayor demanda de energía es el de la segunda iteración del grupo 4 con 576 Wh/día.

Tabla 2: Resultados de las agrupaciones según el algoritmo

Agrupaciones de las viviendas mediante la optimización				
Nº	Nº de iteración	Cant. de viviendas	Nº de vivienda	Energía Wh /día
grupo 1	1	2	1,3	474
	2	3	2,4,6	535
	3	1	5	89
grupo 2	1	3	7,9,10	481
	2	3	8,13,14	535
	3	1	11	154
grupo 3	1	1	12	110
	1	3	15,16,17	495
	2	3	18,19,21	550
grupo 4	2	1	20	65
	1	1	2	280
	2	3	23,24,25	576
	3	1	26	24
grupo 5	3	1	27	71
	3	1	28	271
	1	3	29,30,31	500
	2	1	32	160
grupo 5	2	1	33	170
	2	1	34	170

La tabla 3 muestra el cálculo de la %DV realizado para los grupos.

Tabla 3: Cálculo de la %DV del SFV

Caída de Tensión							
GRUPO 1							
SISTEMA 1	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #1	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	16,12	0,33
Vivienda #3	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	16,10	0,33
SISTEMA 2	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #2	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	48,21	0,98
Vivienda #4	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	70,75	1,43
Vivienda #6	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	68,16	1,38
GRUPO 2							
SISTEMA 3	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #7	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	42,48	0,86
Vivienda #9	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	15,00	0,30
Vivienda #10	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	37,61	0,76
SISTEMA 4	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #8	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	105,98	2,14
Vivienda #13	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	39,21	0,79
Vivienda #14	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	71,58	1,45
GRUPO 3							
SISTEMA 5	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #15	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	34,97	0,71
Vivienda #16	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	15,00	0,30
Vivienda #17	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	60,39	1,22
SISTEMA 6	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #18	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	50,94	1,03
Vivienda #19	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	64,70	1,31
Vivienda #21	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	77,20	1,56
GRUPO 4							
SISTEMA 7	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #23	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	61,81	1,25
Vivienda #24	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	2,00	0,04
Vivienda #25	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	63,31	1,28
GRUPO 5							
SISTEMA 7	# Fases	I fase (A)	Cond. Alimentación	Voltaje (Vca)	Sección mm ²	Longitud m	% dV
Vivienda #29	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	45,06	0,91
Vivienda #30	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	32,74	0,66
Vivienda #31	1F2C	5,24	1x6(6)	120	13,31	74,48	1,51

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo a la comunidad de Yuwints fue significativo pues se permite diseñar configuraciones de microredes de SFV o a su vez individuales. Los datos necesarios para la aplicación del algoritmo son la ubicación de las viviendas y su demanda de energía. El programa Yantsa li Etsari implementado por la Centrosur (Greene y Mendoza, 2020) tuvo mucha relevancia, siendo el punto de partida de esta investigación en la cual se realiza una modificación en el análisis energético de las viviendas de la comunidad, realizando el levantamiento de información de las necesidades energéticas que requieren los habitantes de la comunidad, evidenciando que las necesidades son distintas entre cada usuario, lo cual permite agrupar de tal forma que el SFV pueda ser compartido.

La optimización muestra los beneficios que se obtiene al realizar agrupaciones de sistemas para formar una microred una de las ventajas consiste en abastecer del suministro eléctrico a la vivienda que en una hora determinada requiera energía en mayor proporción que las otras viviendas que se encuentran conectadas a la misma red. Las consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar una micro red son la radiación solar, la demanda de energía y las coordenadas de las viviendas, la diferencia con (Domenech *et al.*, 2022) es el cálculo de la caída de tensión, valor importante para entregar energía eléctrica de calidad a los consumidores (Vega, 2019) que garantiza el funcionamiento de los equipos

y dispositivos del SFV.

Los SFV son amigables con el medio ambiente y no perjudican a la flora y fauna del lugar (Rodríguez, 2020). El algoritmo se puede aplicar a otras regiones de la Amazonía del Ecuador e incluso en otras localidades aisladas a nivel mundial.

CONCLUSIONES

La principal contribución de este trabajo es la optimización de los sistemas fotovoltaicos aislados, instalados por la Centrosur en la comunidad rural de Yuwints en la región Amazónica del Ecuador. La información energética de la comunidad es recopilada por una encuesta insitu, los resultados de la encuesta muestran que la vivienda de la comunidad de Yuwints con mayor requerimiento de energía es de 363 Wh/día y la de menor con 24 Wh/día. La distribución y la ubicación topográfica de las viviendas hace que sea necesario agruparlas en cinco grupos, el programa utiliza esta información junto a la demanda energética y las coordenadas de las viviendas. Finalmente, el programa analiza y selecciona agrupaciones de viviendas con características similares de necesidades energéticas tomando en consideración las restricciones y una demanda de energía 600 Wh/día. Con esta información se determina el lugar de los sistemas optimizados considerando la caída de tensión.

AGRADECIMIENTOS

Al Técnico de energías renovables de la CENTROSUR el Sr. Elias Paue Juank, y a su hijo Kunaim Juank por la ayuda y guía en la visita realizada a las comunidades y a los líderes de las comunidades visitadas, en especial a Sr. Clever Wambangti Chiriap presidente comunero de Yuwints y a la empresa eléctrica CENTROSUR por los permisos correspondientes para la visita a las comunidades del proyecto Yantsa li Etsari.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: IC y JG; Metodología: CO; Análisis formal: IC.; Investigación: JG,IC, CO; Recursos: JG,IC, CO; Curación de datos: JG,IC, CO; Redacción — preparación del borrador original: JG,IC, CO; Redacción — revisión y edición: JG,IC, CO; Visualización: MIV; Supervisión: JG,IC, CO. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

IC: Iván Coronel, JG: Julio Gómez, CO: Cristian Ortega.

REFERENCIAS

- Agustín, C., y Apolo, A. (2017). *Exploration of renewable sources for isolated systems*.
- AIE. (2017). *World Energy Outlook 2017 – Análisis - AIE*. Descargado 2022-08-08, de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>
- Andrade, Monroy-G, J. D., Valencia, E., y Noriega, J. (s.f.). *Corpoica Ciencia y Tecnología*.
- Arrow, G. (1931). The coleopterous genus *Trichillum* (Copridae), with a key to the species. *The Annals and Magazine of Natural History*, 10(8), 609–611. doi: <https://doi.org/10.1080/00222933108673452>
- Bárcena, A., Samaniego, J., Galindo, L. M., Carbonell, J. F., Alatorre, J. E., Stockins, P., ... Mostacedo, J. (s.f.). La economía del cambio climático en américa latina y el caribe. una visión gráfica.
- CENTROSUR. (2020). *PROYECTOS FOTOVOLTAICOS CON NUEVAS REGULACIONES*. – *Centrosur*. Descargado 2022-08-08, de <https://www.centrosur.gob.ec/proyectos-fotovoltaicos-con-nuevas-regulaciones/>
- CONELEC. (2009). *Atlas solar del ecuador*. Descargado de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Dolors, C. (2019). El proceso normativo ante el avance tecnológico y la transformación digital. *Revista General de Derecho Administrativo* 50.
- Domenech, B., Ferrer-Martí, L., García, F., Hidalgo, G., Pastor, R., y Ponsich, A. (2022). Optimizing pv microgrid isolated electrification projects—a case study in ecuador. *Mathematics*, 10. doi: 10.3390/math10081226
- Dursun, B., y Aykut, E. (2019, aug). An investigation on wind/PV/fuel cell/battery hybrid renewable energy system for nursing home in Istanbul. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 233(5), 616–625. Descargado de <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0957650919840519> doi: 10.1177/0957650919840519
- Earth, G. (2022). *No title*. Descargado de https://earth.google.com/web/search/yuwints/@-2.15427171,-77.5808573,516.6967509a,1055.70627509d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCXXg1Q2_ZCFAEV5GN3tidibAGUs3fTSXSk_AIbqk8EFuTVrA
- Flores, L. E. U. (2015). *Procedimiento para la electrificación en zonas aisladas: Caso cantón taisha, morona santiago*.
- G de Brito, M. A., Poltronieri Sampaio, L., Galotto Jr, L., Canesin, C., Aureliano Gomes de Brito, M., Galotto, L., ... Member, S. (2012). Evaluation of MPPT techniques for photovoltaic applications Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org>. doi: 10.1109/ISIE.2011.5984303
- GAD. (2022). *gobierno autónomo de morona santiago - Búsqueda de Google*. Descargado 2022-09-20, de https://www.google.com/search?q=gobierno+aut{6}nomo+de+morona+santiago&source=lnms&tbm=isch&a=X&ved=2ahUKewil_5y4v6P6AhUaRTABHayyAfoQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=663&dpr=1#imgrc=1HeIdIhBN5jf2M
- Greene, N., y Mendoza, V. (2020). Policy paper: Diagnóstico sobre las energías renovables en el mundo, ecuador y Perú., 38.
- Holt. (2020). *Appendix a matlab 's optimization toolbox*. doi: 10.1007/978-3-319-65919-0
- MEM. (2020). 01-capitulo-01ben-2020-web-17-46., 26-45. Descargado de <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/01-CAPITULO-01BEN-2020-Web-17-46.pdf>
- Ploskas, N., y Samaras, N. (2017). *Appendix a matlab 's optimization toolbox*. doi: 10.1007/978-3-319-65919-0
- Quituisaca, P. (2015). *Modelo de gestión sostenible de proyectos de electrificación rural aislada mediante energías renovables – aplicación al caso centrosur*.
- Scinergy. (2020). *Mapa solar del ecuador*. Descargado de https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/04/MAPA_SOLAR_DEL_ECUADOR_final.pdf
- Vega, A. R. C. (2019). *Diseño y dimensionamiento de los conductores eléctricos para el proceso de arranque de motores en la cámara de bombas nivel 570 zona manuelita Área mina-cia argentum s.a.*. Descargado de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5490/2/IV_FIN_103_TSP_Cuyutupac_Vega_2019.pdf

Evaluación de la correlación entre la RCS e Is50 en base a dimensiones de probetas

Correlation evaluation between UCS and Is50 based on specimen dimensions

Ernesto Patricio Feijoo-Calle¹, Bernardo Andrés Feijoo-Guevara¹ y Emily Geovana Vásquez-Guerrero¹

¹ Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, pfejoo@uazuay.edu.ec, bernardofejoo@uazuay.edu.ec, emilyvasquez@es.uazuay.edu.ec
* Autor para correspondencia: pfejoo@uazuay.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 26/11/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 24/12/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—En el desarrollo de actividades mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo, es importante determinar ciertas propiedades de las rocas, presentes en los afloramientos encontrados, una de ellas es la resistencia a la compresión simple (RCS), ya que mediante esta y otras in situ, se puede evaluar la estabilidad de las estructuras. La RCS se evalúa mediante el envío permanente de muestras a laboratorio, lo cual es muchas veces tedioso, complicado y costoso, por lo que una alternativa en campo es la valoración del Índice de Carga Puntual o Is 50, el cual se lo obtiene de una forma más accesible. La relación que existe entre la RCS y el Is 50 es propuesta por varios autores, pero muchas veces estas correlaciones teóricas no reflejan la realidad, porque existen variables que involucran variaciones considerables y en consecuencia distorsionan la evaluación de la RCS. Se propone establecer ciertas directrices para encontrar una correlación que mantenga una concordancia entre la RCS y el Is 50, con las expuestas en la teoría y de esta forma tener una mayor confiabilidad de los cálculos y resultados. Una de las directrices es establecer la geometría de las probetas para los ensayos, específicamente las dimensiones de las mismas. Se han propuesto tres grupos de probetas en andesita, con dimensiones aproximadas de 5x10x10 cm, 5x5x10 cm y 5x5x5 cm y los resultados obtenidos son alentadores, además podemos concluir que la metodología planteada debe ser introducida para los procesos de campo en los proyectos mineros.

Palabras clave—Compresión, Estabilidad, Minería, Resistencia, Roca.

Abstract—In the development of mining activities, both open pit and underground, it is important to determine certain properties of the rocks present in the outcrops found, one of them is the unconfined compressive strength (UCS), since through this and other in situ, the stability of structures can be assessed. The UCS is evaluated by permanently sending samples to the laboratory, which is often tedious, complicated and expensive, so an alternative in the field is the assessment of the Point Load Test Index or Is 50, which is obtained from a more accessible way. The relationship that exists between the UCS and the Is 50 is proposed by several authors, but many times these theoretical correlations do not reflect reality, because there are variables that involve considerable variations and consequently distort the evaluation of the UCS. It is proposed to establish certain guidelines to find a correlation that maintains a concordance between the UCS and the Is 50, with those exposed in the theory and in this way have a greater reliability of the calculations and results. One of the guidelines is to establish the geometry of the test specimens, specifically their dimensions. Three groups of andesite specimens have been proposed, with approximate dimensions of 5x10x10 cm, 5x5x10 cm and 5x5x5 cm and the results obtained are encouraging, we can also conclude that the proposed methodology should be introduced for field processes in mining projects.

Keywords—Compression, Stability, Mining, Resistance, Rocks.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de las actividades mineras, tanto en minas a cielo abierto como en minas subterráneas, es importante conocer la estabilidad de las estructuras presentes en el proyecto minero y que muchas veces son generadas por los ingenieros en minas para la extracción y explotación de los recursos minerales, pero es indispensable el análisis de la estabilidad de estas obras, el cual es dependiente de algunas propiedades, tanto del material rocoso como del macizo

rocoso. Por esta razón es importante establecer las propiedades o características de la zona, para ejecutar los análisis y evaluar la estabilidad, mediante la obtención de factores numéricos (Feijoo e Iñiguez, 2020).

En cuanto a la matriz rocosa, material rocoso o simplemente roca, hay muchos parámetros que se emplean para su identificación y descripción de sus características. Estas propiedades junto con la composición mineralógica determinan su comportamiento. Las propiedades mecánicas de la ma-

triz rocosa son las que permiten conocer las características tenso-deformacionales de la misma, sometida a un estado de esfuerzos determinados. Dentro de las propiedades básicas, y de cara al conocimiento del comportamiento mecánico de la matriz, son de particular importancia la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción. El comportamiento tensión-deformacional de una roca, viene definido por la relación entre dos esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, hace referencia a como se va deformando y a la variación del comportamiento del material a lo largo de la aplicación de la carga, lo que permite conocer:

- El comportamiento antes de llegar a la rotura.
- La forma en la que se produce la rotura.
- El comportamiento después de la rotura.

Su estudio, se lleva a cabo a partir de ensayos de aplicación de fuerzas, en donde se registran las curvas esfuerzo-deformación a lo largo de las diferentes etapas del proceso.

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas, obteniéndose diferentes modelos de curvas de tensión contra deformación para distintos tipos de rocas (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2016).

Una propiedad o relación fundamental del material rocoso es la resistencia a la compresión simple (RCS) pero en ocasiones se dificulta su determinación por la falta de laboratorios cercanos al proyecto minero y/o también por su alto costo, especialmente para el caso de pequeña minería, en especial en distritos mineros en los que laboran mineros artesanales. Para la determinación de la resistencia a compresión simple o uniaxial de la roca, se ha desarrollado un ensayo alternativo conocido como índice de carga puntual (Is 50), el cual es de fácil ejecución en campo. Determinado este índice se lo correlaciona con ecuaciones propuestas por varios autores y se obtiene la RCS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio, se estableció trabajar con una andesita proveniente de la zona de Cojitambo, provincia del Cañar, Ecuador. Las andesitas son rocas volcánicas de grano fino, son comunes, como coladas de lava en regiones orogénicas y ocasionalmente forman pequeñas intrusiones. Son compactas, algunas veces vesiculares y comúnmente de color castaño y en extensión total ocupan el segundo lugar después del basalto (Blyth y Freitas, 2003). Luego de obtener las muestras en campo, se procedió a la elaboración de las probetas, mediante una cortadora marca Covington, la cual es un modelo de piso diseñada para cortar rocas. Esta posee una sierra de estilo inmersión, lo que significa que el fluido de corte se asienta dentro del tanque y la cuchilla giratoria elevará el fluido alrededor de la probeta (Figura 1).

De hecho, las propiedades de las rocas varían en las diferentes direcciones que se aplique un efecto, por eso a este punto proponemos utilizar el corte en la roca, el cual por razones descritas no será igual en función de la arista establecida para generar el mismo. Este corte debe ser ejecutado sobre muestras o probetas preparadas, para tratar de mitigar los efectos de la anisotropía, lo cual es muy difícil conseguir.



Fig. 1: Cortadora Covington.

Así pues, en el proceso de corte de rocas intervienen conjuntamente el equipo o sierra de corte, el útil diamantado y el material a cortar (Feijoo *et al.*, 2022). También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que éstas pueden generar en la roca nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos (Feijoo *et al.*, 2019).

Obtenidas las probetas, se procede a la ejecución de los ensayos. Para la resistencia a la compresión simple se utilizaron 90 probetas, en tres grupos de 30 cada uno, las que tuvieron dimensiones de 5x10x10 cm, 5x5x10 cm y 5x5x5 cm. El mismo número y dimensiones de probetas se utilizó para el ensayo de carga puntual (Figura 2).



Fig. 2: Probetas elaboradas.

Para la ejecución de los ensayos se utiliza el equipo apropiado. Para la determinación de la RCS, este equipo es una prensa Humboldt que tiene facultades para someter materiales a ensayos de tensión y compresión (Figura 3). La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura (Feijoo y Brito, 2021).



Fig. 3: Equipo para ensayos de resistencia a la compresión Humboldt.

La resistencia a la compresión simple de las rocas es la medida más común para definir los razonamientos de rotura y el proceder geomecánico de un macizo rocoso determinado. Para la obtención en los exámenes de laboratorio requiere muestras escrupulosamente preparadas y de un cierto tiempo considerable para poder conocer el resultado, lo cual puede presentar un alto coste. Las rocas anisótropas en específico son dificultosas de realizar exámenes por la variante de su resistencia por lo que son necesarios numerosos exámenes de laboratorio para obtener parámetros representativos de todo el rango de resistencias (Burbano y García, 2016).

El propósito de este ensayo es medir la resistencia a compresión de una probeta de roca, sometida a una carga axial. Para realizar el ensayo, hay que disponer de una prensa de capacidad adecuada que permita emplear la carga sobre la probeta a velocidad constante hasta que se produzca la rotura en la misma en un intervalo de tiempo entre 5 y 15 minutos, también la velocidad de carga puede establecerse entre intervalos de 0,5 a 1 MPa/s (Ramírez et al., 1984).

La probeta se coloca entre los discos de la prensa, bien centrada. Donde se aplica una carga de asentamiento equivalente al 1% de la resistencia a compresión simple estimada. En este momento, el reloj indicador de carga se pone en cero. Se fija la velocidad de aplicación de la carga, dando comienzo la compresión, hasta que la muestra se rompe. La ecuación 1 nos muestra como determinar la resistencia a compresión simple de una probeta:

$$RCS = \sigma_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

P= es la carga máxima a la que ha sido sometida la probeta durante el ensayo.

A= es el área de la sección transversal de la probeta.

Pero en los proyectos mineros sucede muy a menudo que no es posible enviar las muestras a los laboratorios, debido a su ubicación y/o al costo que representa para la empresa minera, por lo que se puede utilizar como alternativa el índice de prueba de carga puntual o I_s 50 (Feijoo et al., 2022). El índice de carga puntual es uno de los ensayos más importantes que se usan para la determinación indirecta de la RCS, ya que la implementación de la prensa puede ser usada in situ o

en laboratorio, además de que requiere de muy poca o nula preparación de las muestras para la prueba (Cordero, 2019).

El ensayo de carga puntual o de rotura entre puntas es un ensayo básico que puede realizarse en el campo con testigos sin modificación o con fragmentos de roca. Este se fundamenta en aplicar una carga puntual en un trozo de roca hasta su rotura obteniéndose un índice I_s que se correlaciona con la resistencia a compresión simple de la roca (González de Vallejo y Ferrer, 2007).

El valor de prueba de carga puntual se puede usar como una estimación indirecta de la compresión uniaxial o simple de la roca, la muestra que se lleve a cabo su ejecución puede ser un núcleo de roca, un bloque o un bulto irregular de roca (Pohjanperae et al., 2005).

El ensayo de carga puntual consiste en romper un pedazo de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido (Figura 4). Las muestras que posteriormente van a ser colocadas entre dichas puntas pueden ser de cualquier forma, pero lo recomendable es que su diámetro no sea inferior a 50 mm, ya que, el volumen de dicha probeta influye en su resistencia (Feijoo y Ureña, 2021).



Fig. 4: Equipo para ensayos de carga puntual.

La ecuación 2 nos permite calcular el índice de carga puntual sin corrección:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (2)$$

Donde:

P = Carga aplicada en N.

De = Diámetro del núcleo equivalente en mm (Ramírez y Alejano, 2004).

La razón $0.3 < D / W < 1$ que de preferencia quede cerca de 1.

En la ecuación 3 se determina el diámetro equivalente De en función de las dimensiones de los fragmentos irregulares:

$$De^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (3)$$

Donde:

$$A = WD \quad (4)$$

Donde A es el área transversal mínima paralela a la dirección de la carga en mm^2 .

El índice de resistencia a la carga puntual corregido, I_s 50 de una muestra de roca se define como el valor de I_s que

se ha medido para una prueba diametral con $D = 50$ mm. Cuando una clasificación de roca es fundamental, el método más fiable para conseguir el Is 50 es llevar a cabo las pruebas con diámetros de $D = 50$ mm o muy cercanos a dicho valor. La mayoría de las pruebas de carga puntual, son llevadas a cabo utilizando tamaños de muestras diferentes al diámetro mencionado (Navarrete *et al.*, 2013).

En la ecuación 5 podemos obtener la corrección por tamaño:

$$Is50 = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45} * Is \quad (5)$$

Para la ejecución del índice de carga puntual se utilizó un equipo construido para este efecto, el cual consiste de una bomba y una estructura diseñada en base a las recomendaciones del caso.

Cabe indicar que los ensayos de resistencia a la compresión y de carga puntual se los ejecutaron siguiendo las normas respectivas.

Realizados los ensayos antes descritos, se obtiene una relación, la cual genera un dominio y rango, características que sirven para la caracterización del material rocoso, en este caso la andesita, y de esta forma conocer la propiedad de resistencia de las muestras obtenidas.

Sin embargo, existen correlaciones en la literatura que ya han sido establecidas en años pasados y las mismas proponen algunas ecuaciones. Al conocer las correlaciones propuestas en la teoría, las más relevantes y usadas se detallan a continuación. En 1972, Franklin, J. A. y Bosh, E., proponen un factor de correlación de 24. Chau, K. T., y Wong, R. H. C., en 1996 un factor de 12.5. Rusnak, J., y Mark, C., en 2000, un factor de 21. Thuro y Plinninger, R. J., en 2001 un factor de 18.7. Mark, C., en 2002, un factor de 21. Akram, M., y Bakar, M. Z. A., en 2007 un factor de 13.295. Cobanoglu, I., y Celik, S. B., en 2008, una relación $RCS=8.66$ Is 50 + 10.85 (Galván, 2015). Por lo tanto, se poseen estas correlaciones para luego compararlas con la relación que se obtendrá del material rocoso, para el presente caso.

RESULTADOS

Luego de la ejecución de los ensayos se obtienen los resultados, los cuales se los puede observar en las tablas 1, 2 y 3 y ordenados los mismos se procedió a graficarlos para determinar las correlaciones buscadas (Figuras 5, 6 y 7).

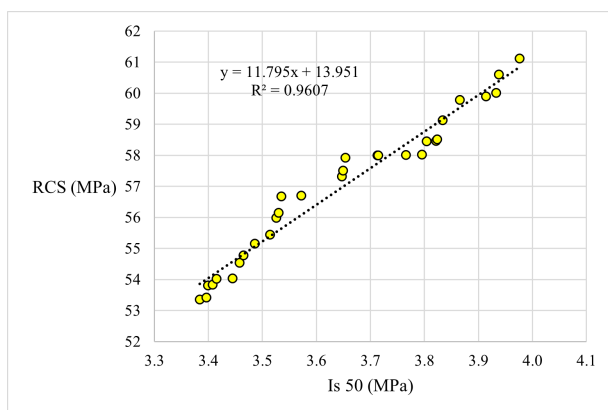


Fig. 5: Correlación entre la resistencia a compresión simple e Is 50 para probetas con dimensiones 5 x 10 x 10 cm.

Tabla 1: Resultados de resistencia a la compresión simple e Is 50 de las probetas con dimensiones 5 x 10 x 10 cm.

Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)	Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)
1	3.4	53	16	3.6	58
2	3.4	53	17	3.7	58
3	3.4	54	18	3.7	58
4	3.4	54	19	3.7	58
5	3.4	54	20	3.8	58
6	3.4	54	21	3.8	58
7	3.5	55	22	3.8	58
8	3.5	55	23	3.8	58
9	3.5	55	24	3.8	59
10	3.5	55	25	3.8	59
11	3.5	56	26	3.9	60
12	3.5	56	27	3.9	60
13	3.5	57	28	3.9	60
14	3.6	57	29	3.9	61
15	3.6	57	30	4.0	61

Tabla 2: Resultados de resistencia a la compresión simple e Is 50 de las probetas con dimensiones 5 x 5 x 10 cm.

Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)	Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)
1	1.5	17	16	3.1	36
2	1.5	19	17	3.1	37
3	2.1	26	18	3.1	37
4	2.6	28	19	3.1	39
5	2.6	29	20	3.2	39
6	2.6	30	21	3.2	39
7	2.6	30	22	3.2	39
8	2.9	31	23	3.2	39
9	3.0	32	24	3.2	41
10	3.0	32	25	3.3	42
11	3.0	33	26	3.3	47
12	3.0	34	27	3.3	47
13	3.0	34	28	3.4	47
14	3.1	36	29	3.5	47
15	3.1	36	30	3.5	52

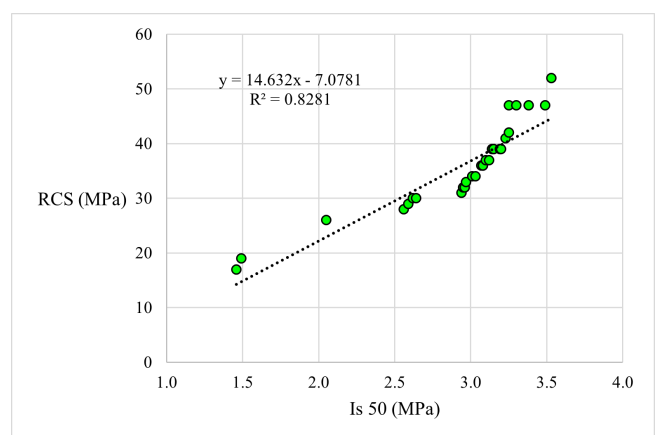


Fig. 6: Correlación entre la resistencia a compresión simple e Is 50 para probetas con dimensiones 5 x 5 x 10 cm.

Tabla 3: Resultados de resistencia a la compresión simple e Is 50 de las probetas con dimensiones 5 x 5 x 5 cm

Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)	Probeta	Is 50 (MPa)	RCS (MPa)
1	0.9	17	16	1.9	23
2	1.0	19	17	2.0	23
3	1.0	20	18	2.6	24
4	1.0	20	19	3.5	20
5	1.1	20	20	3.5	25
6	1.1	21	21	3.6	25
7	1.2	21	22	3.6	25
8	1.2	21	23	3.8	25
9	1.4	22	24	4.1	26
10	1.4	22	25	4.3	26
11	1.4	23	26	4.4	27
12	1.4	23	27	4.5	28
13	1.6	23	28	4.5	28
14	1.7	23	29	4.6	30
15	1.8	23	30	5.1	31

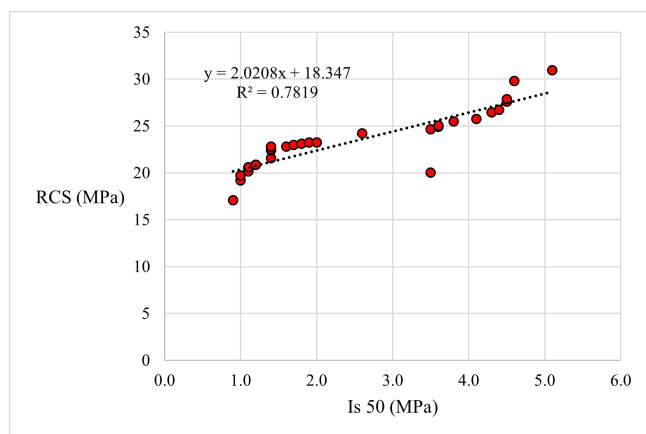


Fig. 7: Correlación entre la resistencia a compresión simple e Is 50 para probetas con dimensiones 5 x 5 x 5 cm.

DISCUSIÓN

Realizados los respectivos análisis, se procedió a graficar las correlaciones de los tres tipos de probetas (Figura 8), las cuales están en color amarillo, verde y rojo, conjuntamente con las correlaciones propuestas en la literatura, estas últimas en color negro. La coloración de las correlaciones del estudio, se la escogió a manera de una semaforización, donde rojo no es adecuado, amarillo es más o menos adecuado y verde es adecuado. En otras palabras, la correlación de las probetas de 5x5x10 cm, en color verde, está enmarcada dentro del rango de las correlaciones de la literatura, lo que nos proporciona el hecho de que las dimensiones de dichas probetas son muy adecuadas para este objetivo. La correlación de las probetas de dimensiones de 5x10x10 cm, en color amarillo, tiene una aproximación a las correlaciones de la literatura, a pesar de que su rango está por fuera de lo establecido. Finalmente, la correlación de las probetas de 5x5x5 cm, en color rojo, no tiene un buen campo de aproximación en rango con las correlaciones teóricas, lo que implica que dichas dimensiones de probetas no son adecuadas para el objetivo propuesto.

Las correlaciones son las siguientes:

Para las probetas de dimensiones 5x5x10 cm, en la gráfica

de color verde, es:

$$RCS = 14,632 * Is50 - 7,0781 \quad (6)$$

Para las probetas de dimensiones 5x10x10 cm, en la gráfica de color amarillo, es:

$$RCS = 11,795 * Is50 + 13,951 \quad (7)$$

Para las probetas de dimensiones 5x5x5 cm, en la gráfica de color rojo, es:

$$RCS = 2,0208 * Is50 + 18,347 \quad (8)$$

Donde tanto la RCS como el Is 50 están en MPa.

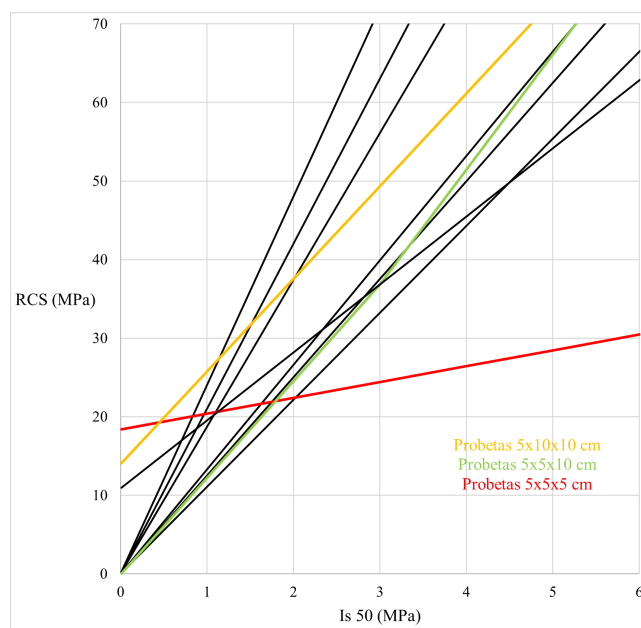


Fig. 8: Correlaciones teóricas y establecidas en laboratorio entre la resistencia a compresión simple e Is 50.

CONCLUSIONES

Se determinó que existe una correlación adecuada entre el Is 50 y la RCS de la roca estudiada (andesita) y la misma proporciona límites para dicho material rocoso.

Se propone también, para el caso de estudio presentado, una correlación entre el Is 50 y la RCS, la cual se expresa mediante la ecuación 6. La relación propuesta permite caracterizar el material rocoso presente en la zona, en consecuencia, se han obtenido valores de Is 50 que van desde 1.5 MPa a los 3.5 MPa y el valor de la RCS entre los 17 MPa hasta los 52 MPa.

Este trabajo muestra que no siempre existe una buena aproximación de las ecuaciones o correlaciones encontradas con las correlaciones propuestas en la literatura, por lo que para materiales específicos se recomienda ejecutar ensayos y obtener así una relación propia para el material rocoso.

Finalmente se sugiere que esta propuesta sea desarrollada en otros tipos de roca, con un número mayor de probetas elaboradas, diferentes dimensiones de probetas, es decir ejecutarla con una modificación de las diferentes variables involucradas, para de esta forma tratar de generalizarlo y que sea efectivo al momento de usarlo en un proyecto minero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Azuay.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, EPFC, BAFG, EGVG; redacción y preparación del borrador original, EPFC; redacción, revisión y edición, BAFG, EGVG.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad del Azuay, a través del Vicerrectorado de Investigaciones.

REFERENCIAS

- Blyth, F., Freitas, M. (2003). *Geología para Ingenieros*. México D.F., México.
- Burbano, D., & García, T. (2016). Estimación empírica de la resistencia a compresión simple a partir del ensayo de carga puntual en rocas anisótropas (esquistos y pizarras). *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 13–16. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.862>
- Cordero, P. (2019). *Manual de prácticas de laboratorio de Mecánica de Rocas (Parte I)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Feijoo, P., Brito, E. (2021). Rock Characterization Through Physical Properties and Their Relationship to Simple Compressive Strength. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(2), 931–941. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9507>
- Feijoo, E., Choco, E., Peláez, G., Feijoo, B. (2022). Índice de Carga Puntual y su Relación con Dimensiones en Bloque Regular de Roca. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 28-39.
- Feijoo, P. & Flores, C. & Feijoo, B. (2019). The Concept of the Granulometric Area and Its Relation with the Resistance to the Simple Compression of Rocks. *IESTEC*, p. 52–56.
- Feijoo, P., Iñiguez, C. (2020). Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E30, 59-67.
- Feijoo, P., Peralta, A., Tamayo, A., Feijoo, B. (2022). Tamaño de partícula del material rocoso y su correlación con el índice de prueba de carga puntual. *Minerva*, 3(7), 78-88.
- Feijoo, P. & Ureña, C. (2021). Caracterización de la resistencia a la compresión en rocas mediante clasificación granulométrica: un ensayo de campo. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1), 2-11.
- Galván, M. (2015). *Mecánica de Rocas: Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. España.
- Navarrete, M., Martínez, W., Alonso, E., Lara, C., Bedolla, A., Chávez, H., Delgado, D., Arteaga, J. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *ALCONPANT*, 3(2), 133-143.
- Pohjanperae, P., Wanne, T., & Johansson, E. (2005). Point load test results from Olkiluoto area borehole cores (POSIVA-WR-06-59). Finland
- Ramírez, P., Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.
- Ramírez, P., de la Cuadra, L., Lain, R., Grigalbo, E. (1984). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. Instituto Geológico Minero. Madrid. España.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2016). *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras*. México D. F., México: Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular

Plastic recycling, a challenge to achieve a circular economy

María José Valarezo-Ulloa^{1,*} y Lazaro Ruiz-Virgen²

¹ Laboratorio de Análisis Químico, Universidad Nacional de Loja, Ciudadela Guillermo Falconi. Loja, Ecuador

² Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco, Gustavo A. Madero. Ciudad de México, México, esiqie_posgrado@ipn.mx

* Autor para correspondencia: laboratorio.quimico@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 11/03/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 01/09/2022 Fecha de publicación: 29/12/2022

Resumen—La eliminación de la contaminación por plásticos es una de las bases del surgimiento de una economía circular. La alta demanda de este tipo de materiales, el crecimiento per cápita y una falta de conciencia por parte de los consumidores están llevando consigo al planeta a un desastre ambiental, a tal punto que cantidades microscópicas de este material ya se encuentran presentes en las cadenas tróficas del planeta. Se han presentado varias soluciones al problema y aún se desconoce cuáles serían las medidas a seguir si queremos alcanzar la conservación del ambiente y disminuir la crisis por plástico. Esto unido a la falta de políticas públicas, la falta de apoyo de la población y el uso desmedido de plástico en los diferentes sectores industriales hace que su producción y transporte representen una de las mayores fuentes de emisiones de CO_2 a la atmósfera. Ante esta realidad, el reciclaje de plásticos dentro de una economía circular es una alternativa prometedora que llevará consigo la articulación de todos: compañías, recicladores, gobiernos, ONGs y población, para lograr alcanzar un sistema sólido y demostrar que los residuos plásticos tienen un valor y vale la pena el desarrollo de nuevas tecnologías para su reciclaje.

Palabras clave—Reciclaje, Plásticos, PET, Economía circular.

Abstract—The elimination of plastic pollution is one of the bases for the emergence of a circular economy. The high demand for this type of material, per capita growth and a lack of awareness on consumers are leading the planet to an environmental disaster, to the point that microscopic amounts of this material are already present in food chains of the planet. Several solutions to the problem have been presented but it is unknown what measures to follow if we want to achieve environmental conservation and reduce the plastic crisis. All this, together with the lack of public policies and support from the population, as well as the excessive use of plastic in the different industrial sectors means that its production and transport represent one of the largest sources of CO_2 emissions into the atmosphere. Faced with this reality, the recycling of plastics within a circular economy is a promising alternative that will entail the articulation of all: companies, recyclers, governments, NGOs and the population, in order to achieve a solid system and demonstrate that plastic waste has a value, and it is worth the development of new technologies for its recycling.

Keywords—Recycling, Plastics, PET, Circular economy.

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la producción de plásticos ha sido extraordinario, ubicándose entre los materiales más versátiles hechos por el hombre, junto al cemento y al acero. La demanda global antrópica de este material es enorme, lo que ha determinado que su producción haya aumentado desde los 2 millones de toneladas métricas en 1950 a aproximadamente 831 t en los últimos años (Geyer et al., 2017). De hecho, en los últimos diez años se ha producido más plástico que en toda la historia de la humanidad (Crawford y Quinn, 2017). Según datos de la Organización de Naciones Unidas, el uso del plástico ha aumentado, y no solo por el uso de mascarillas, guantes y desechos médicos, sino por el uso de plásticos de un solo uso: polímeros como el polietileno de

alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y polietileno tereftalato (PET) utilizados para la elaboración de envases, empaques, botellas, etc. Solo los fabricantes de bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico de un solo uso cada año (Samaniego et al., 2021).

Los plásticos de larga duración también representan un rubro importante en las distintas áreas que se emplean, como industria, electrónica, agricultura y comunicación. Alrededor del 25% del total del plástico se destina para este fin en la elaboración de tuberías, cableado eléctrico, paneles, láminas y mueblería. En la industria automotriz el plástico ha venido a reemplazar al acero, volviendo sus partes más livianas y por ende el menor uso de combustible para su movilización. Otro consumidor importante de plástico es el sector de

la construcción, utilizando el 69% del total de producción de policloruro de vinilo (PVC) para tuberías (Geyer et al., 2017).

Si la demanda de plásticos continúa a este ritmo, para el año 2050 habremos superado las 35000 t entre fibras sintéticas, resinas, PE, PP, PET, PVC, poliésteres, HDPE, LDPE, poliamidas y acrílicos. Sin embargo, lo alarmante es que bajo esta misma tendencia y con un modelo de producción económica lineal que ignora las alternativas de uso de residuos plásticos, para el año 2050 se habrán reciclado alrededor de 6000 t y el doble de esta cantidad se habrá incinerado, depositado en rellenos sanitarios y descartados al ambiente (Ecodes, 2019a; Sankaran, 2019).

En el presente artículo se analizan datos sobre la producción de plásticos por región a nivel global, datos de generación de desechos plásticos por países y porcentajes de plástico reciclado a nivel mundial con el fin de tener una visión más clara del ciclo de vida de los plásticos y su disposición final, y cómo podrían incluirse en un sistema cerrado de producción con visión de economía circular.

CICLO DE PLÁSTICOS A NIVEL GLOBAL

Los plásticos se derivan casi en su totalidad de productos petroquímicos (aceite y gas fósil). El primer paso para crear un producto plástico es la extracción de petróleo crudo o gas metano: se estima que alrededor del 4-8% del petróleo global se utiliza como materia prima para la producción de plástico y más del 6% en su manufactura (Hopewell et al., 2009). Todos los métodos de extracción de combustibles fósiles imponen costos masivos y contaminación para las comunidades cercanas. En el 2015 la producción de plásticos emitió alrededor de 1,7 gigatoneladas de CO_2 y se proyecta que para el 2050 esta cifra se triplique a aproximadamente 6,5 gigatoneladas, un 15% del presupuesto mundial de carbono (Crawford y Quinn, 2017).

Después de la extracción de combustibles fósiles, las materias primas se envían a una refinería. Los objetivos del refinamiento son derivar los componentes básicos para la producción de plástico: etano del petróleo crudo y propano del gas natural. En una planta de craqueo, el etano y el propano se descomponen químicamente en etileno y propileno y a través de procesos de polimerización catalizada se producen resinas o plásticos premanufacturados. A estos se agregan aditivos, retardantes de calor, plastificantes y estabilizadores para finalmente tener un producto plásticos terminado para las distintas áreas de empleo (Zhen y Suh, 2019).

Los plásticos terminados se dirigen a los distintos nichos de mercado donde permanecen dependiendo de su tiempo de vida útil, que podría ir de un año como materiales para empaque a 50 años como en el caso de plásticos para la construcción y áreas afines. El tiempo de vida útil se determina por el tipo de polímero empleado y el estrés que soporta el material plástico. Al terminar su vida útil estos son manejados de diferentes formas a nivel particular, organizacional, empresarial o gubernamental; o desechados ya sea en vertederos municipales, rellenos sanitarios, incinerados o reciclados (Wang et al., 2021). En la Figura 1 se esquematiza el ciclo de vida útil de un plástico.

El ciclo de vida del plástico ha sido un sistema de producción lineal, donde los desechos no se consideran en su mayor

parte como materias primas para el comienzo de un nuevo ciclo. Además, se ha reportado (Wang et al., 2021) que sus eslabones de producción generan una cantidad considerable de residuos durante su manufactura y estos se sumarían a la etapa final de disposición de estos materiales.

Asia es la región con mayor producción de plásticos, siendo responsable de la mitad de la producción (51% del total) como se muestra en la Figura 2, seguido por América del Norte con un 18% y Europa con un 17% (Mena, 2021a).

Se estima que alrededor de 2500 t de plástico se encuentran actualmente en uso y que alrededor de 6300 t de desechos plásticos se están produciendo. De esta cantidad más del 50% de desechos se descartan y se encuentran dispersos en el ambiente (Haward, 2018; Zhen y Suh, 2019).

Debido a la creciente demanda sobre el manejo de los desechos plásticos, más de 88 países y regiones han introducido políticas o medidas económicas regulatorias para mejorar la gestión de desechos, promover el reciclaje, reducir el uso de ciertos productos plásticos, imponer impuestos, generar prohibiciones sobre plásticos de un solo uso y disminuir importaciones de bolsas y residuos plásticos (Wang et al., 2021). Gracias a estos esfuerzos, el descarte de desechos plásticos bajó alrededor de un 50% en 2015 (Geyer et al., 2017). Sin embargo, hasta el 80% de los desechos plásticos aún no se gestionan adecuadamente, especialmente en economías emergentes y en desarrollo como China, Sri Lanka, Filipinas y Vietnam (Wang et al., 2021).

El problema de los plásticos es que las mismas propiedades que los vuelven tan versátiles como resistencia, durabilidad y permeabilidad, son las que hacen que su descomposición en la naturaleza se vuelva tan difícil. Esto, unido a la falta de estrategias claras para la manipulación de desechos plásticos provocan que el manejo final de estos residuos sea un tema de preocupación actual. Se necesita una variedad de datos para caracterizar las existencias y flujos de plásticos a lo largo del espacio, el tiempo y el ciclo de vida, y poder desarrollar estrategias que permitan abordar el desafío de una producción sostenible de plásticos y un mejor manejo de sus desechos.

Los dos países que generan la mayor cantidad de desechos a nivel global son China e India, produciendo alrededor del 50% de los residuos plásticos (Fig. 3). Estos países a pesar de ser los más poblados del mundo presentan una cantidad de plástico desechado por persona que varía notablemente entre ellos. En India una persona genera alrededor de 4 kilos de desechos, mientras que en China cada persona produce alrededor de 18 kilos. Debido a esto China se ha convertido en uno de los mayores exportadores de desechos plásticos a nivel global cuyo transporte genera emisiones de CO_2 que restan calidad al ambiente. India por su parte aún presenta un sistema de recolección de desechos muy precario (Our World in data, 2019; Mena, 2021b).

DISPOSICIÓN FINAL DE LOS PLÁSTICOS

De todos los sectores en los que el plástico es necesario, la industria del embalaje y empaque constituye el porcentaje más representativo a nivel global, teniendo como excepción China e India que presentan un porcentaje de producción de plástico mayor en el sector de la construcción y mueblería respectivamente (Wang et al., 2021). Sin embargo, aún en la



Fig. 1: Ciclo de vida de los plásticos según artículo de Wang et al. (2021).

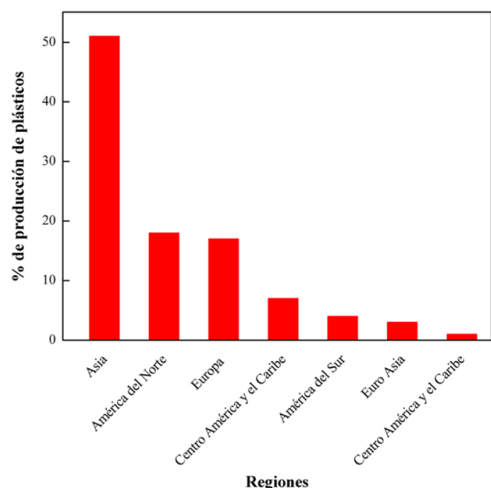


Fig. 2: Distribución Global de la Producción de Plástico según datos de Plastics Europe (2021).

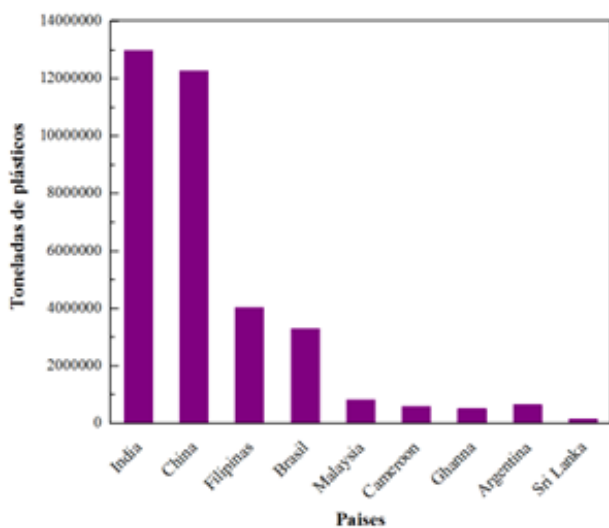


Fig. 3: Plásticos desechados a nivel mundial, según datos de Our World in data (2019).

actualidad la recolección de cifras exactas sobre la cantidad de plásticos y desechos es insuficiente, esto debido a que las cantidades varían de una organización a otra o de un país a otro, haciendo más difícil su cuantificación.

La cantidad de desechos que se generan también dependerá del tiempo de vida útil de cada plástico, es decir, para qué fue diseñado. Por ejemplo, las fundas plásticas tienen un tiempo de vida útil estimado de un año, mientras que los materiales para la construcción, industria, agricultura o mueblería tienen un tiempo de vida útil de uno hasta 50 años (Sankaran, 2019).

En la naturaleza, ninguno de los plásticos de origen fósil

(cadenas poliméricas carbono-carbono) se degradan de manera significativa, sus vías y productos de degradación dependerán del tipo de polímero empleado para su fabricación, que por acción de rayos ultravioleta y oxígeno se debilitan y las cadenas poliméricas se rompen, fragmentando el material en pequeños pedazos de plástico que pueden desintegrarse en millones de microplásticos que presentan cadenas de polímeros más cortas, susceptibles a biodegradarse o incorporarse dentro de las cadenas tróficas en forma de monómeros, oligómeros y nuevos grupos de ácidos carboxílicos (Gewert et al., 2015). Se ha reportado que ingresan alrededor de 8 t de macroplásticos y 1,5 t de plásticos primarios a los océanos. (Geyer et al., 2017; Lau et al., 2020; Ding et al., 2022). Sin embargo, la contaminación en tierra es aún mucho mayor representando más del 95,3% (>516,9 millones de toneladas métricas) de la cantidad de plásticos que se desecha a nivel mundial (Atsuhiko & Shinsuke, 2022).

Estos pequeños fragmentos de plástico (>100 nm) ingresan al ambiente a través de ríos, deslizamientos, viento, desechos, carga perdida, artículos de pesca, desperdicios de construcción, fibras, etc. y dependiendo de la composición química de los polímeros que los constituyen, pH y temperatura, estos podrán liberar en la fauna y flora componentes nocivos, como aditivos, plastificantes, retardadores de flama y otros agentes químicos que se derivan de su manufactura (Law & Thompson, 2014). A pesar de este hecho, lo más impactante es que de la totalidad del plástico producido hasta hoy desde el inicio de su producción masiva, alrededor de 9000 t, únicamente se ha reciclado alrededor de un 9% (Ecodes, 2019b).

Los bioplásticos se han vuelto un rubro importante dentro de la disposición final de desechos. Existen tres tipos de bioplásticos: de origen biológico y biodegradables (PLA, PHAs y TPS), de origen biológico y no biodegradables (bio-PET y bio-PE) y de recursos fósiles y biodegradables, lo cual hace que la disposición final sea distinta y que su proceso de degradación dependa de las condiciones de su entorno como temperatura, exposición a la luz ultravioleta y oxígeno, derivándose procesos de compostaje industrial, dentro de los hogares, en el suelo o en el mar. Además, ciertos tipos de bioplástico necesitan de microorganismos apropiados para que el proceso de degradación se lleve a cabo (Hopewell et al., 2009; Ahmed et al., 2022).

El uso de bioplásticos no solucionará por completo la crisis que provoca la contaminación por plástico, sin embargo, se ha reportado que su producción sí permitiría que las emisiones de CO_2 disminuyan comparadas con las generadas por plásticos de origen fósil. Se estima que si se substituye más de la mitad de la producción de plásticos de origen fósil por bioplásticos, se evitarían alrededor de 100 t de CO_2 . (Rosenboom et al., 2022; Sankaran, 2019).

RECICLAJE DE MATERIALES PLÁSTICOS

Desde que inició el reciclaje en 1970, la cantidad de plástico reciclado varía geográficamente dependiendo del tipo de plástico y la aplicación. Actualmente, China y Corea del Sur ganan los primeros lugares a nivel mundial, al reciclar alrededor del 50% de desechos plásticos. Van seguidos de Alemania y Japón, reciclando un 47% y Reino Unido y Canadá con un porcentaje de 28 y 26%, respectivamente (Figura 4).

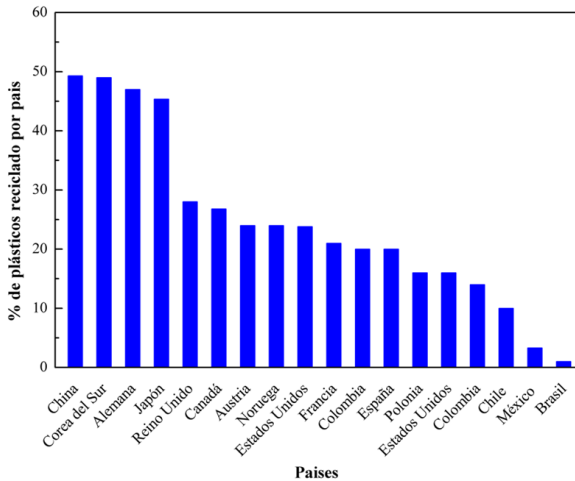


Fig. 4: Porcentaje de plástico reciclado por países, según datos de Waste Atlas (2022).

Dado todos los recursos y la energía utilizada para producir cada producto plástico, es importante que se use y deseche de manera responsable cualquier tipo de este material. Existen tres formas de manejar los desechos plásticos. La primera de ellas es por procesos de reciclaje o reutilización, omitiendo el destino final para el que fue hecho el plástico, dándole un nuevo uso mediante procesos físicos de termoformado. La segunda forma es la destrucción térmica o descomposición química, en la que el aspecto primordial es el control de las emisiones gaseosas nocivas; actualmente se están introduciendo procesos de pirólisis para obtener un mayor provecho de este proceso y la fabricación de biodiesel. Y la tercera forma es la acumulación en rellenos sanitarios, en vertederos a cielo abierto o depositados en el ambiente natural (Chidepatil et al., 2020).

No todos los plásticos que nos rodean pueden ser reciclados o reutilizados. De manera general, los plásticos se clasifican en termoplásticos y termoestables dependiendo de su comportamiento al cambiar su temperatura. El primero puede fundirse, volviéndose más flexible al aumentar su temperatura, mientras que el segundo combustiona.

Los termoplásticos representan alrededor del 85% de toda la producción de plásticos a nivel mundial y son los que mayormente se utilizan para proceso de reciclaje. Los termoplásticos incluyen PE, PP, PS, PVC, PET y poliestireno expandido (EPS). Este tipo de polímeros son la materia prima para plásticos de diferentes sectores como la construcción, industria, transporte, mobiliario, alimentos, embalaje, instrumentos médicos, textiles, envases y bebidas que pueden ser reutilizados (Khalid et al., 2022).

Lau et al. (2020) ha reportado que a través de un sistema sólido de reciclaje se podría llegar a disminuir la contaminación producida por este tipo de plásticos hasta en un 78%,

sin embargo, también reporta que alrededor de 710 t estarían aun descargándose en los océanos y ecosistemas terrestres. Por ello, para lograr disminuir la acumulación de residuos plásticos, además de un sistema sólido de reciclaje, se debe enfatizar en un menor consumo de plásticos, la reutilización de artículos de uso masivo, la generación de un sistema de eliminación seguro de residuos tóxicos y la innovación en la cadena de valor del plástico dentro de una economía circular. El mismo autor reporta que al disminuir la producción de alrededor de 1 t de plástico virgen, se reduciría un promedio de 0,0088 t de desechos plásticos a los océanos. Además, al no procesar nuevas cantidades de plástico virgen o en forma de resina, Zheng y Suh (2019) manifiestan que mediante procesos de reciclaje las emisiones de CO_2 disminuirían alrededor de un 25% sobre la línea base.

Dentro del reciclaje de plásticos, existen cuatro categorías: la primera de ellas es el reciclaje primario o de ciclo cerrado, en el que se obtienen plásticos de la misma calidad del desecho reciclado, la segunda corresponde al reciclaje secundario o degradado que involucra la elaboración de plásticos de menor calidad que sus predecesores, la tercera es la que involucra procesos químicos de polimerización y la cuarta es la que tiene como objetivo final la obtención de energía o biodiesel (Ellis et al., 2021).

Actualmente existen en el mundo diferentes sistemas de reciclaje, por ejemplo los sistemas de depósito por la devolución de los envases para botellas de PET en Alemania, recolección de botellas de refrescos en Sudáfrica, así como modelos que prevén la participación financiera de la industria y el comercio en la recolección de envases plásticos, sin embargo el objetivo del reciclaje de plásticos va más allá. La clasificación de los residuos plásticos en los hogares de las distintas ciudades representa un núcleo de reciclaje que aún deja mucho que desear, lo que dificulta el proceso de reciclaje y por ende la demanda de mayores recursos económicos (Lett, 2014; Lau et al., 2020).

En cuanto a la cantidad de residuos plásticos que se importan y exportan a nivel mundial no se presentan datos exactos, se estima que fue alrededor de 2 t a 4 t en el año 2019, sin embargo, se observa que si la cantidad de residuos que importa un país es igual a la cantidad que exportó el país procedente, la cantidad de flujo de residuos plásticos a nivel global sería cero. Es por ello que el principio de responsabilidad compartida entre gobierno, industria y sociedad constituye la pieza clave, además de tener la idea clara de reducir el consumo de este tipo de material (Lau et al., 2020).

RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y ECONOMÍA CIRCULAR

El reciclaje de materiales de residuos plásticos obedece el principio de la química o chemia que significa mezcla o fusión, y al de los antiguos griegos en que un compuesto se puede transformar en otro (Demets et al., 2021). A este concepto también se apega el significado de economía circular, al enfocarse en un ciclo de vida de transformación cerrado específico de cada tipo de material plástico durante su manufactura, vida útil y disposición final, donde se integran actividades circulares de diseño, uso, reutilización y reciclaje en las cadenas de valor de los plásticos, mostrando una visión, donde el plástico nunca se convierte en desperdicio (Brias-

soulis et al., 2021; Shamsuyeva & Endres, 2021).

La Estrategia de la Unión Europea para el plástico en una economía circular, lanzada en enero de 2018, es el primer marco político que adopta un enfoque que contribuye a la transición hacia una economía circular y a la consecución de los objetivos 12 y 13 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Ecodes, 2019b; ONU, 2018):

Objetivo 12. Producción y consumo responsable. Meta 12.5. De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. Objetivo 13. Acción por el clima. Meta 13.2 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana (Ecodes, 2019c, p. 14-15)

En el mismo año 2018, más de 250 organizaciones, entre las que se incluyen algunos de los mayores productores de envases plásticos del mundo, compañías, recicladores, gobiernos y ONGs firmaron un acuerdo, el Compromiso Global por la nueva Economía de los Plásticos (New Plastics Economy Global Commitment), para hacer frente a los desechos plásticos y erradicar la contaminación en su origen (Ecodes, 2019d).

Sin embargo, para lograr estos objetivos el sistema de reciclaje debe ser optimizado, ya que de momento no existe ningún rincón del planeta donde el reciclaje esté en pleno desarrollo. La falta de integración de tecnologías que permitan limpiar, clasificar, triturar y volver a transformar los desechos plásticos, ha ocasionado un déficit de vinculación entre los procesos de recolección, reciclaje y producción del sector empresarial y de gobierno, al desconocer qué cantidades de plástico reciclado puede obtener y las ganancias del proceso. Esto junto a la desinformación que tiene la población en cuanto a cómo puede separar sus residuos plásticos, hace que el sistema de reciclado presente un camino difícil, mas no imposible.

Entonces, ¿cuáles serían los plásticos claves para reducir la contaminación ambiental y lograr una economía circular? Plásticos elaborados a partir de polímeros termoplásticos como PET, PE y PP, todos ellos tienen un alto potencial para ser mecánicamente reciclados. Por otro lado, polímeros termoestables como poliésteres y resinas pueden ser triturados y utilizados como materiales de relleno (Costa et al., 2021).

Actualmente, algunos países están viviendo la transición de pasar de una economía de producción lineal de plásticos por un modelo mas sostenible. El modelo lineal sigue un camino unidireccional de extracción de materias primas, “fabricar, usar y desechar”, mientras que en un modelo de economía circular, los materiales plásticos se utilizan el mayor tiempo posible y después se recuperan y se regeneran nuevos materiales. Un modelo de producción económico circular representa un forma de mejorar la competitividad y la eficiencia de materia prima disponible.

Existen varias opciones dentro de un marco de economía circular que se pueden enfatizar para lograr este objetivo: mejorar los sistemas de recolección de desechos plásticos, desarrollar nuevas tecnologías de innovación, disminuir el área de rellenos sanitarios, diseñar nuevos productos, incluir opciones de ecodiseño, disminuir el consumo de materiales fósiles, disminuir las emisiones de CO_2 y aprovechar mejor el biogas. Este sistema podría ser aplicable incluso en países

donde los sistemas de recolección de desechos son deficientes, ya que representa una opción motivadora para aumentar la cadena de valor de los desechos plásticos a nivel mundial, a la par que se pondría freno al uso desmedido de plásticos y a la contaminación generada por su consumo.

CONCLUSIONES

Tras la recopilación de datos del presente artículo se ha podido concluir que la integración de la energía, el reciclado y la disminución de la huella de carbono son pilares para lograr una economía circular sostenible. El crecimiento acelerado de la población y el poder adquisitivo son factores que han hecho del plástico un material ubicuo, sin contar con las ventajas que este tipo de material presenta, su uso desmedido y una baja preocupación por parte de la población ha llevado a hacer un llamado de atención oportuno para salvaguardar la integridad del planeta.

En teoría es posible obtener un ciclo cerrado de reciclaje de la gran mayoría de plásticos, sin embargo, debido a la amplia gama de diferentes tipos de polímeros y otros materiales como metales, pigmentos, tintas o adhesivos, el proceso se vuelve difícil. El objetivo de un ciclo cerrado de reciclaje dentro de una economía circular solo se logrará si existe una mejor clasificación de los materiales plásticos y una optimización de los procesos que involucran el reciclaje como la reducción de tamaño y triturado de los materiales y la optimización de los procesos de lavado.

Lamentablemente se puede encontrar información completa sobre la producción, ciclo de vida y disposición final de los plásticos solo de los grandes productores a nivel mundial como China, Japón, Noruega, el grupo del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Turquía y Brasil, y para el resto de países la información se encuentra incompleta o desactualizada. Además, mucha de la información difiere de una fuente a otra, incluso dentro del mismo país, lo que llega a enfatizar que la mayoría de países no tiene un sistema sólido de manejo de desechos plásticos, perdiendo la oportunidad de reintegrarlos en un ciclo cerrado de economía circular.

No hay que olvidar que el objetivo principal es proteger el ambiente al tiempo que se sientan las bases sólidas de una nueva economía del plástico, en la que la producción y el diseño respeten las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje con la elaboración de materiales de calidad y más sostenibles. Los sistemas de reciclaje de plásticos deben ser sólidos y garantizar la participación de todas las partes involucradas y necesarias para lograr un proceso de reciclaje sustentable. Por lo tanto, queda como meta el reducir el consumo de plásticos de un solo uso y si esta idea aún es muy lejana, apostar por las nuevas tecnologías de reciclaje, para lograr el máximo desarrollo de una economía circular.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer al apoyo institucional brindado por el Laboratorio de Análisis Químico de la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja y la Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas ESQIE del Instituto Politécnico Nacional.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

María José Valarezo-Ulloa: MJVU. Lazaro Ruiz-Virgen: LRV

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Loja, bajo el número de proyecto 13-DI-FARNR-2021 Evaluación del uso de plásticos reciclados para la obtención de materiales útiles para la construcción y la industria.

REFERENCIAS

- Ahmed, R., Hamid, A. K., Krebsbach, A.S., Wang, D. (2022). Critical review of microplastics removal from the environment. *Chemosphere*, 1335557 (293).
- Atsuhiko I. y Shinsuke I. (2022). The fate of missing ocean plastics: Are they just a marine environmental problem?. *Science of the Total Environment*, 153935 (825).
- Briassoulis, D., Hiskakis, A. y Hiskakis, M. (2021). Organic recycling of post-consumer /industrial bio-based plastics through industrial aerobic composting and anaerobic digestion - Techno-economic sustainability criteria and indicators. *Polymer Degradation and Stability*, 109642, (190).
- Chidepatil, A., Bindra, P., Kulkarni, D., Qazi, M., Kshirsagar, M., & Sankaran, K. (2020). From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste?. *Administrative. Sciences*. Volumen 10, 23.
- Costa, M.E., Grandera, G., Ferreira da Silvaa, J. y Gonzalez, E. (2021). Innovation projects of packaging recycling to a circular economy. *Sustainable Operations and Computers*, (2), 115-121.
- Crawford, C. B. y Quinn, B. (2017). The contemporary history of plastics. *Microplastic Pollutants*. Editorial ELSEVIER. pp. 19-37.
- Demets, R., Kets, K. V., Huysveld, S., Dewulf, J., Meester, S. D. y Ragaerta, K. (2021). Addressing the complex challenge of understanding and quantifying substitutability for recycled plastics. *Resources, Conservation & Recycling*, 105826 (171), 1-13.
- Ding, J., Sun, C., He, C., Zheng, L., Dai, D., Li, F. (2022). Atmospheric microplastics in the Northwestern Pacific Ocean: Distribution, source, and deposition. *Science of The Total Environment*. 154337
- Ecodes. (2019a). Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 8,9.
- Ecodes. (2019b). ¿Son Los Bioplásticos La Solución A La Contaminación?. *Contaminación por plásticos*. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 26-31.
- Ecodes. (2019c). Una estrategia europea para el plástico en una economía circular. *Contaminación por plásticos*. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 105-107.
- Ecodes. (2019d). Grandes alianza que fomentan la economía circular de los plásticos. *Contaminación por plásticos*. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 108-110.
- Ellis, L., Rorrer, N.R., Sullivan, K.P., Maiké, M., McGeehan, J., Román-Leshkov, Y., Wierckx, N. & Beckham, G.T. (2021). Chemical and biological catalysis for plastics recycling and upcycling. *Nature Catalysis* volume 4, 539–556.
- Gewert, B., Plassmann, M., Macleod, M. (2015) Pathways for degradation of plastics polymers floating in the marine environment. *Royal Society of Chemistry*.
- Geyer, R., Jambeck, J., Law, K. (2017) Production use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 3 (7)
- Haward, M. (2018). Plastic pollution of the world's seas and oceans as a contemporary challenge in ocean governance. *Nat Commun* 9, (667).
- Hopewell, J., Dvorack, R. y Kosior E. (2009) Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions Royal Society Biological Sciences*. 364.
- Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Ahmed, W. y Arshad, H. (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies*, e00382 (31).
- Lau, W., Shiran, Y., Baile, R., Cook, E., Stuchtey, M., Stuchtey, M., Koskella, J., Velis, C., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M., Thomson, R., Jankowska, E., Castilla, A., Pildith, T., Pilditch, T. (2020). Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*. 6510, 369.
- Law, K. L y Thompson, R. C. (2014) Microplastics in the seas. *Science*. 345, 144.
- Lett, L.A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46 (1), 1-2.
- Mena M. (2021a) La producción de plástico en el mundo.
- Mena, M. (2021b) ¿Qué países generan más residuos de plástico de un solo uso?.
- ONU. (2018) Organización de Naciones Unidas. Agenda 2030: 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Our Word in data (2019). Mismanaged plastic waste.
- Plastics Europe (2021). Enabling a sustainable future. *Plastics-the facts*. An analysis of European plastics production demand and waste data.
- Rosenboom, J. G, Langer, R., Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews | Materials*. Volumen 7, 117- 137
- Sankaran, K. (2019). Carbon Emission and Plastic Pollution: How Circular Economy, Blockchain, and Artificial Intelligence Support Energy Transition? *Journal of Innovation Management*. Volumen 7, 4, 7-13
- Samaniego, J.L. Salina, C., Ruetter, J.A., Sanguinetti, J.P. y Allen, M.L. (2021) Trazabilidad y contabilidad del plás-

tico mediante el sistema A.P.A. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas.

- Shamsuyeva, M. y Endres, H.J. (2021). Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market. *Composites Part C: Open Access*. 100168 (6), 1-16
- Wang, Ch., Lui, Y., Chen, Wei-Qiang., Zhu, B., Qu, S. (2021) Critical review of global plastics stock and flow data. *Journal Industrial. Ecology*, 1-18. *Waste Atlas (2022)*. Recycling rate per country.
- Zheng, J. y Suh, S. (2019) Strategies to reduce the global carbon footprint pf plastics. *Nature climate change*. 9 374-478.